



Refining & Marketing

Processi e Gestione Operativa Logistica Primaria
Lungomare Caboto snc loc. Arzano, 04024 Gaeta (LT)
Tel.: 0771 4681
Fax.: 0771 468247
www.eni.com

VIA PEC

HSE LP
Prot. n. 638/19

Gaeta, 31 maggio 2019

Spett.le **Comune di Morimondo**
Piazza Municipio, 1
20081 Morimondo (MI)
comune.morimondo@pec.regione.lombardia.it

Spett.le **Parco Lombardo del Ticino**
U.O.4 - Territorio, Urbanistica e Siti Natura
2000
Via Isonzo, 1
20013 Pontevicchio di Magenta (MI)
parco.ticino@pec.regione.lombardia.it

Spett.le **Città Metropolitana di Milano**
Settore Rifiuti, Bonifiche e AIA
Servizio bonifiche siti contaminati
Viale Piceno, 60
20129 Milano
protocollo@pec.cittametropolitana.mi.it

Spett.le **ATS Milano Città Metropolitana**
U.O.C. Sanità Pubblica
Corso Italia, 19
20122 Milano
protocollogenerale@pec.ats-milano.it

Spett.le **ARPA Lombardia**
Dipartimento di Milano
U.O. Suolo Bonifiche
Via Juvara, 22
20129 Milano
dipartimentomilano.arpa@pec.regione.lombardia.it

Egr. Sig. **Davide CATTANEO**
Via dei Mulini, 4
20080 Albairate (MI)
mail@pec.cattaneoweb.com

Spett.le **Regione Lombardia**
D.G. Ambiente, Energia e Sviluppo sostenibile
Unità Organizzativa Attività estrattive, rifiuti e bonifiche
Piazza Città di Lombardia, 1
20124 Milano
ambiente_clima@pec.regione.lombardia.it

Spett.le **Prefettura U.T.G. di Milano**
Corso Monforte, 31
20122 Milano
protocollo.prefmi@pec.interno.it

Spett.le **Azienda di servizi alla Persona - Golgi Redaelli**
Via Olmetto, 6
20123 Milano
servizi.sociosanitari@pec.golgiredaelli.it

Spett.le **Fondazione IRCCS Ca' Granda -
Ospedale Maggiore Policlinico**
Via Francesco Sforza, 28
20122 Milano
cda@pec.policlinico.mi.it
sitra@pec.policlinico.mi.it

Spett.le **Fondazione Sviluppo Ca' Granda**
Via Francesco Sforza, 28
20122 Milano
fondazionesviluppocagrande@legalmail.it

Oggetto: Eni SpA - Area Nord - Oleodotto 10" Sannazzaro - Rho: Comune di Morimondo (MI) - Procedimento ai sensi artt. 242 e 245 e sensi del D.Lgs. 152/06 - Trasmissione documento "Progetto Operativo di Bonifica FASE I [ai sensi dell'All. 4 del D. Lgs. 152/06 e ss.mm.]."

In riferimento all'iter ambientale in oggetto, si trasmette il documento "Progetto Operativo di Bonifica FASE I [ai sensi dell'All. 4 del D. Lgs. 152/06 e ss.mm.]", redatto dalla Società The IT Group Italia S.r.l. nostra consulente ambientale.

Rimanendo a disposizione per ogni eventuale chiarimento porghiamo,

Distinti saluti.


Eni SpA
Refining & Marketing
Processi e Gestione Operativa Logistica Primaria
HSE Manager
(Dr. Paolo Angelini)

Nota: Indirizzo PEC di Eni SpA Area Nord: rm_ref_hubnord@pec.eni.com

PROGETTO OPERATIVO DI BONIFICA FASE I

[ai sensi All.4 del D. Lgs. 152/06 e ss.mm]

Sito:

Oleodotto 10" Sannazzaro-Rho
Comune di Morimondo (MI), località Cascina Cerina di Sopra

Cliente:

Eni S.p.A.
Sede Legale
Piazzale Enrico Mattei, 1
00144 Roma - Italia

c/o Eni R&M
HSE HUB Nord
Lungomare Caboto snc loc. Arzano,
04024 Gaeta (LT)

Progetto N.:	4018.07
Data:	Maggio 2019
Rapporto N.:	32

Titolo:	<i>Progetto Operativo di Bonifica FASE I [ai sensi dell'All. 4 del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.]</i>
Redatto da:	dott. Andrea Grossi <i>Progettista senior – Responsabile Operativo - The IT Group</i> dott.sa Stefania Bollani <i>Progettista senior – Project Manager - The IT Group</i> ing. Elisa Neri <i>Progettista senior – The IT Group</i>
Revisionato da:	ing. Elisa Neri <i>Project Manager – The IT Group</i>
Approvato da:	ing. Lisa Dall'Agata <i>Direttore Tecnico – The IT Group</i>

THE IT GROUP ITALIA SRL
L.go Volontari del Sangue, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
Tel. 02 51814311 - Fax 02 51814399
P. IVA 10195280150 - C.F. 01898960136

DISCLAIMER

Quale autore e titolare, The IT Group Italia S.r.l. (di seguito ITG) si riserva tutti i diritti sul presente elaborato. La relativa riproduzione o diffusione, anche parziale, al di fuori della società Committente cui è direttamente destinato, è vietata senza il preventivo consenso scritto di ITG. ITG non assume alcuna responsabilità che possa derivare da un utilizzo incompleto, parziale o comunque difforme dalle clausole contrattuali, delle informazioni qui contenute da parte della società cliente o di terzi, o dall'utilizzo di eventuali dati, analisi e/o informazioni incomplete o errate fornite dalla Committente, salvo diversa clausola contrattuale. ITG non intende violare alcun Copyright. Le informazioni e la grafica qui raccolte sono, al meglio della nostra conoscenza, o di nostra esclusiva formulazione o di pubblico dominio o fornite dal Committente e soggette pertanto a vincoli di riservatezza o comunque autorizzate dagli autori. Se, involontariamente, è stato pubblicato materiale soggetto a copyright o in violazione alla legge si prega di comunicarlo e provvederemo immediatamente a rimuoverlo. Nomi di prodotti, nomi corporativi e società citati possono essere marchi di proprietà dei rispettivi titolari o marchi registrati di altre società e sono stati utilizzati a puro scopo esplicativo e a beneficio del possessore, senza alcun fine di violazione dei diritti di Copyright vigenti. ITG si riserva il diritto di modificare i contenuti del presente disclaimer in qualsiasi momento e senza alcun preavviso. I documenti possono contenere errori tipografici. Le stime dei costi, le raccomandazioni e le opinioni presentate in questo rapporto sono fornite sulla base della nostra esperienza e del nostro giudizio professionale e non costituiscono garanzie e/o certificazioni. Valutazioni in merito agli standard del servizio fornito devono tenere conto del momento e delle condizioni in cui il servizio è stato fornito. ITG è provvista di procedure ed istruzioni di qualità e di sicurezza per garantire la corretta gestione dei documenti forniti dal Committente al fine di evitarne la perdita, l'uso improprio e l'alterazione dei dati.

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	7
1.1	PREMESSA	7
1.2	AGGIORNAMENTO ITER AMBIENTALE.....	7
1.3	NORMATIVA E LIMITI DI RIFERIMENTO	8
1.4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	9
2	INQUADRAMENTO DEL SITO	11
2.1	UBICAZIONE DEL SITO E INQUADRAMENTO URBANISTICO	11
2.2	INQUADRAMENTO RISPETTO AL PTC DEL PARCO DEL TICINO	12
2.3	AREE NATURA 2000 INTERESSATE	13
3	RIASSUNTO DELLE INDAGINI AMBIENTALI (OTTOBRE 2015-DICEMBRE 2017)	14
3.1	INDAGINI PRELIMINARI (OTTOBRE 2015 – APRILE 2016)	14
3.2	PIANO DI CARATTERIZZAZIONE (APRILE-GIUGNO 2016)	15
3.3	SOIL GAS SURVEY (GIUGNO 2016 - MAGGIO 2017)	15
3.4	PIANO DI CARATTERIZZAZIONE INTEGRATIVO (NOVEMBRE 2017).....	16
3.4.1	<i>Indagini realizzate</i>	16
3.5	MONITORAGGIO ACQUE DI FALDA, RISORGIVE/RUSCELLAMENTI/TRINCEE, SUPERFICIALI E RILIEVO FREATIMETRICO (OTTOBRE 2015 - GENNAIO 2019).....	17
3.5.1	<i>Monitoraggio acque di falda</i>	17
3.5.2	<i>Monitoraggio acque Risorgive/Ruscellamenti/Trincee e Superficiali (Roggia Rabica).....</i>	17
3.5.3	<i>Rilievo freatimetrico</i>	18
4	ATTIVITÀ DI MESSA IN SICUREZZA.....	19
4.1	SISTEMA DI PUMP&TREAT (P&T)	20
4.2	SISTEMA DI RECUPERO AUTOMATICO DI PRODOTTO (SAMIS)	22
4.3	PANNE/BARRIERE OLEOADSORBENTI.....	25
4.4	ATTREZZATURE/STRUTTURE DI PERTINENZA DELLE ATTIVITÀ DI MIS	25
5	MODELLO CONCETTUALE DEL SITO.....	26

5.1	GEOMORFOLOGIA	26
5.2	LITOLOGIA	26
5.3	IDROGEOLOGIA	28
5.4	STATO QUALITATIVO DEI TERRENI.....	30
5.5	STATO QUALITATIVO DELLE ACQUE SOTTERRANEE	32
5.6	STATO QUALITATIVO DELLE ACQUE DI RISORGIVA/RUSCELLAMENTI/TRINCEE E DELLE ACQUE SUPERFICIALI (ROGGIA RABICA)	33
5.7	STATO QUALITATIVO GAS INTERSTIZIALI	33
5.8	PRESENZA DI PRODOTTO SURNATANTE IN FASE SEPARATA.....	35
5.9	SORGENTI, GRADO ED ESTENSIONE NELLE DIVERSE MATRICI AMBIENTALI	37
5.10	PERCORSI DI MIGRAZIONE DELLA CONTAMINAZIONE IN RELAZIONE AI BERSAGLI INDIVIDUATI.....	38
6	PROGETTO DI BONIFICA	40
6.1	OBIETTIVI DI BONIFICA	41
6.2	VALUTAZIONE DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA.....	43
6.2.1	<i>Scavo e smaltimento</i>	46
6.2.2	<i>Landfarming/Biopile</i>	46
6.2.3	<i>Soil Flushing</i>	47
6.2.4	<i>Biorisanamento</i>	48
6.2.5	<i>Barriere microbiologiche</i>	55
6.2.6	<i>La fitorimediazione</i>	55
6.3	CRITERI DI VALUTAZIONE DELLE TECNOLOGIE	56
6.3.1	<i>Area Effrazione</i>	57
6.3.2	<i>Area Monte Risorgive</i>	59
6.3.3	<i>Area Risorgive (Area Bosco)</i>	59
7	PROGETTO DI BONIFICA AREA EFFRAZIONE.....	61
7.1	INDAGINE AMBIENTALE DI DETTAGLIO.....	62

7.2	INTERVENTO DI BONIFICA SUOLO SUPERFICIALE	63
7.3	INTERVENTO DI BONIFICA SUOLO PROFONDO	66
7.3.1	<i>Pump&Treat</i>	67
7.3.2	<i>Reimmissione delle acque in falda</i>	70
7.3.3	<i>Soil Flushing</i>	71
7.3.4	<i>Test pilota Soil Flushing</i>	72
7.3.5	<i>Test pilota di SF con iniezione surfactanti</i>	74
7.3.6	<i>Bioventing</i>	76
7.3.7	<i>Test pilota Bioventing</i>	78
7.3.8	<i>Campo test pilota BV</i>	79
7.3.9	<i>Attrezzatura da utilizzarsi per il test pilota</i>	80
7.3.10	<i>Esecuzione del test pilota</i>	81
7.3.11	<i>Esecuzione test respirometrico</i>	82
8	PROGETTO DI BONIFICA AREA MONTE RISORGIVE	84
8.1	INDAGINE AMBIENTALE INTEGRATIVA DI DETTAGLIO	85
8.2	INTERVENTO DI BONIFICA SUOLO PROFONDO	85
8.3	INTERVENTO DI MISE PER LE ACQUE SOTTERRANEE	88
9	PROGETTO DI BONIFICA AREA RISORGIVE	89
9.1	INTERVENTO DI BONIFICA SUOLO PROFONDO MEDIANTE BIOVENTING.....	89
9.2	RIMOZIONE DEL PRODOTTO IN PZ21.....	90
9.2.1	<i>Tempistiche e durata del trattamento</i>	91
9.3	PRESIDIO DI MESSA IN SICUREZZA MEDIANTE SAMIS	92
9.3.1	<i>Mantenimento presidio con SAMIS</i>	92
9.4	INTERVENTI COADIUVANTI LA BONIFICA: FITORISANAMENTO	92
9.4.1	<i>Classificazione Flora delle aree dove potrà essere prevista la realizzazione delle stazioni di fitodepurazione</i>	95
9.4.2	<i>Proposta d'intervento con Fitorisanamento</i>	97

9.4.3	<i>Proposta di Fitorimedio in area d'incolto/PZ21 con piantumazione a pioppi ed ontani</i>	98
9.4.4	<i>Proposta in Sorgente ALTA di un impianto a Phragmites australis – in fase di valutazione</i>	102
10	ATTIVITA' COMPENSATIVA - MIGLIORAMENTO BOSCHIVO	108
10.1	PIANTUMAZIONE SPECIE ARBOREE A TITOLO COMPENSATIVO	108
10.1.1	<i>I fase di intervento</i>	108
10.1.2	<i>II fase di intervento</i>	108
10.2	INSERIMENTO DI PIANTINE DI FELCE REALE A TITOLO COMPENSATIVO	108
11	MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE	110
11.1	AREA EFFRAZIONE	110
11.2	AREA MONTE RISORGIVE	111
11.3	ZONA RISORGIVE, AREE ESTERNE E PRIVATI	111
11.3.1	<i>Monitoraggi e gestione del sistema di emungimento in PZ21</i>	112
11.4	RIEPILOGO GENERALE	112
12	MONITORAGGIO DELLE ACQUE SUPERFICIALI	114
13	GESTIONE RIFIUTI	115
14	COLLAUDI, MONITORAGGI POST OPERAM E RIPRISTINO DELLE AREE OGGETTO DI BONIFICA	116
14.1	AREA EFFRAZIONE	116
14.1.1	<i>Suolo Superficiale - Collaudo scavi</i>	116
15	DURATA DEGLI INTERVENTI PROPOSTI NEL PROGETTO FASE I	117
16	STIMA DEI COSTI	118
17	CONCLUSIONI	119

TABELLE

TABELLA 1A	Andamento delle concentrazioni di contaminanti nelle acque sotterranee
TABELLA 1B	Andamento delle concentrazioni di contaminanti nelle acque sotterranee
TABELLA 2	Riepilogo analisi effettuate sui terreni
TABELLA 3	Screening matrix delle tecnologie proposte
TABELLA 4	Computo metrico
TABELLA 5	Cronoprogramma

TAVOLE

TAVOLA 1	Planimetria generale del sito con ubicazione dei punti di monitoraggio/campionamento (acque sotterranee e superficiali)
TAVOLA 1A	Planimetria del sito con ubicazione piezometri su stralcio di mappa catastale
TAVOLA 1B1	Planimetria del sito con definizione del sito potenzialmente contaminato e dei mappali di riferimento – Suolo superficiale – Area Effrazione
TAVOLA 1B2	Planimetria del sito con definizione del sito potenzialmente contaminato e dei mappali di riferimento – Suolo profondo – Area Effrazione
TAVOLA 1C	Planimetria del sito con definizione del sito potenzialmente contaminato e dei mappali di riferimento – Suolo profondo – Monte risorgive
TAVOLA 1D	Planimetria del sito con definizione del sito potenzialmente contaminato e dei mappali di riferimento – Suolo profondo – Area risorgive bosco
TAVOLA 1E	Planimetria del sito con ubicazione piezometri su stralcio di mappa catastale
TAVOLA 2 A	Carta piezometrica del maggio 2018
TAVOLA 2B	Carte piezometrica del luglio 2018
TAVOLA 2C	Carte piezometrica del settembre 2018
TAVOLA 2D	Carte piezometrica del dicembre 2018
TAVOLA 2E	Carte piezometrica del marzo 2019
TAVOLA 3A1	Poligoni di Thiessen suolo insaturo superficiale - Area Effrazione
TAVOLA 3A2	Area Sorgente suolo insaturo superficiale - Area Effrazione
TAVOLA 3B	Areale di scavo proposto, suolo insaturo superficiale – Area effrazione
TAVOLA 3C	Ubicazione punti di collaudo proposti dello scavo del terreno insaturo superficiale presso Area Effrazione
TAVOLA 4A1	Poligoni di Thiessen sottosuolo insaturo profondo - Area Effrazione
TAVOLA 4A2	Areale da sottoporre a bonifica sottosuolo insaturo profondo – Area Effrazione

TAVOLA 5	Ubicazione indagini integrative Area Effrazione maglia 5x5 m
TAVOLA 6	Barriera idraulica ed ubicazione pozzi di reimmissione - Area Effrazione
TAVOLA 6A	Layout impianto di P&T stato attuale
TAVOLA 6B	Stralcio P&ID della barriera idraulica stato attuale
TAVOLA 7	Layout preliminare dell'impianto di reimmissione
TAVOLA 8	P&ID preliminare dell'impianto di reimmissione
TAVOLA 9A	Ubicazione campo prova test pilota SF
TAVOLA 9B	Ubicazione campo prova test pilota BV
TAVOLA 10	Ubicazione indagini integrative Area Monte Risorgive maglia 10x10 m
TAVOLA 11A1	Poligoni di Thiessen sottosuolo insaturo profondo presso Area Monte Risorgive e Risorgive
TAVOLA 11A2	Areale di contaminazione sottosuolo insaturo profondo presso Area Monte Risorgive
TAVOLA 12A	Poligoni di Thiessen sottosuolo insaturo superficiale presso Area Risorgive
TAVOLA 12B	Areale di contaminazione sottosuolo insaturo profondo presso Area Risorgive
TAVOLA 13	Schema Processo di Fitorisanamento
TAVOLA 14	Fitorisanamento/Compensazione – Area Risorgive
TAVOLA 15	Fitorisanamento con piantumazione Pioppi/Ontani
TAVOLA 16	Fitorisanamento con Phragmites
TAVOLA 17	Attività compensativa Piantumazione
TAVOLA 18	Schema di impianto (1 ha) Pioppi/Ontani

ALLEGATI

ALLEGATO A	Determina del Comune di Morimondo n. 131 del 23/07/2018 di “Approvazione della Revisione analisi di rischio sito specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06”
ALLEGATO B	Schede di sicurezza Ivey-sol® 103 e Ivey-sol® 106

APPENDICI – omissis (seguirà invio tramite CD-rom)

APPENDICE 1	Modello di flusso
APPENDICE 2	Studio Bibliografico Fitorisanamento
APPENDICE 3	Studio Microbiologico - Università degli Studi di Milano

1 INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA

La scrivente The IT Group Italia S.r.l. (nel seguito IT Group), su incarico della società Eni S.p.A. (Eni), ha redatto per l'effrazione dell'Oleodotto 10" Sannazzaro-Rho, in località Cascina Cerina di Sopra, Comune di Morimondo (MI), notificata da Eni ai sensi degli articoli 242 e 245 del D.Lgs. 152/06 (Sito), il presente documento "*Progetto Operativo di Bonifica Fase I*", ai sensi del D.Lgs. 152/06 e in ottemperanza a quanto indicato nella Determina del Comune di Morimondo n. 131 del 23/07/2018 di "Approvazione della Revisione analisi di rischio sito specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06" (Allegato A).

Lo scopo del presente documento è quello di fornire dati, indicazioni e dettagli ai fini della bonifica della matrice insatura, definita (mediante Analisi di Rischio Sito Specifica) come "contaminata".

In questa prima fase progettuale vengono proposti interventi finalizzati alla rimozione del prodotto saltuariamente rilevato nella matrice acque sotterranee, nonché a ricondurre le concentrazioni delle sostanze inquinanti individuate nel suolo/sottosuolo, entro i valori limite accettabili, definiti come obiettivi di bonifica (CSR/CSC). Tuttavia ai fini di una migliore progettazione di dettaglio, per un corretto dimensionamento degli impianti di bonifica nonché per verificare in campo l'applicabilità e l'efficienza delle tecnologie di bonifica individuate, si procederà con la realizzazione di indagini di dettaglio e con l'esecuzione di alcuni test pilota di campo.

Completate le indagini integrative ed i test pilota di campo si procederà a formulare un Progetto di Bonifica Fase II.

1.2 AGGIORNAMENTO ITER AMBIENTALE

In data 06/10/2015 è stata notificata da Eni la fuoriuscita d'idrocarburi avvenuta per manomissione dolosa dell'oleodotto 10" Sannazzaro-Rho nel Comune di Morimondo (MI), località Cascina Cerina di Sopra, ai sensi dell'art. 249 e 245 del D.Lgs. 152/06 e, in data 15/10/2015, convertita alla procedura ordinaria, ai sensi dell'art. 242 del D.Lgs. 152/06.

In data 04/11/2015 è stato inviato agli Enti (comunicazione Eni prot. n. 487/15) il documento "*Piano di Caratterizzazione, ai sensi dell'art. 242 del D.Lgs. 152/06*" (PdC), a cui si rimanda per i dettagli. Il PdC è stato valutato dagli Enti in sede di Conferenza dei Servizi (CdS) del 26/02/2016 e approvato dal Comune di Morimondo con Determina n. 1/2016.

A seguito del nulla osta ricevuto da parte dell'Ente Parco e dei proprietari delle aree d'interesse, nel periodo aprile-giugno 2016 sono state realizzate le indagini di caratterizzazione previste (sondaggi/piezometri e SGS).

Ad agosto 2016 è stato inviato agli Enti il documento "*Analisi di Rischio Sito Specifica, ai sensi del D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 04/08*" (AdR) (comunicazione Eni del 18/08/2016, Prot. n. 901/16). L'Analisi di Rischio sito-specifica è stata oggetto di discussione in sede di CdS del 28/10/2016, in occasione della quale gli Enti hanno richiesto ulteriori indagini integrative al fine di caratterizzare al meglio il Sito ed elaborare un modello concettuale definitivo.

A dicembre 2016 è stato inviato alle PP.AA. il documento "*Riscontro a pareri presentati*

dagli Enti in sede di CdS del 28/10/16 e Piano di Caratterizzazione Integrativo” (comunicazione Eni del 21/12/2016, prot. n. 1356/16), approvato con determina comunale n. 166 del 03/10/2017.

Le indagini integrative sono state realizzate a novembre 2017.

A marzo 2018 è stato inviato agli Enti il documento “*Revisione Analisi di Rischio Sito Specifica, ai sensi del D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 04/08*” (comunicazione Eni del 29/03/2018, Prot. n. 390/18), approvato (con condizioni e prescrizioni) dalle PP.AA. in sede di CdS (Istruttoria e Decisoria) del 10/07/2018 (Allegato A).

A ottobre 2018 è stato inviato agli Enti il documento “*Verifica stato qualitativo terreni area esterna*” (comunicazione Eni del 30/10/2018, Prot. n. 1203/18), al fine di ottemperare alla richiesta della Regione emersa in sede di CdS del 10/07/2018, in attesa di approvazione. Tale documento riporta una proposta d’indagine integrativa da svolgere in area esterna (mappale 65, Foglio 10 e mappale 10, Foglio 14 del Comune di Morimondo) al fine di confermare quanto individuato mediante poligoni di Thiessen e l’esclusione di tale area/mappali da eventuali vincoli legati all’applicazione di uno studio di Analisi del rischio ai sensi dell’art. 242 del D.Lgs. 152/06.

1.3 NORMATIVA E LIMITI DI RIFERIMENTO

Il riferimento normativo attualmente in vigore per la valutazione dello stato di qualità di suolo, sottosuolo ed acque sotterranee e per la bonifica dei siti contaminati è costituito dalla Parte Quarta, Titolo V del Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006 (nel seguito D.Lgs. 152/06), recante “*Norme in materia ambientale*”.

In fase di caratterizzazione, ai fini della valutazione dello stato di qualità dei terreni e delle acque sotterranee, sulla base del ciclo produttivo e/o dei dati storici relativi al Sito, ai sensi del D.Lgs. 152/06 è stato definito un set standard di analiti con le relative Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) riportare nell’Allegato 5, Parte Quarta, Titolo V del D.Lgs. 152/06 (Tabella 1.1 e 1.2).

TABELLA 1.1 - CONCENTRAZIONI SOGLIA DI CONTAMINAZIONE (CSC) NEI TERRENI INSATURI (TAB. 1, ALL. 5, PARTE IV, TITOLO V DEL D.LGS. 152/06, COLONNA A)

N. Ord.	Parametro	CSC Siti a verde pubblico, privato e residenziale (mg/Kg)
94	Idrocarburi leggeri $C \leq 12$	10
95	Idrocarburi pesanti $C > 12$	50
19	Benzene	0,1
20	Etilbenzene	0,5
21	Stirene	0,5
22	Toluene	0,5
23	Xilene	0,5
24	Sommatoria organici aromatici	1
-	MtBE	-

TABELLA 1.2 - CONCENTRAZIONI SOGLIA DI CONTAMINAZIONE (CSC) NELLE ACQUE SOTTERRANEE (TAB. 2, ALL. 5, PARTE IV, TITOLO V DEL D.LGS. 152/06)

N. Ord.	Parametro	CSC Acque sotterranee (µg/l)
90	Idrocarburi totali (n-esano)	350
24	Benzene	1
25	Etilbenzene	50
26	Stirene	25
27	Toluene	15
28	p-Xilene	10
-	MtBE	-

Per il parametro MtBE, non normato, si è fatto riferimento ai limiti proposti dall'ISS per i terreni e acque di falda. Nel dettaglio:

- il limite proposto da ISS per MtBE nei terreni, per i suoli ad uso verde pubblico privato e residenziale, è di 10 mg/kg (Parere ISS del 2001 n. 57058 IA/12);
- il limite proposto da ISS per MtBE nelle acque di falda è 40 µg/l (Parere ISS del 12/09/2006 n. 45848).

1.4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Per la predisposizione del presente elaborato si è fatto riferimento alla seguente documentazione tecnica, alla quale si rimanda per dettagli:

- *“RT Avanzamento attività di prevenzione, Messa in Sicurezza e Indagini Preliminari”* redatto da IT Group a ottobre 2015, inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 02/11/2016 (HSE HUB Prot. n. 481/15);
- *“Piano di Caratterizzazione”* redatto da IT Group a novembre 2015, inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 04/11/2016 (HSE HUB Prot. n. 487/15);
- *“RT Aggiornamento Attività di Messa in Sicurezza (Novembre 2015-Gennaio 2016)”* redatto da IT Group a gennaio 2016, inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 05/02/2016 (HSE HUB Prot. n. 97/16);
- *“Messa in Sicurezza delle acque di falda, passaggio da Sistema Pump&Stock a Sistema di Pump&Treat”* redatto da IT Group a febbraio 2016, inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 18/02/2016 (HSE HUB Prot. n. 146/16);
- *“RT Aggiornamento Attività di Messa in Sicurezza Gennaio – Aprile 2016”* redatto da IT Group a maggio 2016 ed inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 15/06/2016 (HSE HUB Prot. n. 669/16);
- *“Analisi di Rischio Sito Specifica, ai sensi del D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 81/08”* redatto da IT Group ad agosto 2016 ed inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 18/08/2016 (HSE HUB Prot. n. 901/16);
- *“RT Aggiornamento Attività di Messa in Sicurezza Maggio - Luglio 2016”* redatto da IT Group a ottobre 2016 ed inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 07/12/2016 (HSE HUB Prot. n. 1308/16);

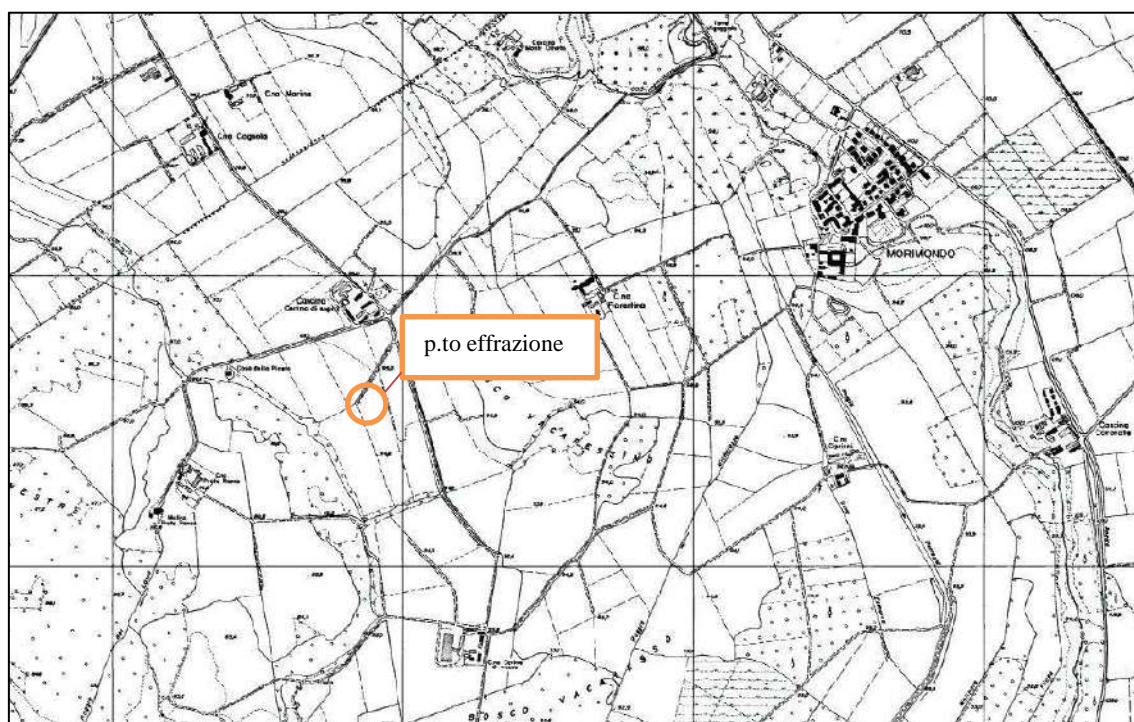
- *“Riscontro a pareri presentati dagli Enti in sede di CdS del 28/10/16 e Piano di Caratterizzazione Integrativo”* redatto da IT Group a dicembre 2016 ed inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 21/12/2016, (HSE HUB Prot. n. 1356/16);
- *“RT Aggiornamento Attività di Messa in Sicurezza Agosto - Ottobre 2016”* redatto da IT Group a marzo 2017 ed inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 11/04/2017 (HSE HUB Prot. n. 390/17);
- *“RT Aggiornamento Attività di Messa in Sicurezza Novembre 2016 – Aprile 2017”* redatto da IT Group a giugno 2017 ed inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 30/01/2018 (HSE HUB Prot. n. 94/18);
- *“Revisione Analisi di Rischio Sito Specifica, ai sensi del D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 81/08”* redatto da IT Group a marzo 2018 ed inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 29/03/2018, Prot. n. 390/18;
- *“RT Aggiornamento Attività di Messa in Sicurezza Maggio – Ottobre 2017”* redatto da IT Group a marzo 2018 ed inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 15/05/2018 (HSE HUB Prot. n. 571/18);
- *“Verifica stato qualitativo terreni area esterna”* redatto da IT Group ad agosto 2016 ed inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 30/10/2018, Prot. n. 1203/18;
- *“RT Aggiornamento Attività di Messa in Sicurezza Novembre 2017 – Aprile 2018”* redatto da IT Group a settembre 2018 ed inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 08/11/2018 (HSE HUB Prot. n. 1252/18);
- *“RT Aggiornamento Attività di Messa in Sicurezza Maggio 2018 – Ottobre 2018”* redatto da IT Group (di prossimo invio).

2 INQUADRAMENTO DEL SITO

2.1 UBICAZIONE DEL SITO E INQUADRAMENTO URBANISTICO

L'evento di effrazione dolosa è avvenuto in un'area agricola, ubicata nei pressi della località Cascina Cerina di Sopra nel Comune di Morimondo (MI) (Figura 2.1).

FIGURA 2.1 - LOCALIZZAZIONE DELL'EVENTO DI EFFRAZIONE (CTR).



Il Comune di Morimondo è ubicato nel settore sud-occidentale della Provincia di Milano, al confine con la Provincia di Pavia, ed è interamente compreso entro i confini del Parco Lombardo del Ticino, un'area protetta regionale nonché Sito di Interesse Comunitario (SIC) e Zona di Protezione Speciale (ZPS). Nello specifico, l'area di effrazione si colloca all'interno della ZPS "Boschi del Ticino" IT2080301" e del SIC IT2080002 "Basso corso e sponde del Ticino". Nell'area di studio, situata in corrispondenza di un terrazzo fluvio-glaciale, sono state individuate le seguenti aree d'interesse (Tavola 1):

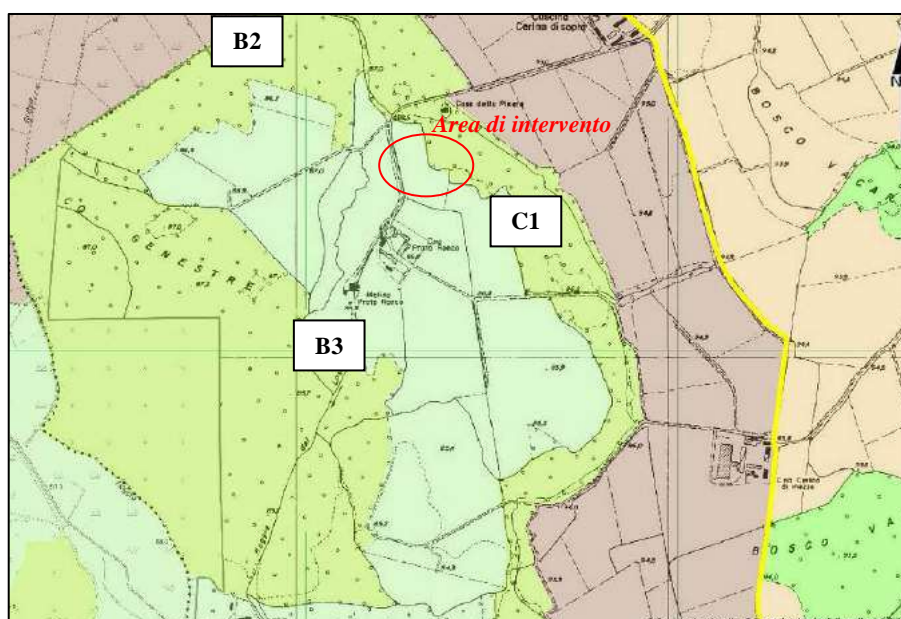
- *Area di effrazione*: in corrispondenza dell'oleodotto dove è avvenuta la fuoriuscita degli idrocarburi;
- *Area a monte delle risorgive*: a valle dell'effrazione, in corrispondenza del bordo del terrazzo (al limite dei campi con il bosco);
- *Area risorgive*: in area bosco (lungo il versante del terrazzo) dove la falda affiora generando risorgive e/o ristagni d'acqua (emergenze diffuse della falda acquifera);
- *Area esterna*: area posto a valle idrogeologico delle precedenti aree;
- *Roggia Rabica*: corso d'acqua posto ai piedi del versante del terrazzo, in area bosco, a cui convogliano i ruscellamenti indotti dalle risorgive.

2.2 INQUADRAMENTO RISPETTO AL PTC DEL PARCO DEL TICINO

Il Comune di Morimondo è interamente compreso entro i confini del Parco Lombardo del Ticino, istituito nel 1974, un'area protetta regionale, con una estensione totale di 91.000 ettari.

Nel Piano Territoriale di Coordinamento del Parco l'area interessata dagli interventi si colloca (vedi Figura 2.2) a cavallo tra la zona C1 (Zone agricole e forestali a prevalente interesse faunistico - Dcr 7/919 del 2003 Art. 7) e la zona B2 (Zona naturalistica di interesse botanico – Dcr 7/919 del 2003 Art. 6).

FIGURA 2.2: PTC DEL PARCO DEL TICINO ED AREA DI INTERVENTO



2.3 AREE NATURA 2000 INTERESSATE

L'area di effrazione e di intervento si collocano in Comune di Morimondo, all'interno della Zona Speciale di Conservazione (ZSC) "Boschi del Ticino" IT2080301, istituita ai sensi dell'art. 4 della Direttiva 79/409/CE del Consiglio del 2 aprile 1979 (c.d. Direttiva Uccelli), ora abrogata e sostituita dalla Direttiva 2009/147/CE, e della ZSC IT2080002 "Basso corso e sponde del Ticino", istituito ai sensi della dir 92/43 CEE. Per entrambe le Aree Natura 2000 l'Ente gestore di riferimento è il Parco Lombardo della Valle del Ticino.

Le ZPS insieme ai Siti di Importanza Comunitaria (SIC) e alle Zone Speciali di Conservazione (ZSC), istituiti ai sensi della Direttiva 92/43/CE del Consiglio del 21 maggio 1992 (c.d. Direttiva Habitat), garantiscono la presenza, il mantenimento e/o il ripristino di habitat e di specie peculiari del continente europeo, particolarmente minacciati di frammentazione ed estinzione e costituiscono la Rete Ecologica europea denominata Rete Natura 2000.

Come evidenziato nel paragrafo 1.3, la ZSC IT2080002 "Basso corso e sponde del Ticino" e la ZSC IT2080301 "Boschi del Ticino" non sono dotate di Piano di Gestione approvato ai sensi della DGR 1791/2006 ma sono interessate da Misure di Conservazione Sito-Specifiche contenute nel Documento Unico di Programmazione (DGR 4429/2015).

3 RIASSUNTO DELLE INDAGINI AMBIENTALI (OTTOBRE 2015-DICEMBRE 2017)

3.1 INDAGINI PRELIMINARI (OTTOBRE 2015 – APRILE 2016)

L'effrazione dolosa dell'oleodotto ha comportato la dispersione nel sottosuolo di prodotti petroliferi che si sono propagati fino a raggiungere la prima falda acquifera, posta ad una profondità di circa 5-6 m da p.c. e i punti di risorgiva posti a valle gradiente (situati a circa 200 m dal punto di effrazione), denominati *Sorgente Alta*, *Sorgente Media*, *Sorgente NS* (Tavola 1).

A seguito dell'evento, Eni ha provveduto ad attivare e ad eseguire in Sito le opportune attività di Messa in Sicurezza d'Emergenza (MISE) e d'indagine preliminare previsti dal D.Lgs. 152/06, al fine di mitigare e contenere l'impatto del prodotto idrocarburico fuoriuscito dall'oleodotto sulle matrici ambientali nonché verificare lo stato qualitativo delle matrici ambientali stesse a seguito degli interventi eseguiti/in corso.

Nello specifico, nel periodo di riferimento sono state realizzate le seguenti indagini:

- prelievo/analisi di campioni di terreno dalle pareti/fondo dello scavo/scariche eseguito/e in fase di MISE presso l'area effrazione;
- realizzazione di n. 3 saggi esplorativi nell'intorno dell'area di effrazione, con il prelievo/analisi di campioni di terreno dalle verticali d'indagine;
- realizzazione di n. 11 sondaggi attrezzati a pozzi di monitoraggio delle acque di falda (piezometri PZ1, PZ2, PZ3, PZ4, PZ5, PZ6, PZ7, PZ8, PZ9, PZ10 e PZ11), con il prelievo/analisi di campioni di terreno dalle verticali d'indagine;
- monitoraggi periodici delle acque di falda (rilievo fluidi e campionamento/analisi acque c/o rete piezometrica) e delle acque superficiali (campionamento/analisi c/o i punti di risorgiva/ruscellamento posti a valle effrazione e lungo la Roggia Rabica).

Per l'ubicazione dei punti di campionamento/verifica si faccia riferimento alla Tavola 1.

Per maggiori approfondimenti e dettagli si rimanda al documento “*Analisi di Rischio Sito Specifica, ai sensi del D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 81/08*” redatto da IT Group ad agosto 2016 ed inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 18/08/2016 (HSE HUB Prot. n. 901/16), che si assume noto.

3.2 PIANO DI CARATTERIZZAZIONE (APRILE-GIUGNO 2016)

Così come previsto dal documento “*Piano di Caratterizzazione ai sensi del D.Lgs. 152/06*”, condiviso con gli enti in sede di CdS del 26/02/2016 e approvato con determina n.1/2016 del Comune di Morimondo in data 30/03/2016, nel periodo di aprile-giugno 2016, per la definizione del modello concettuale del sito sono state realizzate le seguenti indagini:

- realizzazione di n. 5 sondaggi (BH1, BH2, BH3, BH4 e BH5), con il prelievo/analisi di campioni di terreno dalle verticali d’indagine;
- realizzazione di n. 13 sondaggi attrezzati a pozzi di monitoraggio delle acque di falda (PZ12, PZ13, PZ14, PZ15, PZ16, PZ17, PZ18, PZ19, PZ20, PZ21, PZ22, PZ23 e PZ24), con il prelievo/analisi di campioni di terreno dalle verticali d’indagine;
- monitoraggio delle acque di falda, in corrispondenza di tutta la rete piezometrica (rilievo fluidi e campionamento/analisi acque);
- realizzazione di n. 3 sondaggi, attrezzati con sonde di monitoraggio dei gas interstiziali Nesty Probe (SGS1, SGS2 e SGS3);
- monitoraggio gas interstiziali (campagna rappresentativa della stagione estiva);

Per l’ubicazione dei punti di campionamento/verifica si faccia riferimento alla Tavola 1.

Per maggiori dettagli ed approfondimenti si rimanda al documento “*Analisi di Rischio Sito Specifica, ai sensi del D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 81/08*” redatto da IT Group ad agosto 2016 ed inviato alle PP.AA. con comunicazione Eni del 18/08/2016 (HSE HUB Prot. n. 901/16), che si assume noto.

3.3 SOIL GAS SURVEY (GIUGNO 2016 - MAGGIO 2017)

L’utilizzo delle misure dirette dai gas interstiziali per la verifica dei risultati ottenuti con l’applicazione modellistica risulta essere in accordo con il PUNTO 2 delle *Linee guida per l’applicazione dell’analisi di rischio sito specifica - MATTMAT* prot.0029706/TRI del 18.11.2014 - Errata corregge prot. 0002277/STA del 19/02/2015.

Pertanto, in fase di caratterizzazione, sono stati realizzati n. 3 punti di monitoraggio gas interstiziali (SGS), denominati SGS1, SGS2 e SGS3, posti nell’intorno dei sondaggi BH5, BH2 e BH4 (Tavola 1), ossia in area effrazione dove, in fase d’indagine preliminare, è stata riscontrata la contaminazione nella matrice insatura.

Gli SGS sono stati realizzati in data 17/06/2016 mediante sonda, fino ad una profondità di 1,8 m da p.c.

Il primo campionamento dei gas interstiziali è stato effettuato il 23/06/2016, rappresentativo della stagionalità estiva. Le campagne di monitoraggio rappresentative delle altre tre stagioni si sono effettuate nei giorni 03/11/2016 (autunno), 23/01/2017 (inverno), 22/05/2017 (primavera). Durante il monitoraggio sono state seguite modalità di campionamento in accordo con le direttive ASTM D7663-12 ed in funzione dei limiti di rilevabilità strumentali.

Si rimanda alla documentazione pregressa per approfondimenti in merito.

3.4 PIANO DI CARATTERIZZAZIONE INTEGRATIVO (NOVEMBRE 2017)

In data 28/10/2016, si è tenuta una Conferenza dei Servizi per la valutazione del documento “*Analisi di Rischio Sito Specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 04/08*”, inviato agli enti in data 18/08/2016 (HSE HUB Prot. n. 901/16). In sede della sopracitata CdS, gli Enti hanno espresso osservazioni/prescrizioni e richiesto una integrazione d’indagine.

Pertanto, in ottemperanza alle osservazioni/richieste emerse in sede di CdS del 28/10/2016, con nota Eni del 21/12/2016 (HSE HUB Prot. n. 1356/16) è stato inviato alle PPAA il documento “*Riscontro ai pareri presentati dagli Enti in sede di Conferenza dei Servizi del 28/10/2016 e Piano di Caratterizzazione Integrativo*”.

Il succitato documento è stato valutato dalle PP.AA. e approvato con determina comunale n. 166 del 03/10/2017.

Le indagini integrative sono state realizzate, in contraddittorio e condivisione con ARPA, a novembre 2017.

Di seguito si riportano per completezza le informazioni principali, mentre per tutti i dettagli si faccia riferimento al documento “*Revisione Analisi di Rischio Sito Specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 04/08*” inviato agli Enti con comunicazione Eni del 29/03/2018, Prot. n. 390/18, e che si assume noto.

3.4.1 Indagini realizzate

In data 20-22/11/2017 si sono realizzati n.6 sondaggi e n.10 saggi esplorativi con le caratteristiche riassunte di seguito e la cui ubicazione è riportata in Tavola 1.

Nel dettaglio sono stati realizzati:

in area effrazione e a monte delle risorgive:

- n. 7 sondaggi (BH6, BH7, BH8-BH8bis, BH9, BH12 e BH10), spinti fino alla profondità variabile da 4,5 m a 6,2 da p.c.;

in area risorgive (area bosco):

- n. 8 sondaggi (S3, S4, S5, S7, S8, S9, S10 e BH12) spinti fino alla profondità variabile da 0,4 a 4,5 m da p.c.;
- n. 4 saggi (BH11, S6, S11 e S12) spinti sino alla profondità variabile da 0,5 a 1 m da p.c.

Lungo la verticale di ciascun sondaggio sono stati prelevati campioni di terreno medi composti a diverse profondità.

I risultati delle determinazioni analitiche realizzate sui campioni di terreno sono riportati nel documento “*Revisione Analisi di Rischio Sito Specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 04/08*”.

3.5 MONITORAGGIO ACQUE DI FALDA, RISORGIVE/RUSCELLAMENTI/TRINCEE, SUPERFICIALI E RILIEVO FREATIMETRICO (OTTOBRE 2015 - GENNAIO 2019)

Di seguito si riporta un resoconto delle attività di monitoraggio/verifica delle acque sotterranee e di risorgiva/superficiali eseguite in Sito, dall'avvio del procedimento (ottobre 2015) sino a gennaio 2019.

Per i dettagli sulle attività svolte nel periodo di riferimento si rimanda ai documenti (report tecnici di restituzione dati e/o progettuali) citati al paragrafo 1.4 e che si assumono noti.

3.5.1 Monitoraggio acque di falda

Dall'avvio del procedimento (ottobre 2015) sono stati eseguiti in Sito campionamenti periodici delle acque sotterranee, in corrispondenza della rete piezometrica installata (piezometri PZ1÷PZ24) e di n. 2 pozzi privati posti nell'intorno del Sito (denominati “*Pozzo Sig. Cattaneo*” e “*Pozzo Cascina Prato Ronco*”), la cui ubicazione è riportata nella Tavola 1.

Nell'anno 2018, il rilievo dei fluidi è stato realizzato a cadenza mensile mentre le campagne di monitoraggio sono state realizzate a cadenza bimensile, nei mesi di gennaio, marzo, maggio, luglio, settembre e novembre (quest'ultimo eseguito in contraddittorio con ARPA Lombardia), in corrispondenza dei punti di osservazione di principale interesse, in linea con il pregresso.

3.5.2 Monitoraggio acque Risorgive/Ruscellamenti/Trincee e Superficiali (Roggia Rabica)

Per la verifica dello stato qualitativo delle acque in corrispondenza delle risorgive e del corso d'acqua Roggia Rabica (poste/o a valle effrazione), dall'avvio del procedimento sono stati individuati in area risorgive (area bosco) e lungo la roggia dei punti di verifica rappresentativi, da monitorare/campionare periodicamente.

In area Bosco, le acque di risorgiva e i relativi ruscellamenti nonché le acque intercettare dalle trincee (eseguite in sito in fase di MISE - Tavola 1) sono il risultato dell'emergenza o della messa a giorno della falda acquifera. Per la valutazione dello stato qualitativo delle acque in tali zone si è scelto di prelevare dei campioni di acqua direttamente dai punti di risorgiva, lungo i ruscellamenti d'interesse e dalle trincee.

Allo stesso modo, la verifica dello stato qualitativo delle acque superficiali (Roggia Rabica) viene svolta prelevando campioni di acqua dal corso d'acqua, lungo il tratto di roggia ritenuto d'interesse.

La Tavola 1 riporta i punti di campionamento oggetto di verifica, quali: Sorgente Alta, Sorgente Media, Sorgente NS, S3(a), in corrispondenza dei principali ruscellamenti (es. NSvalle, SMVP, SAVPvalle, SNPvalle, SOPvalle), in corrispondenza delle trincee (Trincea 1, Trincea 2a, Trincea 2b, Trincea 2c) e lungo la Roggia Rabica (es. RRAM, RRA0, RRA4, RRA5).

In area Bosco, le acque di risorgiva e i relativi ruscellamenti nonché le acque intercettare dalle trincee (eseguite in sito in fase di MISE) sono il risultato dell'emergenza o della messa a giorno della falda acquifera. Per la valutazione dello stato qualitativo delle acque in tali zone si è scelto di prelevare dei campioni di acqua direttamente dai punti di risorgiva, lungo i ruscellamenti d'interesse e dalle trincee.

Allo stesso modo, la verifica dello stato qualitativo delle acque superficiali (Roggia Rabica) viene svolta prelevando campioni di acqua dal corso d'acqua, lungo il tratto di roggia ritenuto d'interesse.

I risultati analitici ottenuti sono riassunti in Tabella 1 allegata.

3.5.3 Rilievo freaticometrico

Dall'avvio del procedimento, è stata eseguita a cadenza periodica, in corrispondenza della rete piezometrica esistente, la misura del livello di falda (rilievo freaticometrico) per mezzo di una sonda d'interfaccia in grado di segnalare l'attraversamento di due fluidi caratterizzati da diversa densità, utilizzando suoni diversi (in genere uno continuo, l'altro intermittente). In tal modo è stato possibile misurare e verificare nel tempo la profondità del fluido surnatante (eventualmente presente) e della sottostante interfaccia (soggiacenza dell'acqua di falda), individuando/verificando lo spessore di una eventuale fase in galleggiamento (spessore prodotto surnatante).

Il rilievo freaticometrico è stato eseguito, nel periodo Ottobre 2015 – Marzo 2017, con frequenza quasi giornaliera. Successivamente, nel periodo Aprile – Giugno 2017 con frequenza settimanale. Infine, da Luglio 2017 a Dicembre 2018 con cadenza mensile. Si faccia riferimento alla documentazione pregressa per la consultazione dei rilievi dei fluidi

4 ATTIVITÀ DI MESSA IN SICUREZZA

Nel presente capitolo viene fornito un breve resoconto degli interventi di Messa in Sicurezza realizzati e attivi in Sito, a seguito dell'evento di effrazione di Ottobre 2015.

Immediatamente dopo l'evento doloso, in Area Effrazione, si è provveduto alla rimozione e allo smaltimento del terreno contaminato nell'intorno del punto di effrazione per un'area di circa 55 m², fino ad una profondità di circa 3 m da p.c. In Area Risorgive e lungo la Roggia Rabica si sono posizionate panne e barriere oleo-assorbenti oltre all'azionamento di opportuni interventi di spurgo/recupero prodotto surnatante.

Nel periodo Novembre 2015 – Gennaio 2016, sono stati installati e avviati due sistemi di MISE di tipo Pump&Stock: in area Effrazione (Area 1) mettendo in emungimento n. 3 punti PZ2, PZ4 e PZ6; in area Monte Risorgive (Area 2) con n. 6 punti di emungimento PZ5, PZ7 – PZ11. In area Risorgive (area Bosco), sono state mantenute le panne e i fogli oleo-assorbenti, in corrispondenza delle risorgive e dei ruscellamenti, e le barriere rigide lungo la Roggia Rabica.

A dicembre 2015, in Area Risorgive, a seguito del rinvenimento di nuove evidenze di prodotto in fase separata, sono state realizzate (per la messa in sicurezza del sito) due trincee al fine di agevolare/consentire l'accumulo e la rimozione del prodotto.

Nello stesso periodo, sempre in Area Risorgive, si è provveduto all'aspirazione di acqua e prodotto mediante n. 3 skimmer attivi, dai punti con maggiore afflusso, nei pressi di Sorgente Alta e dalle Trincee.

Durante tutto il 2016 e fino a maggio 2017, in aggiunta ai presidi già installati in Area Risorgive, si è proceduto, mediante autobotte, allo spurgo dei piezometri non in emungimento posti a valle barriera risultanti non conformi e dove veniva riscontrata presenza di prodotto.

Il 23 maggio 2017, a seguito dell'autorizzazione allo scarico in corpo idrico superficiale da parte della Città Metropolitana di Milano e all'autorizzazione a procedere da parte dell'Ente Parco, è stato installato/attivato il sistema Pump&Treat (in sostituzione ai Sistemi di Pump&Stock), integrando il barrieramento con l'attrezzaggio (mediante pompe pneumatiche) dei punti PZ21, PZ23, PZ24, Sorgente Alta, e Trincea 2c.

Ad agosto 2017 è stato installato il sistema SAMIS (Sistema Automatico di Messa in Sicurezza) in corrispondenza della Sorgente Alta, in sostituzione alle panne/barriere oleo-assorbenti e allo skimmer attivo. Tale sistema permette il recupero automatico del prodotto surnatante eventualmente presente.

A partire da luglio 2017 si è proceduto a sostituire alcune barriere in polipropilene con panne in grafene, caratterizzate da maggior durata e resistenza.

Pertanto, ad oggi rimangono attivi come interventi di Messa in Sicurezza le seguenti attività:

- Gestione Sistema di Pump&Treat con barrieramento idraulico in area effrazione e a monte delle risorgive e in area risorgive;
- Manutenzione/gestione di presidi in area risorgive mediante barriere/panne olio-adsorbenti e di Sistema di recupero automatico di prodotto (SAMIS) in area risorgive, c/o la Sorgente Alta;

- Monitoraggi periodici di verifica delle acque di falda e risorgive/ruscellamento e superficiali (ad integrazione e a supporto delle attività di caratterizzazione).

Per maggiori dettagli sulle attività di MIS e sulla relativa gestione dei rifiuti si rimanda alle relazioni tecniche periodiche di aggiornamento inviate (citare al paragrafo 1.4) e che si assumono note.

4.1 SISTEMA DI PUMP&TREAT (P&T)

Facendo seguito alla valutazione di incidenza positiva rilasciata dal Parco Lombardo della Valle del Ticino in data 28/10/2016 (Prot. n. 2016/0010376) e all'Autorizzazione 9671/2016 del 25/10/2016 (rilasciata alla Società NCE - società operativa incaricata dalla Società Eni) per lo scarico di acque emunte da barriera idraulica in corso d'acqua superficiale, in data 23/05/2017 è stato avviato in sito il Sistema di Pump & Treat con i seguenti adeguamenti:

- pompe elettriche in corrispondenza dei pozzi PZ2, PZ4 e PZ6 (in area Effrazione);
- pompe pneumatiche in corrispondenza dei pozzi PZ7, PZ9, PZ8, PZ5, PZ10, PZ11 (in area Monte delle Risorgive);
- pompe pneumatiche in corrispondenza dei piezometri PZ23, PZ24, PZ21 (in area Risorgive - Bosco);
- pompe sommergibili/autoadescanti in corrispondenza della Sorgente Alta e della TRINCEA 2 (in area Risorgive - Bosco).

In data 18/12/2017 sono stati installati nei pozzi barriera PZ2, PZ4 e PZ6 (pozzi attrezzati con pompe elettriche) degli skimmer passivi al fine di agire sul recupero del prodotto eventualmente richiamato del barrieramento in essere.

Ad Aprile 2018, invece, sono stati eseguiti i lavori di predisposizione delle linee idrauliche ed elettriche per la sostituzione dei suddetti skimmer passivi con skimmer attivi collegati direttamente all'impianto di P&T in esercizio.

Pertanto, ad oggi l'impianto è costituito da n. 3 pompe elettrosommerse, n. 3 skimmer attivi, n. 9 pompe pneumatiche, n. 1 pompa a membrana, n. 1 pompa pneumatica modificata, n. 1 filtro a sabbia, n. 4 filtri a carbone, n. 1 disoleatore, n. 3 pompe di rilancio, n. 2 cisterne di stoccaggio acque di controlavaggio, n. 1 cisterna di stoccaggio prodotto (cfr. P&ID in Tavola 6B).

In data 28/08/2017, con Autorizzazione Dirigenziale n. 7095/2017 della Città Metropolitana di Milano, l'autorizzazione allo scarico di acque emunte dalla barriera idraulica è stata trasferita a favore della Società ACR di Reggiani Albertino S.p.a (Ditta operativa subentrata, su incarico di Eni, ad Agosto 2017 alla Società NCE).

Pertanto, come previsto dal "Progetto impianto di Pump & Treat" riportato nella valutazione di incidenza (inviato da Eni come allegato alla Richiesta di Valutazione di Incidenza in data 28/09/2016), valutata positivamente dal Parco Lombardo della Valle del Ticino (Prot. n. 2016/0010376 del 28/10/2016) nonché dalla sopraccitata autorizzazione allo scarico, sono attivi i seguenti accorgimenti:

- per la verifica dell'oscillazione della falda in area boschiva, viene effettuato un rilievo periodico (mensile) della soggiacenza della falda in corrispondenza di n. 4

piezometri posti in area bosco (PZ21÷PZ24) e delle trincee poste immediatamente a monte del punto di scarico;

- per la verifica dell'apporto dei volumi di acqua emunti e immessi nel sistema idrico locale vengono effettuate letture dei contaltri installati, in corrispondenza dei pozzi barriera e della colonna filtrante (cadenza mensile);
- per monitorare la qualità delle acque, viene effettuato un campionamento dell'acqua in ingresso e in uscita all'impianto di trattamento per la determinazione dei parametri analitici Idrocarburi totali, solventi aromatici totali e MTBE (cadenza mensile).

In merito alle portate di esercizio adottate per il barrieramento in esercizio, si precisa che, nel rispetto della portata di scarico massima autorizzata (pari a 8 m³/h), si riporta in Tabella 4.1 un riepilogo delle portate massime di esercizio previste per ogni punto in emungimento.

TABELLA 4.1: IMPIANTO SISTEMA P&T - PORTATE DI ESERCIZIO MASSIME PREVISTE.

ID pozzo	Tipo di attrezzatura	Ø pozzo	Q max	
		(")	(mc/h)	(lt/min)
Area Effrazione				
PZ2	Pompa elettrosommersa e skimmer attivo	8	2,2	36,67
PZ4	Pompa elettrosommersa e skimmer attivo	8	2,2	36,67
PZ6	Pompa elettrosommersa e skimmer attivo	6	2,2	36,67
Area Monte Risorgive				
PZ7	Pompa pneumatica	6	0,12	2
PZ9	Pompa pneumatica	6	0,12	2
PZ8	Pompa pneumatica	6	0,12	2
PZ5	Pompa pneumatica	6	0,12	2
PZ10	Pompa pneumatica	6	0,12	2
PZ11	Pompa pneumatica	6	0,12	2
Area Risorgive				
PZ23	Pompa pneumatica	4	0,12	2
PZ24	Pompa pneumatica	4	0,12	2
PZ21	Pompa pneumatica	4	0,12	2
Sorgente Alta	Pompa pneumatica	-	0,12	2
Trincea 2c	Pompa pneumatica	-	0,12	2
Portata totale			7,32	122
Portata totale autorizzata per lo scarico in Roggia Rabica			8,0	132

Si precisa inoltre che dallo “*Studio di Incidenza*”, elaborato in conformità agli articoli 5 e 6 del D.P.R. n. 357/97 e alla DGR 14106/2003, per l'installazione e avvio di un Sistema di Messa in Sicurezza di tipo Pump&Treat (P&T), e dai dati osservati in campo (es. oscillazione della falda in area boschiva), ne deriva che le attività di gestione/mantenimento del sistema di P&T in esercizio hanno impatti trascurabili sugli habitat vegetazionali e sulla matrice acquosa e relative componenti.

4.2 SISTEMA DI RECUPERO AUTOMATICO DI PRODOTTO (SAMIS)

Il sistema denominato “Sistema Automatico di Messa In Sicurezza” (*SAMIS*), brevettato dalla Società Petroltecnica S.p.A., è un sistema automatico innovativo per il confinamento e il conseguente recupero automatico e immediato, delle sostanze liquide, tossico-nocive, infiammabili o comunque pericolose, rilasciate accidentalmente.

Il *SAMIS* è composto dalle seguenti componenti principali:

- un gruppo di rilevamento degli inquinanti monitorabile in remoto che trasmette in tempo reale gli allarmi (via email, sms, software dedicato) ai soggetti preposti. Il sistema di rilevamento è configurato in funzione della sostanza che si vuole identificare/recuperare;
- un gruppo di blocco automatico degli inquinanti; il gruppo è configurato in funzione della tipologia di sistema (tubazioni, canali, vasche);
- un gruppo di recupero automatico degli inquinanti;
- gruppo di attivazione allarmi;
- cisterna di stoccaggio reflui recuperati.

Le Figure 4.1 e 4.2 riportano layout del software di gestione con la barriera in condizioni normali (a riposo) e in condizione di allarme (in esercizio).

FIGURA 4.1: SISTEMA SAMIS, IN CONDIZIONE NORMALE (A RIPOSO).

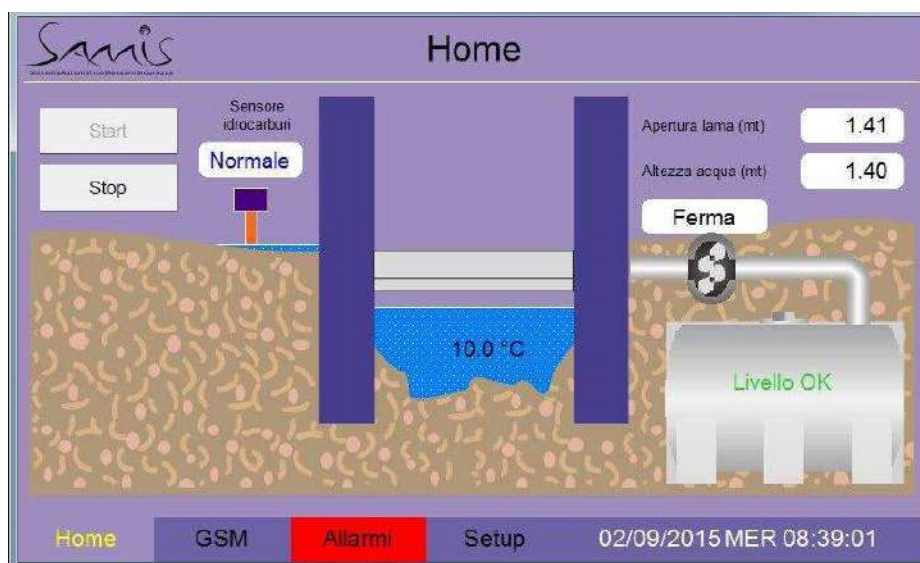
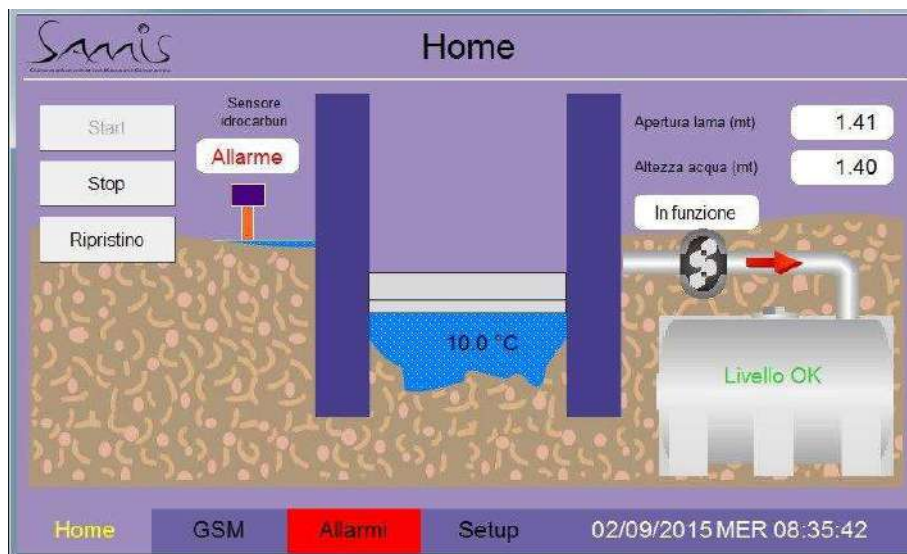


FIGURA 4.2: SISTEMA SAMIS, IN CONDIZIONE DI ALLARME (IN ESERCIZIO)



Presso il sito in esame, il sistema SAMIS è stato posizionato presso la Sorgente Alta ed è in funzione per la MISE del Sito da agosto 2017, in sostituzione dei precedenti presidi (skimmer e/o attività di spurgo forzato) (comunicazioni Eni del 30/05/2017 - HSE HUB Prot. n. 596/17 e del 30/08/2017 - HSE HUB Prot. n. 932/17).

Esso consente il recupero del prodotto o delle iridescenze eventualmente provenienti dalla suddetta sorgente, grazie ai sensori installati in grado di riconoscere la presenza di idrocarburi. L'installazione del Sistema ha comportato la posa di un "sistema di recupero" composto da n. 3 moduli in lega metallica prefabbricata (basamento, barriera e tettoia) in corrispondenza del ruscellamento della Sorgente Alta (a circa 10-12 metri dalla risorgiva) e di un "sistema di stoccaggio dei reflui recuperati" composto da una cisterna da 10 mc, posizionato nelle vicinanze del sistema di recupero (in Area Monte Risorgive).

Il sistema automatico agisce creando un'azione di sbarramento mediante una paratia mobile che, in condizioni di non attività del sistema, penetra nel flusso di acqua per circa 1/4 dello spessore totale del ruscellamento, mantenendo la fenditura adibita al recupero dell'inquinante sopra il pelo dell'acqua. In questo modo la parte superficiale del flusso acquoso viene trattenuta mentre la parte inferiore defluisce secondo il deflusso delle acque. L'azione di sbarramento consente l'accumulo di iridescenze e prodotto in galleggiamento e, quando il sensore riconosce la presenza di idrocarburi il sistema si attiva abbassando la paratia mobile fino a che la fenditura adibita al recupero dell'inquinante traguardi la quota del pelo d'acqua, in modo da consentirne il recupero dell'inquinante intercettato. Il refluo recuperato viene rilanciato all'apposita cisterna di stoccaggio collegata al sistema.

Le sponde del tratto di ruscellamento che dalla risorgiva va fino al sistema di recupero SAMIS sono state opportunamente impermeabilizzate mediante la posa e/o sistemazione (nei punti dove sono già presenti) di pannelli in legno (ricoperti con telo impermeabile), al fine di impedire che l'eventuale prodotto in uscita dalla Sorgente Alta possa seguire altre vie preferenziali e/o impattare l'alveo stesso.

Si precisa che, nel caso in esame, non essendoci grandi spessori di prodotto libero in galleggiamento e vista la variabilità dell'oscillazione del pelo d'acqua del ruscellamento

intercettato dal sistema, le succitate operazioni di recupero comportano il recupero sia del prodotto intercettato che dell'eventuale contaminante disciolto in quanto una quota parte di acqua inevitabilmente confluisce della fenditura insieme al prodotto, con un rapporto prodotto acqua pari a circa 1/3.

Dall'avvio si sono riscontrate varie attivazioni del sistema, a causa del rilevamento da parte dei sensori di prodotto surnatante.

La seguente tabella 4.2 riporta tutte le attivazioni del SAMIS avvenute nel periodo 2017-Aprile 2019, e mostra una maggiore frequenza di attivazione nei periodi primaverili ed estivi, corrispondenti agli innalzamenti della falda legati alle irrigazioni che contraddistinguono l'area in studio.

TABELLA 4.2: ATTIVAZIONI DEL SAMIS NEL PERIODO 2017 – 2018.

ATTIVAZIONI SAMIS 2017-2018	
Anno 2017	
Mese	Data di attivazione
Luglio	25 luglio – Installazione SAMIS
Agosto	18-19
Settembre	Nessuna attivazione
Ottobre	Nessuna attivazione
Novembre	Nessuna attivazione
Dicembre	Nessuna attivazione
Anno 2018	
Mese	Data di attivazione
Gennaio	Nessuna attivazione
Febbraio	23
Marzo	Nessuna attivazione
Aprile	01-03-18-25-27
Maggio	01-04-06-15-16-22-23-25
Giugno	Nessuna attivazione
Luglio	Nessuna attivazione
Agosto	08-09
Settembre	Nessuna attivazione
Ottobre	21
Novembre	Nessuna attivazione
Dicembre	Nessuna attivazione
Anno 2019	
Mese	Data di attivazione
Gennaio	Nessuna attivazione
Febbraio	Nessuna attivazione
Marzo	Nessuna attivazione
Aprile	18-19-20-21-22-27

Si propone il mantenimento del presidio con il sistema SAMIS. La sua eventuale disinstallazione sarà valutata in funzione delle verifiche di campo condotte.

I rifiuti prodotti sono stati gestiti nel rispetto della normativa vigente in materia di recupero/smaltimento del rifiuto secondo la classificazione dell'Elenco Europeo dei Rifiuti.

Le strutture/opere succitate sono a corredo delle attività di MIS del Sito, a carattere non permanente e non comportano modifiche e/o impatti significativi all'ambiente.

4.3 PANNE/BARRIERE OLEOASSORBENTI

In area risorgive e lungo la Roggia Rabica, ad oggi sono presenti presidi per la MISE del Sito quali panne/barriere oleoassorbenti, che vengono periodicamente verificate/sostituite (ove necessario).

Nello specifico:

- panne/barriere oleoassorbenti (in polipropilene o in grafene) sono poste in corrispondenza dei punti “Sorgente Media”, “Sorgente NS”, lungo i ruscellamenti originati da tali risorgive e della “Sorgente Alta” e in prossimità delle Trincee;
- barriere oleoassorbenti (in polipropilene) poste (cautelativamente) lungo la Roggia Rabica, disposte in prossimità dei punti di confluenza dei ruscellamenti di maggiore interesse (es. derivanti dalla Sorgente Alta o Media) e a valle gradiente, in località Prato Ronco.

Tali presidi sono a corredo delle attività di MIS del Sito, a carattere non permanente e non comportano modifiche e/o impatti significativi all'ambiente.

4.4 ATTREZZATURE/STRUTTURE DI PERTINENZA DELLE ATTIVITÀ DI MIS

La gestione delle attività/sistemi di MIS descritte/i nei precedenti paragrafi comporta la presenza in Sito, in forma temporanea, delle seguenti strutture:

- n. 2 container adibiti ad ufficio e n.1 container per uso magazzino/ritiro attrezzature, per un totale di circa 40 m³ (posti in Area Monte delle Risorgive);
- n. 1 container di circa 60 m³ per lo stoccaggio temporaneo di big bag con panne oleoassorbenti esauste (posti in Area Monte delle Risorgive).

5 MODELLO CONCETTUALE DEL SITO

Il presente capitolo illustra il Modello Concettuale formulato per il Sito sulla base dei dati ad oggi disponibili, raccolti durante le varie fasi d'indagine e di MISE svolte in sito dalla notifica fino a dicembre 2018, utilizzato per l'implementazione dell'ultimo documento progettuale inviato e approvato (Revisione Analisi di Rischio), integrato con i dati raccolti rilevati nell'anno 2018.

5.1 GEOMORFOLOGIA

L'area in esame, dal punto di vista geomorfologico, ricade in corrispondenza di uno dei terrazzi di origine fluvio-glaciale che formano la sponda idrografica sinistra della valle dove scorre il Fiume Ticino, denominato terrazzo "intermedio".

Quest'ultimo presenta quote variabili tra 87 e 95 m s.l.m. e va a raccordarsi al terrazzo sottostante denominato "basso" (con quote variabili tra 82 e 87 m s.l.m.) con una scarpata di altezza media di circa 8-9 m e pendenza variabile tra circa 5° e 15°.

Nel dettaglio, a scala locale, sono state individuate le seguenti aree d'interesse (Tavola 01):

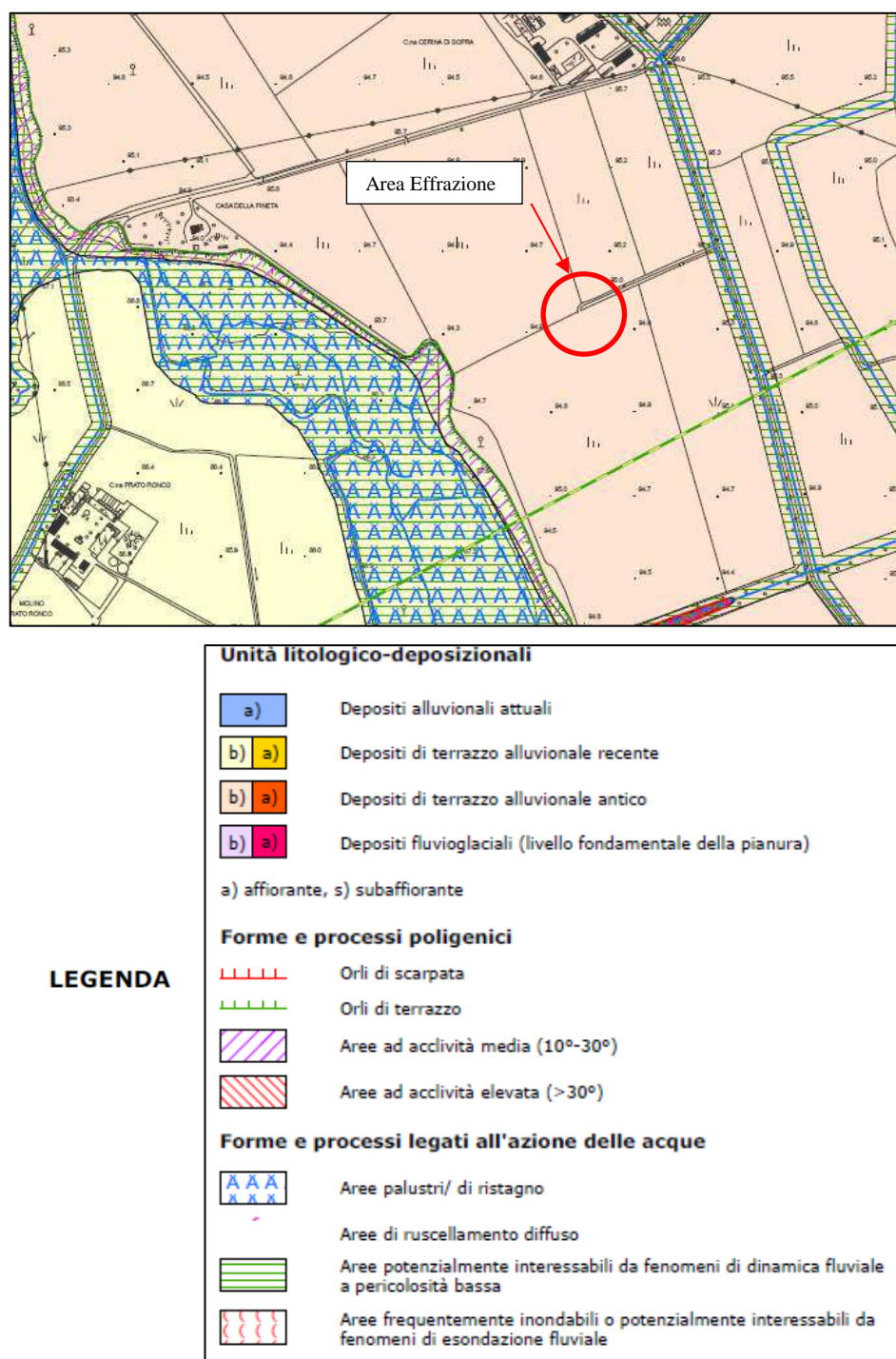
- AREA EFFRAZIONE: area posta in corrispondenza del tratto di oleodotto dove è avvenuta la fuoriuscita degli idrocarburi per manomissione dolosa, posta ad una quota media di 94,21 m s.l.m (terrazzo "intermedio");
- AREA MONTE RISORGIVE: a valle dell'effrazione, che si estende fino al bordo del terrazzo "intermedio" (limite dei campi con il bosco), posta ad una quota media di 94,21 m s.l.m;
- AREA RISORGIVE/BOSCO: in corrispondenza della scarpata del terrazzo "intermedio" (area boschiva), dove la falda affiora generando risorgive e/o ristagni d'acqua;
- AREA ESTERNA: posta in corrispondenza del terrazzo "basso", con una quota media di circa 86,21 m s.l.m.

5.2 LITOLOGIA

Dalla *"Carta litologica e della dinamica geomorfologica con elementi di prima caratterizzazione geotecnica"* del PGT del comune di Morimondo (Figura 7.1) si evince che nell'area oggetto di studio sono presenti *"Depositi di terrazzo alluvionale antico"* (sub-affioranti) e *"Depositi di terrazzo alluvionale recente"* (affioranti).

Nel dettaglio, le alluvioni antiche (superfici terrazzate sospese) sono depositi messi in posto successivamente al Livello Fondamentale della Pianura, a quota inferiore ad esso, costituiti generalmente da ghiaie e sabbie ciottolose passanti a ghiaie sabbiose. Possono inoltre essere intercalati dei livelli sabbioso-limosi riconducibili ad eventi di esondazione. Le alluvioni recenti (piane alluvionali inondabili), invece, sono depositi costituiti da ghiaie e sabbie con lenti argillose e limose più o meno estese.

FIGURA 5.1: STRALCIO DELLA “CARTA LITOLOGICA E DELLA DINAMICA GEOMORFOLOGICA CON ELEMENTI DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA” – TAV. N. 1B DI NOVEMBRE 2011, DEL P.G.T DEL COMUNE DI MORIMONDO



Al fine di ricostruire con maggior dettaglio l'assetto litologico dell'area d'interesse, indagata in fase di caratterizzazione con la realizzazione di sondaggi spinti fino alla profondità indicativa di 10-12 m da p.c., sono state elaborate n.2 sezioni litologiche, una orientata nord-ovest sud-est (Sezione n.1) e una orientata nord-sud (Sezione n. 2), così come riportato nelle Tavole IIIA e IIIB, in Allegato D all'ADR approvata e a cui si rimanda.

La Sezione 1 si estende dal piezometro PZ1 a nord-est al PZ21 a sud-ovest, per una lunghezza complessiva di circa 300 m. È stata elaborata utilizzando le stratigrafie di n.10 sondaggi, aventi profondità massima pari a 13 m da p.c. Il piano campagna lungo la sezione risulta sub pianeggiante dal piezometro PZ1 al PZ8, con quote poco inferiori a 94,5 m s.l.m.; procedendo oltre il PZ8, la quota del piano campagna (p.c.) tende a diminuire fino a circa 87 m s.l.m. (PZ21). A partire dal piano campagna, si identifica la presenza di ghiaia sabbiosa fino a circa 7 m di profondità da p.c., sostituita più in profondità da sabbia medio-fine ghiaiosa debolmente limosa. Sono presenti alcune lenti di materiale più fine, costituite da sabbia limosa e limo sabbioso, che non risultano continue spazialmente. Lungo la Sezione 1, tra i piezometri PZ1 e PZ23, affiorano i depositi del terrazzo alluvionale antico, identificati nel PGT del comune di Morimondo, a quote comprese tra 87 e 97 m s.l.m. e composti principalmente da ghiaia e ciottoli con sabbia; spostandosi verso sud-ovest rispetto al PZ23, affiorano i depositi del terrazzo alluvionale recente, identificati nel PGT del comune di Morimondo, a quote comprese tra 82 e 87 m s.l.m. e composti principalmente da ghiaia con sabbia.

La Sezione 2 si estende dal piezometro PZ13 a nord-ovest al PZ12 a sud-est, per una lunghezza complessiva di circa 180 m. Tale sezione è stata elaborata utilizzando le stratigrafie di n. 8 sondaggi, aventi profondità massima pari a 13 m da p.c. Il piano campagna lungo la Sezione 2 risulta sub pianeggiante, con quote comprese tra 94,1 e 94,4 m s.l.m. Tale sezione è disposta in direzione parallela all'orlo del terrazzo e risultano affioranti i depositi del terrazzo alluvionale antico. A partire dal piano campagna, si identifica la presenza di ghiaia sabbiosa con uno spessore di circa 6 m a nord che aumenta fino a 10 m circa spostandosi verso sud. In corrispondenza del piezometro PZ9, lo spessore del livello di ghiaia si riduce a 4 m circa. Al di sotto della ghiaia sabbiosa è presente sabbia medio-fine ghiaiosa debolmente limosa, con intercalazioni di alcune lenti di materiale fine che non risultano continue spazialmente.

5.3 IDROGEOLOGIA

L'area in esame è caratterizzata da un acquifero freatico impostato in “sabbie ghiaiose, localmente limose”, con una direzione di flusso prevalente orientata da NORD EST verso SUD OVEST e gradiente idraulico medio pari a 0,00633 nell'AREA EFFRAZIONE E MONTE RISORGIVE e pari a 0,0264 nell'AREA RISORGIVE/BOSCO.

Dall'interpretazione di prove idrauliche eseguite in sito e dalla successiva calibrazione dei dati tramite PEST (calibrazione inversa attraverso l'ausilio di PEST - Doherty, Hunt, 2010, implementata con modello di flusso tridimensionale quale Fase Tier 3) ne deriva la seguente CONDUCEBILITÀ IDRAULICA DELL'ACQUIFERO:

- in Area Effrazione la conducibilità risulta pari a circa $1,2 \cdot 10^{-3}$ m/s mentre a Monte delle Risorgive varia tra $7 \cdot 10^{-4}$ m/s e $2,5 \cdot 10^{-3}$ m/s;
- in Area delle Risorgive e Area Esterna la conducibilità ha valori compresi tra $1 \cdot 10^{-4}$ m/s e $7 \cdot 10^{-5}$ m/s.

La morfologia del sito, caratterizzata dalla presenza di un terrazzo fluvio-glaciale con un dislivello di quota di circa 9 metri, condiziona la soggiacenza della falda e fa sì che:

- in AREA EFFRAZIONE E MONTE RISORGIVE, in corrispondenza del terrazzo “intermedio”, ad una quota media pari a 88,6 m s.l.m. la soggiacenza media si attesta a 5,55 m da p.c.;
- in AREA RISORGIVE/BOSCO, in corrispondenza della scarpata del terrazzo “intermedio”, ad una quota media di 87,20 m s.l.m. la falda tende ad affiorare generando risorgive e/o ristagni d’acqua e nei punti di monitoraggio eseguiti (piezometri PZ21-PZ24) la falda viene intercettata ad una profondità media di 0,45 m da p.c. (in PZ21 e PZ22) e 3,45 m da p.c. (in PZ23 e PZ24);
- in AREA ESTERNA, in corrispondenza del terrazzo “basso” (alla base del terrazzo “intermedio”), ad una quota media pari a 85,47 m s.l.m. la falda viene intercettata ad una profondità media di 0,56 m da p.c.

In funzione dell’elevato numero di dati di soggiacenza disponibili, in corrispondenza di ogni punto della rete è stata effettuata un’analisi statistica degli stessi al fine di individuare, in dettaglio per ogni area e per ogni punto di monitoraggio, il confine tra porzione insatura e satura del suolo, così come descritto in dettaglio nel seguito:

- per l’AREA EFFRAZIONE E MONTE RISORGIVE, è stato individuato un valore di massima soggiacenza della falda per l’intera area, pari a 6,403 m da p.c., corrispondente al massimo degli UCL calcolati per ogni punto di monitoraggio; analogamente, è stato individuato un valore di minima soggiacenza della falda, pari a 4,480 m da p.c., corrispondente al minimo degli LCL calcolati per ogni punto di monitoraggio;
- per l’AREA RISORGIVE/BOSCO, data la topografia del terreno, non è stato possibile utilizzare un valore unico per l’intera area e si è quindi ragionato puntualmente, prendendo come riferimento il singolo valore di UCL/LCL calcolato.

5.4 STATO QUALITATIVO DEI TERRENI

In Tabella 5. si riportano i campioni di terreno ad oggi analizzati (ottobre 2015÷novembre 2017), eccedenti le CSC di riferimento.

TABELLA 5.4 – SUPERAMENTI DELLE CSC RILEVATI NEI TERRENI (OTTOBRE 2015 - NOVEMBRE 2017)

AREA DEL SITO	CAMPIONE	TPH C>12	TPH C<12	XILENE	Σ ORGANICI AROMATICI
	CSC COL. A	50 (mg/kg)	10 (mg/kg)	0,5 (mg/kg)	1 (mg/kg)
SUOLO SUPERFICIALE					
AREA EFFRAZIONE	BH5 (0 – 1 m)	142	65	0,97	1,04
	S1PB (0 – 1 m)	822,7	-	-	-
	SC1PA1	63,6	-	-	-
	SC1PB1	1.240	-	-	-
	SC1F1 (-1,8 m)*	3.532	66,8	-	-
	SC1PA2	6.375	64,5	-	-
	SC1PB2	3.217,3	81,2	-	-
	SC1PA3	59,3	-	-	-
	SC1F2 (-1,8 m)*	2.934,9	76,3	-	-
AREA RISORGIVE/ BOSCO	SC2FA (-1 m)	-	36,6	-	-
	BH11 (0-1 m)	166	-	-	-
	S8 (0,6-1 m)	159	-	-	-
	PZ21 (0,6 - 1,6 m)	277	50	0,75	1,1
	PZ22 (0 - 0,6 m)	52	-	-	-
SUOLO PROFONDO INSATURO					
AREA EFFRAZIONE	BH3 (2 – 3 m)	1.030	44	-	-
	BH3 (3,5 – 4,5 m)	51	-	-	-
	BH4 (3,5 – 4,5 m)	1.690	117	2,41	2,5
	BH5 (3,5 – 4,5 m)	3.750	330	24,5	26,7
	BH5 (3,5 – 4,5 m) Arpa	1.497	183	-	2,2
	PZ2 (2 – 3 m)	2.300	28,9	-	-
	S1PA1 (1 – 2,8 m)	2.170	189,8	-	-
	S1PB (1 – 2,8 m)	1.660	140,4	-	-
	S1PD (1 – 2,8 m)	-	390,7	-	-
	S1PFA1 (-2,8 m)	5.490	188,6	-	-
	S1PFA2 (-2,8 m)	-	242,8	-	-
	SC1PA1	63,6	-	-	-
	SC1PB1	1.240	-	-	-
	SC1F1 (-1,8 m)	3.532	66,8	-	-
	SC1PA2	6.375	64,5	-	-
	SC1PB2	3.217,3	81,2	-	-
	SC1F2 (-1,8 m)	2.934,9	76,3	-	-
	SC1PA3	59,3	-	-	-
	SC2FA (-1 m)	-	36,6	-	-
	BH8bis (3,5 – 4,5 m)	64	-	-	-
AREA MONTE RISORGIVE	PZ14 (5 – 6 m)	1.130	103	-	-
	PZ7 (5,2 – 6,2 m)	1.116,6	77,7	-	-
	PZ8 (5,2 – 6,2 m)	165,9	-	-	-
AREA RISORGIVE	PZ21 (0,6-1,6 m)	277	50	0,75	1,1
	PZ21 (1,6-2,6 m)**	144	14,2	-	-
	PZ24 (4 - 5 m)	1.020	92	5,1	5,5

*CAMPIONE DI FONDO FOSSO

** CAMPIONE POSTO NEL SATURO

Dall'esame dei dati sopra riportati si evidenzia che:

- i superamenti riscontrati in sito hanno interessato sia il suolo superficiale sia il suolo profondo insaturo per i parametri IDROCARBURI LEGGERI $C \leq 12$, IDROCARBURI PESANTI $C > 12$, XILENI e/o SOMMATORIA ORGANICI AROMATICI;
- in AREA ESTERNA nessun campione di terreno ha mostrato il superamento dei limiti normativi per i parametri analizzati;
- dall'analisi delle quote a cui è stata rilevata la contaminazione in PZ24 e BH11 si evince che la potenziale contaminazione del SUOLO SUPERFICIALE rilevata in BH11 è attribuibile alla migrazione della contaminazione riscontrata in PZ24 nel SUOLO PROFONDO INSATURO.

Inoltre, secondo quanto esposto nel paragrafo precedente, dall'analisi statistica della soggiacenza delle acque sotterranee in corrispondenza dei punti di monitoraggio è stato verificato che:

- in corrispondenza del piezometro PZ21, per il quale è stata rilevata una massima escursione della falda pari a 1,024 m da p.c. (UCL 95%) nel periodo di osservazione (OTTOBRE 2015-DICEMBRE 2017), i superamenti riscontrati per il campione PZ21 (0,6-1,6 m) e PZ21 (1,6-2,6 m) sono da considerarsi rispettivamente in parte e totalmente nella porzione satura del suolo profondo;
- in corrispondenza del piezometro PZ22, per il quale è stata rilevata una massima escursione della falda pari a 0,284 m da p.c. (UCL 95%) nel periodo di osservazione (OTTOBRE 2015-DICEMBRE 2017), i superamenti riscontrati per il campione PZ22 (0,0-0,6 m) sono da considerarsi in parte nella porzione satura del suolo superficiale;
- per il superamento riscontrato in S8 (0,6-1,0 m), non avendo a disposizione un valore puntuale di soggiacenza della falda, si è fatto riferimento alla massima escursione rilevata in PZ21 (piezometro posto nelle vicinanze) da p.c. (UCL 95% pari a 1,024 m da p.c.), corrispondente ad una quota assoluta pari a 86,299 m s.l.m; poiché l'intervallo di prelievo del campione S8 (0,6-1,0 m) risulta avere una quota assoluta compresa tra 86,064 e 85,664 m s.l.m, tale campione è da considerarsi nella porzione satura del suolo superficiale.

5.5 STATO QUALITATIVO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Dall'analisi dei risultati analitici ottenuti dai campioni di acqua di falda (prelevati in corrispondenza della rete piezometrica presente in sito), relativi al periodo di OTTOBRE 2015 – APRILE 2019 (cfr. Tabella 1 in allegato), è possibile evincere le seguenti considerazioni:

AREA EFFRAZIONE E MONTE RISORGIVE

- la conformità dei limiti di riferimento (CSC D.Lgs. 152/06, Parere ISS) viene rispettata in corrispondenza dei punti di monitoraggio PZ1 e PZ16 (sempre conforme), PZ3 (sempre conforme, ad eccezione di due monitoraggi di ottobre 2015), PZ4 (sempre conforme dal maggio 2018, in precedenza però non campionato per presenza di prodotto surnatante);
- una riduzione nel tempo dei superamenti (rilevati per i parametri IDROCARBURI TOTALI (COME N-ESANO), BTEXS e/o MTBE), fino al raggiungimento delle CSC, è stata ottenuta in corrispondenza dei punti di monitoraggio PZ5 (conforme da agosto 2017), PZ7 (conforme da maggio 2017), PZ8 (conforme da ottobre 2016), PZ9 (conforme da settembre 2016), PZ10 (conforme da giugno 2016), PZ11 (conforme da giugno 2016), PZ12 (conforme da settembre 2016), PZ13 (conforme da settembre 2016), PZ14 (conforme da gennaio 2017) e PZ15 (conforme da agosto 2016); solo recentemente, a marzo 2019, in corrispondenza del PZ5 è stata rilevata la presenza occasionale di prodotto surnatante; al fine di verificare l'attendibilità del rilievo effettuato, nel presente documento sono state previste attività di indagine indiretta per valutare la eventuale diffusione del prodotto nell'intorno del piezometro stesso;
Si rammenta che i punti PZ5, PZ7, PZ8, PZ9, PZ10 e PZ11 fanno parte del presidio di messa in sicurezza delle acque di falda attivato in area *monte risorgive*;
- evidenze di contaminazione (con presenza di prodotto o di concentrazioni superiori ai limiti di riferimenti), invece, permangono in corrispondenza dei punti di monitoraggio PZ2, PZ4 e PZ6, con la presenza periodica di prodotto (rilevato principalmente nel periodo autunnale-invernale) o di superamenti delle CSC, per IDROCARBURI TOTALI (COME N-ESANO). I succitati punti fanno parte del presidio di messa in sicurezza delle acque di falda attivato in *area effrazione*;

AREA RISORGIVE/BOSCO

- la conformità dei limiti di riferimento (CSC D.Lgs. 152/06, Parere ISS) viene sempre rispettata in corrispondenza del piezometro PZ22;
- una riduzione nel tempo dei superamenti (rilevati per i parametri IDROCARBURI TOTALI (COME N-ESANO), BTEXS e/o MTBE), fino al raggiungimento delle CSC, è stata ottenuta in corrispondenza del punto di monitoraggio PZ23 (conforme da maggio 2017);
- evidenze di contaminazione (con presenza di prodotto o di concentrazioni superiori alle CSC di riferimento), invece, permangono in corrispondenza del piezometro PZ21, con la presenza periodica di prodotto (rilevato principalmente nel periodo autunnale-invernale) o di superamenti delle CSC, per IDROCARBURI TOTALI (COME

N-ESANO) o MTBE. Il succitato punto fa parte del presidio di messa in sicurezza delle acque di falda attivato in *area risorgive*;

AREA ESTERNA

- si conferma la piena conformità alle CSC di riferimento in corrispondenza di tutti i piezometri ubicati in tale area (PZ17 – PZ20) e dei pozzi privati (Pozzo Sig. Cattaneo e Pozzo C.na Prato Ronchi).

5.6 STATO QUALITATIVO DELLE ACQUE DI RISORGIVA/RUSCELLAMENTI/TRINCEE E DELLE ACQUE SUPERFICIALI (ROGGIA RABICA)

SORGENTI E RUSCELLAMENTI

Nel periodo di riferimento (ottobre 2015-dicembre 2018), si osserva in corrispondenza delle sorgenti una diminuzione delle concentrazioni dei parametri indagati fino al raggiungimento dei limiti di rilevabilità strumentale in corrispondenza di Sorgente Media (da maggio 2017) e Sorgente 3a (da giugno 2016).

In corrispondenza di Sorgente Alta e Sorgente NS si rilevano periodicamente iridescenze di origine idrocarbureca e/o concentrazioni di IDROCARBURI TOTALI (COME N-ESANO) superiori ai limiti di rilevabilità, con trend decrescente.

In corrispondenza dei ruscellamenti si osservano concentrazioni decrescenti per i parametri IDROCARBURI TOTALI (COME N-ESANO) e MTBE, fino al traguardo dei limiti di rilevabilità da maggio 2017 a gennaio 2019.

TRINCEE

In corrispondenza delle Trincee si sono rilevate concentrazioni di BTEXS sempre al di sotto dei limiti di rilevabilità. I parametri MTBE e IDROCARBURI TOTALI (COME N-ESANO) invece si presentano solo sporadicamente con concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità, ad eccezione di un superamento del limite fissato dall'ISS per le acque della Trincea 2a a dicembre 2017.

Per l'MtBE si rilevano concentrazioni disciolte dell'ordine di 20-50 µg/L mentre per gli idrocarburi, oltre alla presenza sporadica di iridescenze (in particolare in corrispondenza della Trincea 2c), sono state registrate nel passato concentrazioni disciolte variabili da circa 100 a 11.000 µg/L, tuttavia da settembre 2017 al gennaio 2019 sono state tragguardate le CSC di riferimento.

ROGGIA RABICA

Nelle campagne di monitoraggio dal luglio 2017 al gennaio 2019, sono state registrate per tutti i punti oggetto di verifica concentrazioni quasi sempre prossime o inferiori ai limiti di rilevabilità.

5.7 STATO QUALITATIVO GAS INTERSTIZIALI

Le n. 4 campagne di monitoraggio SOIL GAS eseguite nel periodo GIUGNO 2016÷MAGGIO 2017 hanno mostrato delle concentrazioni generalmente inferiori ai limiti di rilevabilità per tutti i parametri analizzati, con ordini di grandezza compresi tra 0,000358 e 0,0622 mg/Nm³.

Nella campagna rappresentativa della stagionalità primaverile (maggio 2017) sono state rilevate dei valori di concentrazione leggermente superiori per i composti AROMATICI C11-C12 ($1,45 \div 2,16$ mg/Nm³) e AROMATICI C13-C22 ($0,835 \div 1,74$ mg/Nm³) (cfr Tabella 5 in coda al testo), ma non sufficientemente elevati da richiedere ulteriori approfondimenti.

5.8 PRESENZA DI PRODOTTO SURNATANTE IN FASE SEPARATA

Man mano che aumenta la concentrazione di contaminante adeso al terreno può accadere che il contaminante, se fluido, non venga più trattenuto dal suolo stesso e percoli fino a raggiungere la frangia capillare e poi il pelo libero dell'acqua di falda e qui rimanere in galleggiamento.

Gli idrocarburi liquidi in fase libera diventano mobili, e possono percolare per gravità solo quando la loro quantità supera la capacità di assorbimento meccanico macroscopico del suolo/sottosuolo. Tale quantità viene denominata “saturazione residua”. La saturazione residua dipende da un lato delle caratteristiche del fluido, ovvero densità e viscosità della sostanza, e dall'altro dalla composizione e tessitura del suolo. L'ordine di grandezza in termini di concentrazione residua per i composti idrocarburici è delle migliaia di mg/Kg.

L'espressione “saturazione residua” indica quindi il prodotto residuo che resta intrappolato nel suolo/sottosuolo che aveva i suoi pori saturi della massa di fluidi che è poi percolata per gravità verso il basso, lasciando nel terreno una parte immobile, trattenuta per capillarità e tensioni superficiali, e che è detta appunto saturazione residua.

Al fine di verificare quali delle concentrazioni di contaminante presenti nel sottosuolo insaturo (definite in fase di caratterizzazione) possa essere potenzialmente fonte di percolazione di prodotto in falda, sono state prese in esame le concentrazioni indicative di saturazione residua per composti idrocarburici indicate nell'Appendice V al manuale “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati” (elaborata dal Gruppo di Lavoro ISPRA-ARPA/APPA-ENEA-ISS-ISPEL) (Tabella V.5.4-1 e 2).

Nello specifico, la succitata tabella riporta i seguenti valori di “saturazione residua” per i composti idrocarburici GRO e DRO.

	Saturazione residua [mg/Kg]			
	ghiaia grossolana	ghiaia e sabbia grossolana	sabbia	limi e argille
GRO (C>12)	1.000	1.700	3.400	10.000
DRO (C<12)	2.000	3.900	7.700	22.800

Note: DRO = Diesel range organics; GRO = Gasoline range organics

La tabella riporta i valori più cautelativi tra i dati forniti dall'American Petroleum Institute (API, 2000) in base alla granulometria del suolo. Ovviamente tali dati si ritengono validi nell'ipotesi che non vi siano vie preferenziali per la migrazione della fase separata verso la falda.

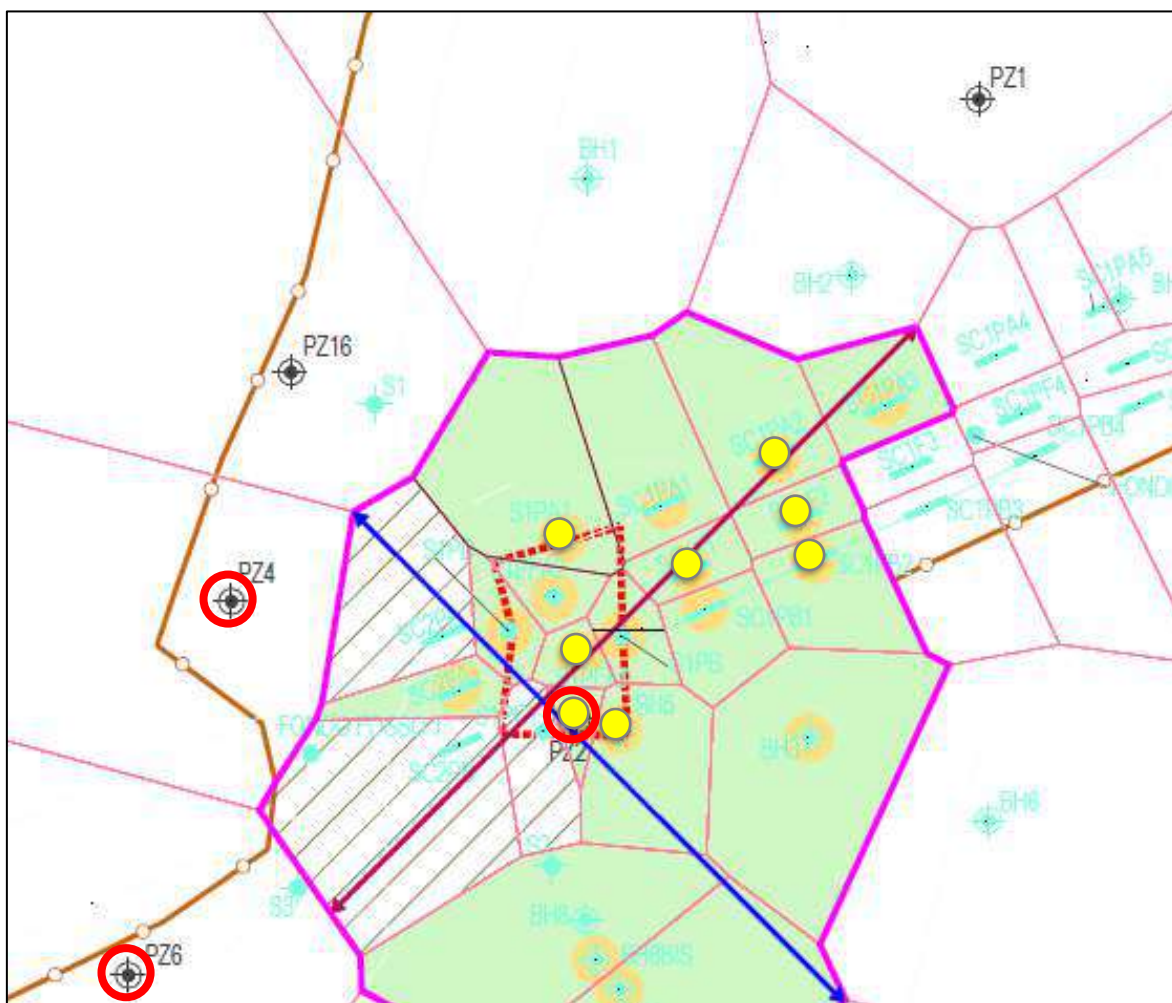
Litologicamente, l'area in esame è caratterizzata dalla presenza di ghiaia sabbiosa. Pertanto, si assumono come concentrazioni di saturazione residua i valori di 1.700 mg/Kg per C>12 e 3.900 mg/Kg per C<12.

Dall'esame dei risultati analitici rilevati nei terreni in fase di caratterizzazione emerge che si hanno concentrazioni superiori alle *Concentrazioni di Saturazione Residua di Riferimento* in area effrazione, per il parametro C>12, in corrispondenza dei seguenti campioni, evidenziati nella figura 5.2:

- SC1F1 (-1,8 m);
- SC1PA2;

- SC1PB2;
- SC1F2 (-1,8 m);
- BH5 (3,5 – 4,5 m);
- PZ2 (2 – 3 m);
- S1PA1 (1 – 2,8 m);
- S1PFA1 (-2,8 m);

FIGURA 5.2: STRALCIO DELLA TAVOLA 9B DEL DOCUMENTO “REVISIONE ANALISI DI RISCHIO”; I PUNTI GIALLI EVIDENZIANO I PUNTI DI CAMPIONAMENTO CARATTERIZZATI DA UNA CONCENTRAZIONE DI $C > 12$ SUPERIORE ALLE “CONCENTRAZIONI DI SATURAZIONE RESIDUA”; I CERCHI ROSSI EVIDENZIANO I PUNTI DI MONITORAGGIO (PIEZOMETRI PZ2, PZ4 E PZ6) CHE ATTUALMENTE MOSTRANO IN TALE AREA (AREA EFFRAZIONE) SALTUARIA PRESENZA DI PRODOTTO SURNATANTE (A CADENZA CIRCA STAGIONALE).



Dall'esame dei rilievi fluidi eseguiti nei succitati piezometri emerge che si rileva prodotto in falda in fase separata con una soggiacenza della falda acquifera compresa indicativamente nel range 5 – 6 m da p.c. (corrispondenza alla frangia capillare).

Recentemente, marzo 2019, in area Monte Risorgiva e precisamente in corrispondenza del PZ5 è stata rilevata la occasionale presenza di prodotto surnatante; le indagini integrative previste nel presente elaborato determineranno l'effettiva estensione ed ampiezza dell'area interessata dalla eventuale diffusione del prodotto rilevato. Si segnala in ogni caso che il succitato piezometro è in emungimento, quale attività di MIS.

In area risorgive, vi sono vie preferenziali di propagazione in corrispondenza di zone sabbiose-ghiaiose, poste principalmente lungo la porzione di versante dell'area Boschiva posta in prossimità della Sorgente Alta e/o in prossimità del punto di monitoraggio PZ21, alternate a zone a matrice limoso-argillosa.

5.9 SORGENTI, GRADO ED ESTENSIONE NELLE DIVERSE MATRICI AMBIENTALI

In generale, possono essere individuate due tipologie di sorgenti di contaminazione, suddivise in primarie e secondarie:

- **sorgenti primarie**: sono potenzialmente costituite da anomalie strutturali a carico di manufatti o tubazioni, nonché dagli incidenti che possono occorrere durante lo svolgimento delle attività lavorative sito-specifiche;
- **sorgenti secondarie**: sono dovute alla presenza di prodotti estranei alla natura originaria del suolo, adsorbiti al suolo e/o diffusi allo stato gassoso e/o disciolti nelle acque sotterranee e/o superficiali.

Nel caso in esame è possibile affermare che in sito insiste una sorgente di contaminazione secondaria indotta dal contaminante residuo (prodotto idrocarburico sversato a seguito dell'effrazione/manomissione dell'oleodotto Eni) adsorbito al suolo e disciolto nelle acque sotterranee.

In accordo con quanto indicato dalla vigente normativa “[...] *Nelle more del completamento dei necessari interventi di rimozione del surnatante presente in falda, come sorgente primaria di contaminazione, saranno portate avanti le procedure amministrative relative all'analisi di rischio, allo scopo di garantire che l'effettiva bonifica del sito avvenga in tempi brevi*”.

Le sorgenti di contaminazione sono rappresentate nelle tavole dell'elaborato progettuale dell'ADR, si consulti pertanto il relativo documento che si assume noto.

5.10 PERCORSI DI MIGRAZIONE DELLA CONTAMINAZIONE IN RELAZIONE AI BERSAGLI INDIVIDUATI

È stata condotta un'analisi per l'individuazione dei percorsi di migrazione attivi, delle modalità di esposizione e dei recettori che possono potenzialmente entrare in contatto con le sostanze presenti nel sottosuolo del sito in esame.

MATRICI AMBIENTALI

Nel seguito sono riportate le matrici ambientali valutate nella presente elaborazione:

- **SUOLO SUPERFICIALE:** il livello più superficiale di sottosuolo, compreso tra piano campagna e 1 m di profondità;
- **SUOLO PROFONDO:** il livello di sottosuolo compreso tra la base del precedente e la massima profondità interessata da contaminazione;
- **ARIA OUTDOOR:** la porzione di ambiente aperto, aeriforme, ove si possono avere concentrazioni di vapori di sostanze inquinanti, provenienti dal sottosuolo o sospensione di articolato contaminato;
- **ACQUE SOTTERRANEE:** la falda (superficiale e/o profonda) direttamente interessata dalla presenza di terreno inquinato, oppure le acque sotterranee contaminate dalla lisciviazione di sostanze inquinanti presenti nel terreno insaturo.

PERCORSI DI ESPOSIZIONE

In linea teorica, ed in assenza di adeguate misure di messa in sicurezza e/o di bonifica, ad ogni sorgente di contaminazione possono corrispondere più vie di esposizione, a seconda della situazione fisico-antropica del sito.

Nel seguito sono state riportate le modalità di contatto tra l'inquinante e il bersaglio della contaminazione, ritenute attive nella presente elaborazione, in funzione dell'ubicazione del Sito e dello stato d'uso pregresso/attuale e di progetto:

- INGESTIONE E CONTATTO DERMICO DI SUOLO;
- INALAZIONE VAPORI E POLVERI ALL'APERTO (*OUTDOOR*) DA SUOLO SUPERFICIALE;
- INALAZIONE VAPORI ALL'APERTO (*OUTDOOR*) DA SUOLO PROFONDO;
- INALAZIONE VAPORI ALL'APERTO (*OUTDOOR*) DA FALDA.

Sono stati valutati attivi i percorsi di "esposizione diretta" con il SUOLO SUPERFICIALE (inalazione particolato, ingestione e contatto dermico) poiché l'area in esame risulta priva di pavimentazione.

È stato valutato il rischio derivante dal percorso "inalazione vapori e polveri *outdoor*" da SUOLO SUPERFICIALE, "inalazione vapori *outdoor*" da SUOLO PROFONDO INSATURO e "inalazione vapori *outdoor*" da ACQUE SOTTERRANEE in corrispondenza del sito (*on site*).

Nella presente elaborazione è stato considerato attivo il percorso di lisciviazione e trasporto della potenziale contaminazione adsorbita al SUOLO SUPERFICIALE e al SUOLO PROFONDO INSATURO sia dell'AREA EFFRAZIONE E MONTE RISORGIVE sia dell'AREA RISORGIVE/BOSCO verso le ACQUE SOTTERRANEE, simulando le concentrazioni attese ai POC, individuati nei piezometri PZ17 (SORGENTE 2S e 2P), PZ18 (SORGENTE 1P) e PZ20 (SORGENTE 1S), generalmente conformi ai valori di riferimento, e calcolando i rischi per la risorsa idrica.

A titolo conoscitivo, si è inoltre operato con l'attivazione del percorso di migrazione della potenziale contaminazione disciolta nelle ACQUE SOTTERRANEE sia dell'AREA EFFRAZIONE E

MONTE RISORGIVE sia dell'AREA RISORGIVE/BOSCO, al fine di individuare le tempistiche attese per il superamento dei valori di riferimento al POC, individuato nel piezometro PZ17 per entrambi gli areali sorgenti (SORGENTE 1A e 2A), per modulare il programma di monitoraggio delle ACQUE SOTTERRANEE.

MECCANISMI DI TRASPORTO

Lo schema riportato in Tabella 5. sintetizza i meccanismi di trasporto mediante i quali i bersagli potrebbero entrare in contatto con le specie chimiche contaminanti considerate negli scenari di rischio elaborati.

TABELLA 5.5 – MATRICE SORGENTE DI CONTAMINAZIONE / MECCANISMI DI TRASPORTO

<div> <div>SORGENTE CONTAMINAZIONE</div> <div>MECCANISMI TRASPORTO / CONTATTO</div> </div>	TERRENO INSATURO	DISCIOLTA NELLE ACQUE SOTTERRANEE	PRODOTTO IN FASE LIBERA	SEDIMENTI ACQUE SUPERFICIALI
EROSIONE DEL VENTO E DISPERSIONE IN ATMOSFERA	X	-	-	-
VOLATILIZZAZIONE E DISPERSIONE IN ATMOSFERA	X	X	-	-
VOLATILIZZAZIONE E ACCUMULO IN SPAZI CONFINATI	-	-	-	-
LISCIVIAZIONE/TRASPORTO NELLE ACQUE SOTTERRANEE	X	-	-	-
MIGRAZIONE DEL PRODOTTO IN FASE LIBERA	-	-	-	-
DILAVAMENTO/TRASPORTO IN ACQUE SUPERFICIALI	-	-	-	-
CONTATTO DERMICO/INGESTIONE	X	-	-	-

RECETTORI/BERSAGLI

Per l'AREA EFFRAZIONE E MONTE RISORGIVE, inserita in un contesto prettamente agricolo, in funzione dell'attuale utilizzo dell'area in esame, quali bersagli sensibili della contaminazione per i percorsi di esposizione diretta al SUOLO SUPERFICIALE, di inalazione vapori e/o polveri *outdoor* da SUOLO SUPERFICIALE, da SUOLO PROFONDO INSATURO e da ACQUE SOTTERRANEE dovrebbero essere individuati i potenziali fruitori dell'area (recettori *on site* assimilabili al COMMERCIALE). Ciò nonostante, al fine di evitare vincoli per il futuro utilizzo dell'area stessa, sono stati individuati quali bersagli sensibili gli eventuali futuri fruitori, legati ad uno scenario di tipo residenziale (recettore ADULTO e BAMBINO ADJUSTED RESIDENZIALE *on site*).

Per l'area risorgive/bosco è stato ipotizzato un utilizzo cautelativo dell'area di tipo ricreativo, individuando quali potenziali recettori i fruitori dell'area i recettori ADULTO e BAMBINO ADJUSTED RICREATIVO *on site*.

6 PROGETTO DI BONIFICA

Lo scopo del presente documento progettuale è quello di indicare le tecnologie e modalità di intervento per pervenire alla bonifica delle matrici ambientali individuate dall'esito della Analisi di Rischio Sito Specifica.

Nello specifico, si rende necessario intervenire sulle seguenti matrici ambientali:

- SUOLO INSATURO SUPERFICIALE E PROFONDO AREA EFFRAZIONE E INSATURO PROFONDO AREA MONTE RISORGIVE (SORGENTI 2S E 2P) (Tabella 6.1, Tavola 3A1, 4A1 e 11A1);
- SUOLO PROFONDO dell'AREA BOSCO/RISORGIVE (SORGENTE 1P) (Tabella 6.2, Tavola 11A1 e 12A).

In merito alla matrice ambientale acque sotterranee si dovranno prevedere interventi finalizzati al recupero e rimozione del prodotto surnatante ancora saltuariamente presente ed implementare un monitoraggio idrochimico al fine di verificare il mantenimento del rispetto delle CSC in corrispondenza dei punti di conformità individuati (POC) e delle CSR nei restanti punti di osservazione (piezometri d'interesse) (Tabella 6.1 e 6.2, Tavola 1).

TABELLA 6.1: SORGENTI E PUNTI D'INTERESSE DELL'AREA EFFRAZIONE E AREA MONTE RISORGIVE
(IN ARANCIONE LE SORGENTI E I PARAMETRI OGGETTO DI BONIFICA)

SORGENTI/POC	ESTENSIONE/PUNTI DI INTERESSE	PARAMETRO
TERRENO INSATURO		
SORGENTE 2S (INSATURO SUPERFICIALE)	(AREA EFFRAZIONE) ~ 209 m ²	TPH C>12
SORGENTE 2P (INSATURO PROFONDO)	(AREA EFFRAZIONE) ~ 365 m ²	TPH C≤12
	(AREA MONTE RISORGIVE)	TPH C>12
	~ 3.400 m ²	XILENI
ACQUE SOTTERRANEE		
SORGENTE 2A	(AREA EFFRAZIONE) PZ1, PZ16, PZ3, PZ4*, PZ2*, PZ6* (AREA MONTE RISORGIVE) PZ14, PZ15, PZ13, PZ8, PZ9, PZ7, PZ5*, PZ10, PZ11	n.a.
POC	(AREA ESTERNA) PZ17	n.a.

* PIEZOMETRO CHE STAGIONALMENTE PRESENTA PRODOTTO IN FASE SEPARATA/IRIDISCENZA

TABELLA 6.2: SORGENTI E PUNTI D'INTERESSE PER AREA RISORGIVE/ESTERNA
(IN ARANCIONE LE SORGENTI E I PARAMETRI DA BONIFICARE)

SORGENTE	ESTENSIONE/ID PZ D'INTERESSE	PARAMETRO
SORGENTE 1S (INSATURO SUPERFICIALE)	(AREA RISORGIVE)	n.a.
SORGENTE 1P (INSATURO PROFONDO)	(AREA RISORGIVE) ~ 1.700 m ²	XILENI
SORGENTE 1A	(AREA RISORGIVE) PZ22BIS, PZ21* PZ23, PZ24	n.a.
POC	(AREA ESTERNA) PZ20, PZ18	n.a.

* PIEZOMETRO CHE SPORADICAMENTE/STAGIONALMENTE PRESENTA PRODOTTO IN FASE SEPARATA

6.1 OBIETTIVI DI BONIFICA

Gli obiettivi di bonifica sono le concentrazioni limite definite mediante AdR, ovvero le CSR individuate per il suolo superficiale e/o sottosuolo profondo e per le acque sotterranee descritti al Capitolo 6. Solo per i punti di conformità definiti per le acque sotterranee (POC) si dovrà fare riferimento alle concentrazioni CSC definite dal D.Lgs. 152/06.

Si precisa che, come indicato nel verbale della conferenza di servizi istruttoria del 10/07/2018, parte integrante della determina di approvazione dell'AdR (Determinazione n. 131 del 23/07/2018), nella predisposizione del presente documento progettuale si terrà conto, oltre al traguardo degli obiettivi sopraccitati, anche l'eventuale possibilità di raggiungere valori più restrittivi (es. le CSC del D.Lgs 152/06), senza che ciò precluda gli adempimenti di certificazione previsti dal D.Lgs. 152/06.

Nel dettaglio gli areali da sottoporre a bonifica/trattamento e/o controllo, risultano quelli sottesi dai punti di indagine evidenziati in grassetto riportati nella seguente Tabella 6.3:

TABELLA 6.3. PUNTI DI INDAGINE CON CSR > CSR RIPORTATI IN GRASSETTO

AREA DEL SITO	CAMPIONE	TPH C>12 (mg/kg)	TPH C<12 (mg/kg)	XILENE (mg/kg)
	CSC COL. A	50	10	0.5
SUOLO SUPERFICIALE				
AREA EFFRAZIONE	CSR	1893,44	62,4	23,46
	BH5 (0 – 1 m)	142	65	0,97
	S1PB (0 – 1 m)	822,7	-	-
	SC1PA1	63,6	-	-
	SC1PB1	1240	-	-
	SC1F1 (-1,8 m)*	3532	66,8	-
	SC1PA2	6375	64,5	-
	SC1PB2	3217,3	81,2	-
	SC1PA3	59,3	-	-
	SC1F2 (-1,8 m)*	2934,9	76,3	-
	SC2FA (-1 m)	-	36,6	-
AREA RISORGIVE	CSR	277	82,77	1,87
	BH11 (0-1 m)	166	-	-
	S8 (0,6-1 m)**	159	-	-
	PZ21 (0,6 - 1,6 m)	277	50	0,75
	PZ22 (0 - 0,6 m)	52	-	-
SUOLO PROFONDO INSATURO				
AREA EFFRAZIONE	CSR	936,91	56,22	0,5
	BH3 (2 – 3 m)	1030	44	-
	BH3 (3,5 – 4,5 m)	51	-	-
	BH4 (3,5 – 4,5 m)	1690	117	2,41
	BH5 (3,5 – 4,5 m)	3750	330	24,5
	BH5 (3,5 – 4,5 m) Arpa	1497	183	-
	PZ2 (2 – 3 m)	2300	28,9	-
	S1PA1 (1 – 2,8 m)	2170	189,8	-
	S1PB (1 – 2,8 m)	1660	140,4	-
	S1PD (1 – 2,8 m)	-	390,7	-

AREA DEL SITO	CAMPIONE	TPH C>12 (mg/kg)	TPH C<12 (mg/kg)	XILENE (mg/kg)
	CSC COL. A	50	10	0.5
	S1PFA1 (-2,8 m)	5490	188,6	-
	S1PFA2 (-2,8 m)	-	242,8	-
	SC1PA1	63,6	-	-
	SC1PB1	1240	-	-
	SC1F1 (-1,8 m)	3532	66,8	-
	SC1PA2	6375	64,5	-
	SC1PB2	3217,3	81,2	-
	SC1F2 (-1,8 m)	2934,9	76,3	-
	SC1PA3	59,3	-	-
	SC2FA (-1 m)	-	36,6	-
	BH8bis (3,5 – 4,5 m)	64	-	-
AREA MONTE RISORGIVE	PZ14 (5 – 6 m)	1130	103	-
	PZ7 (5,2 – 6,2 m)	1116,6	77,7	-
	PZ8 (5,2 – 6,2 m)	165,9	-	-
AREA RISORGIVE	CSR	1020	87	3,41
	PZ21 (0,6-1,6 m)	277	50	0,75
	PZ21 (1,6-2,6 m)**	144	14,2	-
	PZ24 (4 - 5 m)	1020	92	5,1

*CAMPIONE DI FONDO FOSSO

** CAMPIONE POSTO NEL SATURO

I valori di riferimento degli obiettivi di bonifica sono riepilogati nelle seguenti Tabelle 6.4 (per le aree effrazione e monte risorgiva) e 6.5 (per l'area risorgiva).

TABELLA 6.4. OBIETTIVI DI BONIFICA (CSR/CSC) PER AREA EFFRAZIONE E AREA MONTE RISORGIVE - “NELLE MORE DELLA RIMOZIONE DEL PRODOTTO SURNATANTE” (IN ARANCIONE LE SORGENTI E I PARAMETRI DA BONIFICARE)

				OBIETTIVI DI BONIFICA (in grassetto)	
SORGENTE	ESTENSIONE/PUNTI D'INTERESSE	PARAMETRO	INPUT	CSC	CSR
TERRENO INSATURO (mg/kg)					
SORGENTE 2S (INSATURO SUPERFICIALE)	(AREA EFFRAZIONE) ~ 209 m²	TPH C≤12	59,84	10	62,4
		TPH C>12	4.763	50	1.893,44
		XILENI	0,97	0,5	23,46
SORGENTE 2P (INSATURO PROFONDO)	(AREA EFFRAZIONE) ~ 365 m² (AREA MONTE RISORGIVE) ~ 3.400 m²	TPH C≤12	181,1	10	56,22
		TPH C>12	3.105	50	936,91
		XILENI	10,86	0,5	0,5
		ACQUE SOTTERRANEE (µg/l)			
SORGENTE 2A	(AREA EFFRAZIONE) PZ1, PZ16, PZ3, PZ4*, PZ2*, PZ6*	BENZENE	8,161	1	1.764,1
		ETILBENZENE	9,537	50	5.231,37
		TOLUENE	7,734	15	9.014,85
	(AREA MONTE RISORGIVE) PZ14, PZ15, PZ13, PZ8, PZ9, PZ7, PZ5*, PZ10, PZ11	P-XILENE	37,8	10	3.243,05
		MtBE	384	40**	65.855,62
		TPH N-ESANO	454	350	4.653

				OBIETTIVI DI BONIFICA (in grassetto)	
SORGENTE	ESTENSIONE/PUNTI D'INTERESSE	PARAMETRO	INPUT	CSC	CSR
POC	(AREA ESTERNA) PZ17	BENZENE	-	1	-
		ETILBENZENE	-	50	-
		TOLUENE	-	15	-
		P-XILENE	-	10	-
		MtBE	-	40**	-
		TPH N-ESANO	-	350	-

* PIEZOMETRO CHE SPORADICAMENTE/STAGIONALMENTE PRESENTA PRODOTTO IN FASE SEPARATA

**PARERE ISS DEL 12/09/2006 N. 45848

TABELLA 6.5. OBIETTIVI DI BONIFICA (CSR/CSC) PER AREA RISORGIVE - “NELLE MORE DELLA RIMOZIONE DEL PRODOTTO SURNATANTE” (IN ARANCIONE LE SORGENTI E I PARAMETRI DA BONIFICARE)

				OBIETTIVI DI BONIFICA (in grassetto)	
SORGENTE	ESTENSIONE/PUNTI D'INTERESSE	PARAMETRO	INPUT	CSC	CSR
TERRENO INSATURO (mg/kg)					
SORGENTE 1S (INSATURO SUPERFICIALE)	(AREA RISORGIVE)	TPH C≤12	48,9	10	82,77
		TPH C>12	277	50	277
		XILENI	0,75	0,5	1,87
SORGENTE 1P (INSATURO PROFONDO)	(AREA RISORGIVE) ~ 1.700 m²	TPH C≤12	48,9	10	87
		TPH C>12	277	50	1.020
		XILENI	5,10	0,5	3,41
ACQUE SOTTERRANEE (µg/l)					
SORGENTE 1A	(AREA RISORGIVE) PZ22BIS, PZ21* PZ23, PZ24	BENZENE	3,878	1	785,41
		P-XILENE	19,34	10	549,67
		MTBE	31,1	40**	1.601,04
		TPH N-ESANO	1798	350	2.813
POC	(AREA ESTERNA) PZ20, PZ18	BENZENE	-	1	-
		P-XILENE	-	10	-
		MTBE	-	40*	-
		TPH N-ESANO	-	350	-

* PIEZOMETRO CHE SPORADICAMENTE/STAGIONALMENTE PRESENTA PRODOTTO IN FASE SEPARATA

**PARERE ISS DEL 12/09/2006 N. 45848

6.2 VALUTAZIONE DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA

L'applicabilità delle diverse tecnologie di bonifica va valutata in funzione di una serie di parametri connessi sia alla tipologia degli inquinanti, alla loro concentrazione e distribuzione spaziale, sia alle caratteristiche della matrice, ai volumi di terreno coinvolti, all'uso, alle dimensioni e alla collocazione delle aree su cui intervenire, sia infine alle condizioni operative, ai costi a essi connessi e all'impatto sull'ambiente circostante e alla società.

L'analisi della sostenibilità delle bonifiche ha come obiettivo quello di identificare e valutare gli impatti di un progetto in ambito ambientale, sociale ed economico; la finalità è quella di mettere a confronto un range di alternative progettuali e determinare/valutare gli effetti in tutte le fasi di processo, evidenziando eventuali difficoltà oggettive di parametrizzazione, di previsioni socio-economiche o lacune normative.

Tra le tecnologie di bonifica, quelle percepite come più comuni a livello italiano sono scavo e smaltimento, realizzazione di capping, Soil Vapour Extraction/Air Sparging (SVE/AS), Pump&Treat (P&T), barriere di confinamento fisico e tecnologie di biorisanamento, trattamenti chimici (ISCO, ecc.). Tra le meno utilizzate a livello nazionale troviamo invece i trattamenti termici, le barriere permeabili reattive (PRB) e i sistemi di fitorimediazione.

Tra le procedure o tecnologie sostenibili rientrano i sistemi di bonifica in situ o on site a basso impatto quali biorimediazione, fitorimediazione, attenuazione naturale e barriere permeabili. Inoltre, ricoprono un ruolo importante la valutazione sulla mobilità dei contaminanti e la promozione del riutilizzo dei materiali bonificati.

Facendo seguito al parere del Parco Lombardo della Valle del Ticino del 09/07/2018, parte integrante della determina di approvazione dell'AdR (Determinazione n. 131 del 23/07/2018), nella scelta delle migliori tecnologie di bonifica da applicare al sito in esame sarà data priorità alle tecnologie di biorimediazione e fitorimediazione (ove applicabili).

In Tabella 6.6 è stato effettuato un primo screening delle tecnologie di bonifica disponibili ed applicabili al sito in oggetto sulla base del modello concettuale in essere.

TABELLA 6.6 – ANALISI DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA DISPONIBILI

TECNICHE DI BONIFICA	MATRICE	APPLICABILITÀ AL SITO	OSSERVAZIONI IN MERITO ALL'APPLICABILITÀ SITO-SPECIFICA
Dig & Dump (Scavo e Smaltimento)	Suolo/sottosuolo	Applicabile a limitate zone	Applicabile per la tipologia di contaminati. In considerazione della profondità della contaminazione riscontrata la rimozione dell'intero volume interessato presenta costi elevati e problemi logistici nella realizzazione degli scavi. Questa tecnologia è da prendersi in considerazione solo per i livelli impattati più superficiali e gli hot spot presenti in area effrazione.
Soil Vapor Extraction	Suolo/sottosuolo	Applicabile	Applicabile al sottosuolo per la bonifica di composti C<12 ed eventualmente in abbinamento al Bioventing. Rispetto a Bioventing presenta un impatto ambientale maggiore dovuto alla necessità di trattare l'aria estratta dal sottosuolo.
Bioventing	Suolo/sottosuolo	Applicabile	Applicabile
Air Sparging	Acque sotterranee	Applicabile	Applicata per la bonifica della matrice acque sotterranee in alcuni contesti specifici e con terreni che presentano una buona permeabilità all'aria potrebbe essere sfruttata per ossigenare porzioni di suolo insaturo
Soil Flushing (SF)	Suolo/sottosuolo/ Acque sotterranee	Applicabile	La litologia presente in sito e la disponibilità di buoni quantitativi d'acqua da poter recuperare mediante la reimmissione in falda permetterebbero l'applicazione della tecnologia che prevede l'immissione d'acqua nel sottosuolo insaturo per trasferire la contaminazione dal terreno insaturo alla falda (per poi essere recuperato mediante emungimento).
ISCO	Acque sotterranee	Applicabile con riserva	L'utilizzo di ossidanti chimici per determinare l'ossidazione degli idrocarburi può avvenire essenzialmente in presenza della falda e quindi il suo utilizzo è generalmente limitato alla matrice ambientale acque sotterranee. Potrebbe essere applicato al contesto in oggetto e limitatamente ad alcune zone se fosse abbinato al Soil Flushing e al P&T, tuttavia in considerazione della natura del luogo in cui ci troviamo ad operare, l'immissione di sostanze ossidanti nel sottosuolo/acque sotterranee potrebbe implicare alterazioni degli ecosistemi di difficile previsione e quantificazione, senza considerare che l'effetto ossidante dei composti iniettati genererebbe la "sterilizzazione" del sottosuolo inibendo l'attività microbiologica per lungo tempo.
Desorbimento chimico	Suolo/sottosuolo/ Acque sotterranee	Applicabile con riserva	Permette l'asportazione di una o più sostanze contaminanti dal suolo mediante l'utilizzo di particolari prodotti chimici anche biodegradabili, quali ad esempio i surfattanti.
Biosparging	Acque sotterranee	Applicabile con riserva	Non specificatamente indicato per il trattamento del suolo insaturo, ma se utilizzato per il trattamento dell'insaturo e frangia capillare può determinare effetti benefici anche sulla parte insatura più prossima alla frangia.

TECNICHE DI BONIFICA	MATRICE	APPLICABILITÀ AL SITO	OSSERVAZIONI IN MERITO ALL'APPLICABILITÀ SITO-SPECIFICA
Pump & Treat	Acque sotterranee	Applicabile	Applicabile alle acque sotterranee per coadiuvare il recupero del prodotto sumatante e se abbinato ad altre tecnologie può essere utile al raggiungimento degli obiettivi anche per la matrice sottosuolo (reimmissione delle acque emunte mediante Soil flushing e recupero della contaminazione asportata)
Dual Phase High Vacuum Extraction (DPHVE)	Acque sotterranee /suolo/sottosuolo	N.A.	La tecnologia risulta efficace per valori di permeabilità medio bassi, inferiori a quelli rilevati in sito, non è quindi applicabile al sito in oggetto.
Landfarming	Suolo/sottosuolo	Applicabile con riserva	Il sito presenta spazi disponibili per il trattamento del suolo contaminato. Tuttavia è necessario l'esecuzione di test pilota di laboratorio e di campo per verificarne l'effettiva efficienza.
Biopile	Suolo/sottosuolo	Applicabile con riserva	Il sito presenta spazi disponibili per il trattamento con tale tecnologia del suolo contaminato. Necessità dell'esecuzione di test pilota di laboratorio e di campo.
Multi-Phase Extraction (MPE)	Terreno/ Acque sotterranee	N.A.	Non idoneo per il trattamento di una unica fase di contaminazione; non applicabile nel suolo insaturo superficiale e permeabilità eccessiva per il sottosuolo
Inertizzazione	Suolo/sottosuolo	N.A.	Tecnicamente applicabile ma dato che si configurerebbe come MISP (Messa in sicurezza Permanente), non permetterebbe la piena fruizione futura dell'area da parte della Proprietà.
Desorbimento Termico (ISTD)	Suolo/sottosuolo	N.A.	Costi molto elevati in relazione ai volumi da trattare e produzione di elevati quantitativi di CO ₂ legati alla necessità di produzione di grandi quantità di calore.
Fitorimediazione	Acque sotterranee /Terreno	Applicabile	Applicabile per la bonifica del suolo, sottosuolo e frangia capillare, con impatti ambientali nulli e rapporto costi/benefici molto positivi. In ogni caso si necessita di lunghi tempi di bonifica.
Attenuazione Naturale Monitorata (MNA)	Acque sotterranee /Terreno	Applicabile	Applicabile al sito una volta rimosso completamente il prodotto libero, ma tempi di bonifica molto elevati.

Di seguito si riporta una sintetica descrizione delle tecnologie di bonifica indicate come idonee in relazione alla matrice ambientale impattata di riferimento.

6.2.1 Scavo e smaltimento

La tecnologia di bonifica mediante scavo consiste nel rimuovere il terreno insaturo contaminato dal sito e recuperarlo/smaltirlo in impianti autorizzati. Tale approccio di bonifica è applicabile a tutti i tipi di inquinanti e garantisce la totale rimozione degli stessi dal sito in tempi limitati.

Per la definizione degli interventi è necessario verificare la necessità di opere provvisorie a garanzia della sicurezza dei fronti di scavo, per la verifica della stabilità di eventuali edifici prossimi e/o per la gestione delle eventuali acque sotterranee/superficiali.

TABELLA 6.7 – ANALISI DELLA TECNOLOGIA APPLICATA AL SITO – DIG & DUMP

VANTAGGI	SVANTAGGI
Tempi rapidi	Costi/m ³ elevati per quantitativi ingenti
Applicabilità a qualsiasi contaminante adsorbito al terreno insaturo	Eventuale necessità di opere provvisorie e/o cantierizzazioni specifiche
Garanzia del raggiungimento degli Obiettivi di Bonifica	Elevati impatti sul traffico veicolare (escavatori, automezzi, ecc.)
-	Mancato riciclo del terreno

6.2.2 Landfarming/Biopile

Sono due tecniche di risanamento biologico dei terreni che si basano sulle capacità dei microrganismi autoctoni di degradare alcuni tipi di contaminanti (tra cui gli idrocarburi) in determinate condizioni ambientali.

I terreni vengono escavati e sistemati in cumuli per le Biopile o distesi su ampie aree di limitato spessore per il landfarming per essere decontaminati tramite biodegradazione. L'attività biologica aerobica viene infatti stimolata nei terreni attraverso aerazione e aggiunta di nutrienti, minerali e acqua, degradando così i prodotti adsorbiti al terreno. L'utilizzo di biopile e del landfarming è particolarmente consigliato nei casi in cui la contaminazione è costituita da idrocarburi e si rinviene in concentrazioni non eccessivamente elevate, per siti in cui sono disponibili aree di elevate dimensioni e dove i tempi di trattamento possono essere lunghi.

Entrambe le tecnologie sono basate sulla stimolazione della crescita e della moltiplicazione dei batteri aerobici tramite l'uso di ossigeno, per la degradazione aerobica dei contaminanti. La differenza principale tra le due tecnologie è che nel landfarming il terreno viene ossigenato movimentandolo, mentre nelle biopile l'aria viene fatta circolare nel terreno attraverso tubature con tecniche di estrazione/iniezione.

TABELLA 6.8 – ANALISI DELLA TECNOLOGIA APPLICATA AL SITO IN OGGETTO – LANDFARMING/BIOPILE

VANTAGGI	SVANTAGGI
Semplice progettazione ed implementazione	Difficile ottenere una riduzione delle concentrazioni > 95% e concentrazioni finali che rispettino le CSC per uso residenziale e/o verde
Costi competitivi e gestione dei sistemi poco rilevanti	Necessaria la realizzazione di test di laboratorio e di campo per verificarne l'efficienza e la riuscita
	Richiede ampi spazi. In particolare il Landfarming prevede la gestione dei terreni contaminati mediante il trattamento di strati non superiori a 60 – 80 cm per ciclo. Risulta necessaria una turnazione per consentire il trattamento dei volumi di terreno da sottoporre a tale tecnologia.
-	È necessario un rivestimento del piano di posa del terreno per evitare la diffusione di percolato e la relativa gestione
	Produzione di rifiuti (acque di percolazione, teli plastici, materiali vari)

6.2.3 Soil Flushing

Il Soil Flushing è una tecnologia in situ, basata sull'uso di una soluzione di lavaggio che penetri attraverso il suolo contaminato permettendo di attivare il trasporto dei contaminanti dal terreno insaturo/frangia capillare verso la falda dove poi può essere rimossa. La soluzione di lavaggio può essere generalmente di due tipi: solo acqua o acqua ed additivi (quali prodotti chimici o desorbenti).

Il processo prevede l'installazione di pozzi/trincee d'iniezione e di captazione per il recupero delle acque/soluzioni iniettate che poi sono inviate ad un impianto di trattamento prima del loro riutilizzo nel processo e/o smaltimento.

La tecnologia in oggetto può essere abbinata ad altre tecnologie di bonifica in funzione della tipologia di contaminazione rilevata, alla litologia alla logistica del sito ecc.

TABELLA 6.9 – ANALISI DELLA TECNOLOGIA APPLICATA AL SITO IN OGGETTO – SOIL FLUSHING

VANTAGGI	SVANTAGGI
Trattamento in situ poco invasivo	Occorre una caratterizzazione e relativo modello concettuale molto dettagliata al fine di dimensionare l'opera in modo efficiente ed efficace
Costi competitivi e gestione dei sistemi poco rilevanti	Necessaria la realizzazione di test di campo per verificare la diffusione dell'acqua e quindi dimensionare gli impianti
Riutilizzo in situ dell'acqua di falda	Necessita di un impianto di trattamento delle acque emunte
Applicabilità per la contaminazione in oggetto	

6.2.4 Biorisanamento

La Tecnica del Biorisanamento utilizza il potenziale metabolico dei microorganismi al fine di decontaminare ambienti inquinati.

In generale, le tecniche di biorisanamento prevedono modificazioni ambientali ottenute mediante aggiunta di nutrienti, areazione forzata e/o aggiunta di appropriati organismi degradativi. Il biorisanamento interessa frequentemente ambienti multifasici ed eterogenei, quali suoli in cui il contaminante è presente in associazione con le particelle di terreno, liquidi disciolti e gas.

Il biorisanamento offre molti vantaggi rispetto alle tecnologie chimico-fisiche, in particolar modo per i contaminanti diluiti e sparsi su una vasta superficie. Il trattamento *in situ* è uno dei vantaggi più efficaci di questa tecnologia in quanto non prevede il trasporto di contaminanti e ha un impatto ambientale minimo. Il trattamento *in situ*, inoltre, può essere poco costoso, può distruggere selettivamente gli inquinanti organici senza danneggiare flora e fauna, e può essere usato per gli inquinanti che sono presenti a concentrazioni basse ma rilevanti dal punto di vista ambientale.

Le tecniche di biorisanamento possono essere classificate come *ex situ* o *in situ* (Boopathy, 2000). Le prime sono trattamenti che prevedono la rimozione fisica del materiale contaminato per i processi di trattamento, mentre le seconde prevedono il trattamento del materiale contaminato sul posto. Di seguito alcuni esempi di biorisanamento *in situ*:

- Bioventilazione: trattamento di suoli contaminati mediante insufflaggio di ossigeno attraverso il suolo per stimolare l'attività microbica (Soil Vapour Extraction, Bioventing, Biosparging, Airsparging).
- Bioattenuazione: è un metodo per monitorare il naturale avanzamento della degradazione per assicurarsi che il processo di biodegradazione diminuisca con il tempo in punti di campionamento selezionati.
- Biomiglioramento: è un modo per aumentare le capacità biodegradative di siti contaminati per mezzo dell'inoculo di batteri con capacità catalitiche desiderate. Questo è un approccio efficace nel caso di composti molto difficile da degradare ma ha lo svantaggio di avere effetti sconosciuti sugli ecosistemi. È necessario accertarsi che i batteri inoculati muoiano dopo il risanamento e che non influenzino la comunità microbica indigena per un lungo periodo.
- Biostimolazione: se non avviene la degradazione naturale o se questa è troppo lenta, è necessario stimolare la biodegradazione con la biostimolazione. Questa include l'aggiunta di nutrienti quali azoto e fosforo, con accettori di elettroni come l'ossigeno, e l'aggiunta di substrati quali metano, fenolo e toluene. Alcuni di questi additivi chimici usati come substrati (ad es. fenolo e toluene) sono note sostanze tossiche e quindi la loro concentrazione dovrebbe essere monitorata attentamente, ma nonostante tutto la biostimolazione è in linea di massima una tecnologia attendibile e sicura.
- Biorisanamento intrinseco: biorisanamento che non richiede alcun intervento ad eccezione del monitoraggio

L'influenza del biorisanamento sulle comunità microbiche è indispensabile per dimostrare

la sicurezza del biorisanamento in situ. È pertanto importante determinare le differenze temporali o spaziali nelle popolazioni batteriche nonché monitorare le variazioni nella diversità delle comunità batteriche.

Per la buona riuscita del biorisanamento è fondamentale avere i microrganismi adatti nel posto adatto e con i fattori ambientali adatti per la degradazione (Boopathy, 2000). Il biorisanamento ha però anche dei limiti. In alcuni casi, il metabolismo microbico dei contaminanti può produrre metaboliti tossici per gli stessi microrganismi. Il biorisanamento è quindi una procedura che deve essere adeguata alle condizioni sito-specifiche. Ciò significa che richiede studi su piccola scala e in laboratorio prima di procedere alla ripulitura del sito contaminato.

La valutazione del successo complessivo di un programma di biorisanamento in situ è spesso molto difficile. Questo perché non è semplice valutare il contributo dei microrganismi al processo di degradazione e riconoscere i fattori (ad es. volatilizzazione e trasformazione chimica) che avvengono simultaneamente all'interno del sistema.

Il biorisanamento dei suoli è una tecnica che presenta molti vantaggi ed è inoltre un processo specifico e molte volte efficace per varie ragioni, tra cui ricordiamo l'eterogeneità dei contaminanti e la forza con cui sono legati alla materia particolata dei suoli, l'alta concentrazione degli idrocarburi (che potrebbe essere tossica o inibitoria per i microrganismi) o la loro bassa concentrazione (che potrebbe non essere adeguata per sostenere le attività microbiche), le condizioni variabili quali la tipologia e la profondità del suolo, il valore di pH, la temperatura, la disponibilità di ossigeno, il potenziale redox, l'umidità e la biodisponibilità del substrato. I due approcci generali per il biorisanamento dei suoli sono la biostimolazione ambientale (ad es. l'aggiunta di fertilizzanti e l'aerazione forzata) e il bioincremento, cioè l'aggiunta di microrganismi in grado di degradare gli idrocarburi. L'obiettivo degli studi di fattibilità svolti in laboratorio è quello di identificare i fattori limitanti e le migliori strategie per superare queste limitazioni in campo.

Indicativamente, gli studi di fattibilità del biorisanamento prevedono:

- Conta microbica - La conta dei microrganismi eterotrofi e dei microrganismi in grado di degradare gli idrocarburi può fornire informazioni utili sulle attività biologiche del suolo e su quanto le popolazioni microbiche indigene si siano acclimatate alle condizioni del sito. Molto spesso, infatti, esiste una forte correlazione tra conta microbica e degradazione degli idrocarburi e durante il biorisanamento di suoli contaminati da idrocarburi sono state osservati aumenti del numero totale di colonie formanti unità anche di quattro ordini di grandezza;
- Attività deidrogenasica - L'ossidazione biologica dei composti organici è generalmente un processo di deidrogenazione catalizzata da deidrogenasi. Questi enzimi hanno un ruolo essenziale nell'ossidazione della materia organica mediante il trasferimento di idrogeno dai substrati organici agli accettori di elettroni. Il saggio della deidrogenasi in suoli contaminati può essere quindi usato come un metodo semplice per esaminare il possibile effetto inibitorio dei contaminanti sulle attività microbiche;
- Test respirometrici - È una metodica preliminare per gli studi di fattibilità e ha il vantaggio di essere rapida e precisa, soprattutto nella valutazione degli effetti dell'integrazione dei nutrienti e dell'inoculazione microbica. Durante i test di

respirazione, il consumo di ossigeno e la produzione di anidride carbonica può essere monitorata con una strumentazione abbastanza semplice e poco costosa come ad esempio il metodo respirometrico delle bottiglie. La diminuzione della produzione di anidride carbonica che si ottiene alla fine dei trattamenti di biorisanamento è causata probabilmente dall'esaurimento della frazione organica facilmente degradabile. I test respirometrici possono anche essere applicati per accertare i possibili effetti inibitori di metalli pesanti, composti tossici e pH sulle attività microbiche del suolo;

- Test di biodegradazione in microcosmo - Il “microcosmo” può essere definito come una “parte” intatta di un ecosistema portata in laboratorio al fine di studiarlo nel suo stato naturale. I microcosmi possono variare nella loro complessità, ma per avere buoni risultati devono essere il più possibile simili ai modelli ambientali reali. Queste metodiche, oltre ad accertare il potenziale biodegradativo della contaminazione da idrocarburi, permettono lo sviluppo di modelli per predire il destino di questi inquinanti. Possono così essere descritte le cinetiche dei processi di degradazione ed ottenere informazioni sulla trasformazione degli idrocarburi. Per determinare il tasso di biodegradazione degli idrocarburi, sono indispensabile analisi accurate e attendibili;
- Composti bioindicatori - La valutazione della degradazione degli idrocarburi in campo è molto più difficile di quella in laboratorio a causa dell'eterogeneità della contaminazione. In campo, infatti, è complicato ottenere dati statisticamente significativi senza il ricorso all'analisi di un gran numero di campioni, la quale è oltretutto molto costosa. A causa di queste difficoltà nella quantificazione degli idrocarburi su larga scala, per determinare la degradazione degli idrocarburi possono essere usati i rapporti dei composti idrocarburici. Oltre alla dimostrazione dell'efficacia del trattamento, è necessario dimostrare che il biorisanamento non produca prodotti intermedi tossici ed evitare effetti ambientali ed ecologici indesiderati. I fertilizzanti non dovrebbero essere applicati a tassi eccessivi e l'uso di nitrati è sconsigliabile a causa della sua tendenza a lisciviare nelle falde. È altresì necessario contenere le misure di biorisanamento nella zona contaminata, senza coinvolgere anche le aree circostanti al sito d'interesse.

6.2.4.1 Attenuazione naturale controllata

Il termine “attenuazione naturale controllata” (MNA: Monitored Natural Attenuation) si riferisce ai casi in cui il risanamento di un sito contaminato si basi sulla capacità potenziale che hanno i processi naturali di consentire la riduzione del grado di contaminazione e quindi il raggiungimento degli obiettivi di bonifica specifici per il sito stesso. In tempi ragionevolmente compatibili con quello tipico delle altre tecnologie di risanamento convenzionali. I processi di attenuazione naturale così coinvolti includono una varietà di processi fisici, chimici e biologici, che, sotto condizioni favorevoli, agiscono senza l'intervento antropico per ridurre la massa, la tossicità, la mobilità, il volume e le concentrazioni degli inquinanti nei suoli e nelle acque sotterranee. Questi processi in situ includono la biodegradazione; la dispersione; la diluizione; l'adsorbimento; la volatilizzazione; la stabilizzazione chimica o biologica, la trasformazione o la distruzione dei contaminanti.

Di seguito si riportano i principali fenomeni che possono essere considerati parte integrante del processo di attenuazione naturale; è inserita una descrizione sommaria dei singoli processi e degli effetti sulla concentrazione del contaminante.

TABELLA 6.10 – PRINCIPALI PROCESSI CHE CONCORRONO ALL'ATTENUAZIONE NATURALE DEI CONTAMINANTI

Processo	Descrizione	Dipendenze	Effetto
Advezione	Movimento del soluto per effetto del moto dell'acqua di falda	Dipende dalle proprietà dell'acquifero (conducibilità idraulica, porosità efficace, gradiente idraulico)	Uno dei principali meccanismi che governa il moto dei contaminanti nel sottosuolo
Dispersione	Miscelazione dei fluidi per movimento delle acque di falda ed eterogeneità dell'acquifero	Dipende dalle proprietà dell'acquifero e dalla scala di osservazione	Causa una dispersione longitudinale, trasversale e verticale del pennacchio. Riduce la concentrazione del soluto
Diffusione	Dispersione e diluizione del contaminante per diffusione molecolare	Dipende strettamente dalle proprietà delle sostanze e dai gradienti di concentrazione (leggi di Fick)	Diffusione da aree con alte concentrazioni ad aree a bassa concentrazione; in genere ha un ruolo meno rilevante rispetto alla dispersione
Adsorbimento	Relazione fra matrice solida e soluto, in particolare tra i composti idrofobici e la sostanza organica o i minerali argillosi	Dipende dalle proprietà della matrice solida (contenuto di carbonio organico e argilla, porosità, superficie specifica etc.) e dei contaminanti (solubilità, idrofobicità ...)	Tende a ridurre la velocità di avanzamento del contaminante in falda, con rimozione dei soluti dalla matrice liquida a quella solida
Ricarica	Movimento dell'acqua attraverso la superficie piezometrica nella zona satura del terreno	Dipende dalle proprietà della matrice acquifero, dalla profondità dell'acquifero, dall'interazione con le acque superficiali e dal clima	Può causare la diluizione della contaminazione del pennacchio e riportare buone quantità di accettori di elettroni (specialmente ossigeno disciolto)
Volatilizzazione	Volatilizzazione del contaminante in forma gassosa	Dipende dalla pressione di vapore del composto e dalla legge di Henry	Rimuove i contaminanti per trasferirli in fase gassosa
Biodegradazione	Reazioni di ossidoriduzione che avvengono mediante attività microbiologica	Dipendono dalla geochimica del sistema, dalle popolazioni microbiche presenti e dalle proprietà dei contaminanti. La biodegradazione può avvenire sia per via aerobica che in condizioni anaerobiche	Può comportare anche la completa degradazione dei contaminanti
Degradazione abiotica	Trasformazioni chimiche che degradano i contaminanti senza l'aiuto dell'attività microbica. È noto tale comportamento per i composti alogenati in acqua	Dipende dalla profondità dei contaminanti e dalla geochimica del sistema	Può comportare la parziale o completa degradazione dei contaminanti. I tassi di degradazione sono in genere decisamente inferiori a quelli dei processi di biodegradazione
Partizione della fase liquida non acquosa NAPAL	Passaggio dal contaminante della fase NAPAL alle altre matrici (solida, liquida, aeriforme). I pennacchi di NAPL, quando mobili o residui, tendono a comportarsi come una sorgente continua di contaminazione	Dipende dalla matrice dell'acquifero e delle proprietà del contaminante, così come dalla massa di flusso idrico sotterraneo che attraversa il pennacchio	La dissoluzione dei contaminanti dal NAPAL rappresenta la sorgente primaria della contaminazione disciolta in falda acquosa

In particolare, la biodegradazione è un meccanismo di attenuazione naturale distruttivo in quanto ad opera di microorganismi autoctoni trasforma numerosi composti inquinanti in altre sostanze riducendone così concentrazione e massa. I principali artefici dei processi di biodegradazione sono i microorganismi che si trovano nel terreno. La degradazione dei contaminanti è una complessa reazione di ossidoriduzione.

In particolare, i processi principali e le fasi che regolano il sistema sono:

- *da condizioni ossigeno-riducenti a nitrati-riducenti*: una volta che l'ossigeno presente è stato consumato, la popolazione aerobica attiva comincia ad utilizzare i nitrati presenti; l'utilizzo dei nitrati continua fino al loro esaurimento o quando le fonti di carbonio utilizzabili diventano limitanti;
- *da condizioni nitrati-riducenti a manganese-riducenti*: una volta consumati i nitrati, le popolazioni che riducono il manganese potrebbero diventare attive; il metabolismo dei batteri, sempre in relazione ai substrati utilizzati dalle popolazioni manganese-riducenti, continuerà finché la concentrazione dell'ossido di Manganese diventa limitante;
- *da condizioni manganese-riducenti a ferro-riducenti*: quando l'ossido di manganese diventa limitante, la riduzione del ferro diventa il meccanismo di reazione predominante. Generalmente la riduzione del ferro non inizia finché tutto l'ossido di manganese è consumato; in aggiunta, la respirazione dei batteri che utilizzano il manganese appare limitata alle aree in cui i solfati sono bassi o quasi completamente assenti;
- *da condizioni ferro-riducenti a solfato-riducenti*: la riduzione del ferro continua finché il substrato o le limitazioni relative alla disponibilità di carbonio consentono ai batteri solfato-riduttori di diventare attivi; questi ultimi dominano finché il carbonio utilizzabile è disponibile o le limitazioni relative ai solfati impediscono la loro attività;
- *da condizioni solfato-riducenti a metanogeniche*: una volta che il carbonio utilizzabile o i solfati diventano il fattore limitante, i batteri metanogenici iniziano a dominare il sistema.

Il potenziale di ossido-riduzione (redox) è un indicatore che fornisce un utile screening per capire in quale delle fasi sopra descritte si trova il sistema. Se il potenziale redox è positivo, è possibile assumere che l'ossigeno disciolto è presente e che il sistema non è ancora sottoposto a stress da attività biologica. Se il potenziale redox è significativamente negativo, i processi favoriti per via aerobica sono ad un livello molto basso. L'indicazione del potenziale redox per definire in quale fase dei processi degradativi ci si trovi, non è rapportabile da sito a sito, ma consente piuttosto di avere un'indicazione dei processi che stanno avvenendo all'interno dello stesso plume. Una volta stabilite le condizioni al contorno e di fondo, le misure dell'ossigeno disciolto, dei nitrati, del ferro, del manganese e dei solfati devono essere eseguite sull'asse del pennacchio e trasversalmente a esso, per caratterizzare l'attività biologica e le reazioni che stanno accadendo all'interno del sistema acquifero. Il tasso di ricambio e le concentrazioni dei vari composti consentono attraverso l'utilizzo di modelli predittivi, di caratterizzare i fenomeni di attenuazione naturali e futuri, in relazione ai processi degradativi.

Pertanto, affinché possa avvenire la biodegradazione dei composti inquinanti, sono necessari alcuni requisiti. Innanzitutto deve sussistere in sito una popolazione microbica in grado di metabolizzare il contaminante presente in sito, quindi devono esserci fonti di energia e di carbonio organico, eventualmente rappresentate dall'inquinante stesso, e accettori di elettroni per consentire il verificarsi delle reazioni redox. Poiché queste ultime sono mediate da esseri viventi, è necessario che esistano condizioni ambientali favorevoli alla loro crescita e attività. Particolarmente importanti sono la temperatura, il pH, l'umidità che devono essere consoni per la vita e lo sviluppo dei batteri. Questi necessitano anche di nutrienti, quali azoto, fosforo, calcio, magnesio, potassio, necessari per la loro funzionalità enzimatica. Oltre alle condizioni ambientali sfavorevoli l'attività microbica può essere inibita dalla presenza di sostanze tossiche o inattivanti.

6.2.4.2 *Soil Vapour Extraction*

L'estrazione di vapori dal sottosuolo (Soil Vapor Extraction, SVE) è una tecnologia di bonifica in situ del terreno insaturo. Una depressione, generalmente inferiore ai 200 mbar, è indotta nel sottosuolo, al fine di rimuovere gli inquinanti volatili e semivolatili da formazioni con medio-alta permeabilità.

Questa tecnologia si applica per la bonifica di terreni contaminati da Composti Organici Volatili (COV), da idrocarburi aromatici e da alcuni combustibili e comunque a composti aventi una costante di Henry maggiore di $0,0002 \text{ atm} \times \text{m}^3 \times \text{moli}^{-1}$ a 25°C oppure tensione di vapore maggiore di 0,5 mmHg.

I gas aspirati devono essere trattati prima del loro rilascio in atmosfera mediante colonne filtranti generalmente a carbone attivo.

È necessaria una copertura dell'area sottoposta a trattamento con materiale impermeabile (se l'area non è pavimentata) per prevenire cortocircuiti del flusso d'aria (rischio di aria atmosferica).

Successivamente, quando le concentrazioni di vapori idrocarburici nei gas estratti si sono ridotte, il sistema può essere convertito in un impianto per l'iniezione di aria nel sottosuolo al fine di stimolare l'attività di biodegradazione aerobica dei contaminanti e rimuovere così anche la contaminazione residua (Bioventing - BV).

TABELLA 6.11 – ANALISI DELLA TECNOLOGIA APPLICATA AL SITO IN OGGETTO – SVE

VANTAGGI	SVANTAGGI
Efficacia nota (tecnologia testata)	Difficile ottenere riduzioni di concentrazioni > 90% Necessità di capping per il trattamento degli strati superficiali
Strumenti facilmente reperibili e di semplice installazione	Scarsa efficacia in siti con suoli a bassa permeabilità o stratificati
Scarso disturbo delle attività del sito	Può richiedere trattamenti costosi per i vapori estratti (costi crescenti con le concentrazioni di contaminanti estratte)
Costi competitivi	Si può trattare solo la zona insatura
Facilmente associabile ad altri interventi/tecnologie di bonifica	Tempi di trattamento medio lunghi (> 1/2 anni in condizioni ottimali)
	Produzione di rifiuti quali ad esempio: carboni attivi esausti, acque di condensa, materiali plastici utilizzati per il capping

6.2.4.3 *Bioventing (BV)*

Il bioventing è una tecnologia di bonifica *in situ* applicata alla matrice sottosuolo insaturo che ha per obiettivo la stimolazione della biodegradazione aerobica degli inquinanti adsorbiti al terreno, ad opera dei microrganismi già presenti nel suolo (flora microbica autoctona) o inoculati (flora microbica alloctona), fornendo loro ossigeno e, ove necessario, nutrienti minerali. La tecnica di Bioventing è uno degli approcci di biorimediazione più largamente utilizzato per la bonifica dei suoli insaturi, risultando particolarmente utile per la bonifica dei suoli contaminati da idrocarburi di origine petrolifera (benzina, gasolio, olio combustibile). Il sistema di bioventilazione prevede l'allestimento di una serie di pozzi d'iniezione d'aria, collegati a delle soffianti in grado di generare grandi volumi d'aria a pressioni ridotte in grado di permettere la circolazione dell'aria nel sottosuolo.

Occorre ottimizzare la fornitura dell'ossigeno ai batteri, impiegando flussi d'aria ridotti per minimizzare i rischi di volatilizzazione dei contaminati e massimizzare il tempo di residenza del flusso d'aria entro il volume di terreno contaminato, in modo tale da fornire soltanto l'ossigeno necessario a sostenere l'attività microbica.

TABELLA 6.12 – ANALISI DELLA TECNOLOGIA APPLICATA AL SITO IN OGGETTO – BV

VANTAGGI	SVANTAGGI
Efficacia nota (tecnologia testata)	Difficile ottenere riduzioni di concentrazioni > 90%.
Strumenti facilmente reperibili e di semplice installazione	Scarsa efficacia in siti con suoli a bassa permeabilità o stratificati.
Scarso disturbo delle attività del sito	Si può trattare solo la zona insatura
Costi competitivi	Tempi di trattamento medio lunghi con concentrazioni elevate di contaminazione (> 2 anni in condizioni ottimali)
Facilmente associabile ad altri interventi/tecnologie di bonifica.	
Assenza della produzione di rifiuti	-

6.2.5 Barriere microbiologiche

Una porzione di terreno o un idoneo supporto solido colonizzati da microrganismi viene posto trasversalmente rispetto al flusso della falda da decontaminare; i contaminanti vengono degradati dalla flora microbica durante il passaggio dell'acqua attraverso la barriera; il movimento della falda è quello naturale. Tale tecnologia è applicabile ad acque contaminate da solventi solubili in acqua e da BTEX e su falde poco profonde e in formazioni con adeguata permeabilità. Tali sistemi sono di breve durata poiché la crescita dei microrganismi tende a far progressivamente diminuire la permeabilità della barriera stessa.

6.2.6 La fitorimediazione

Processo di bonifica che utilizza le piante e i microrganismi associati alla rizosfera per degradare, rimuovere o contenere contaminanti (composti organici clorurati, esplosivi, pesticidi, idrocarburi, metalli pesanti, radionuclidi, percolati di discarica) presenti nel suolo e nelle acque. È necessario mettere in contatto l'apparato radicale con la matrice contaminata. Tra gli svantaggi ci sono i tempi di bonifica che sono necessariamente lunghi e la possibilità che le sostanze tossiche siano veicolate attraverso la catena alimentare. I vantaggi invece sono i costi contenuti, l'applicabilità in casi di contaminazione diffusa su ampie superfici ed il buon impatto sull'opinione pubblica grazie alle intrinseche qualità estetiche.

Di seguito lo schema sinottico dei meccanismi di fitorimediazione.

TABELLA 6.13 – SCHEMA SINOTTICO DEI MECCANISMI DI FITORIMEDIAZIONE

Degradazione	Rizodegradazione (effetto rizosfera)	Degradazione degli inquinanti da parte dei microrganismi della rizosfera
	Fitodegradazione (fitotrasformazione)	Degradazione dei contaminanti traslocati all'interno della pianta o, all'esterno, mediante enzimi prodotti dalla pianta
Estrazione	Fitoestrazione (fitoaccumulo)	Traslocazione degli inquinanti all'interno della pianta
	Fitovolatilizzazione	Estrazione dell'inquinante, eventualmente trasformazione, e traspirazione attraverso le foglie
	Rizofiltrazione	Assorbimento o precipitazione dell'apporto radicale di inquinanti presenti in soluzione acquosa
Contenimento Immobilizzazione	Controllo idraulico (phytopumping)	Limitazione della migrazione degli inquinanti nella falda ottenuta grazie al consumo di acqua da parte delle piante
	Fitostabilizzazione	Immobilizzazione dell'inquinante per precipitazione, assorbimento o in conseguenza della stabilizzazione della matrice

6.3 CRITERI DI VALUTAZIONE DELLE TECNOLOGIE

In Tabella 6.14 vengono riassunti i criteri di assegnazione dei punteggi relativi ad ogni singola categoria considerata nella screening matrix.

Da una valutazione con approccio tradizionale (con i criteri di cui sopra) ne derivano le screening matrix riportate nella Tabella 3 allegata in coda al documento.

TABELLA 6.14 – CRITERI DI ASSEGNAZIONE DEL PUNTEGGIO

CATEGORIA	MODALITÀ DI ASSEGNAZIONE DEL PUNTEGGIO
<u>FATTIBILITÀ TECNICA</u>	MINORE RISULTA LA FACILITÀ D'INSEDIAMENTO DELLA TECNOLOGIA (DATE ANCHE LE SPECIFICHE CONDIZIONI AL CONTERNO FISCALE, NATURALI ED ANTROPOLOGICHE DEL SITO), MINORE SARÀ IL PUNTEGGIO ASSEGNATO. MAGGIORE È LA COMPLESSITÀ DELLA SCELTA TECNOLOGICA, MINORE SARÀ IL PUNTEGGIO DA ASSEGNARE.
<u>STATO DELLA TECNOLOGIA</u>	LE NUOVE TECNOLOGIE, AD UN LIVELLO EMBRIONALE DI SVILUPPO, AVRANNO PUNTEGGI BASSI (COME SUGGERISCE L'EPA, SOTTO LA MEDIA, PER CUI SOTTO IL VALORE 3), MENTRE QUELLE AD UNO STADIO MATURO AVRANNO PUNTEGGI PIÙ ALTI (OVVERO SOPRA LA MEDIA, CIOÈ SOPRA IL 3).
<u>DISPONIBILITÀ DEI FORNITORI</u>	L'EPA SUGGERISCE DI DIVIDERE IN CATEGORIE: <ul style="list-style-type: none"> • DA 2 A 4 FORNITORI: NELLA MEDIA (=3); • MENO DI 2 FORNITORI: SOPRA LA MEDIA (<3).
<u>APPLICABILITÀ AL SUOLO SUPERFICIALE INSATURO</u>	SE L'AREA D'INTERESSE È COMPRESA NEL SATURO O SEMISATURO, PIÙ LA TECNOLOGIA RISULTA ADATTA A RIDURRE LE CONCENTRAZIONI DI INQUINANTI IN TALE PORZIONE DEL SITO PIÙ È ALTO IL PUNTEGGIO. IL PUNTEGGIO È PARI A 1 PER TECNOLOGIE NON INDICATE PER LE CONDIZIONI DI SITO.
<u>APPLICABILITÀ AI CONTAMINANTI IN SITO</u>	QUESTE CATEGORIE RAPPRESENTANO IL CAMPO DI APPLICAZIONE AL CONTAMINANTE DA RIDURRE NEL CORSO DELL'INTERVENTO. MAGGIORE È L'EFFICACIA DI BONIFICA DELLA TECNOLOGIA IN ESAME VERSO UNO DI QUESTI INQUINANTI E MAGGIORE SARÀ IL RISPETTIVO PUNTEGGIO. LADDOVE LA TECNOLOGIA NON FOSSE APPLICABILE A QUALCUNA DI QUESTE CATEGORIE DI INQUINANTI IL PUNTEGGIO DEVE ESSERE POSTO PARI A 1.
<u>ACCETTABILITÀ DA PARTE DELLA PP.AA.</u>	IN QUESTA CATEGORIA VENGONO RIASSUNTI I GIUDIZI DELLE PUBBLICHE AMMINISTRAZIONI (PPAA) RISPETTO ALLE SCELTE DI INTERVENTO. SE LE PPAA MOSTRANO SODDISFAZIONE DALLA SCELTA DI UNA DETERMINATA TECNOLOGIA IL PUNTEGGIO SARÀ MASSIMO, SE, INVECE, SI PREVEDONO DEGLI ATTRITI A CAUSA DELLA MANCATA ACCETTAZIONE DA PARTE DELLE AUTORITÀ, ALLORA IL PUNTEGGIO SI RIDUCE.
<u>TEMPO DI BONIFICA</u>	IL PUNTEGGIO POTRÀ ESSERE ASSEGNATO SECONDO IL SEGUENTE CRITERIO: <ul style="list-style-type: none"> • TEMPI DI RAGGIUNGIMENTO DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA INFERIORI AI 6 MESI: 5 PUNTI; • TEMPI DI RAGGIUNGIMENTO DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA DAI 6 MESI AD 1 ANNO: 4 PUNTI; • TEMPI DI RAGGIUNGIMENTO DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA DA 1 A 2 ANNI: 3 PUNTI; • TEMPI DI RAGGIUNGIMENTO DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA SUPERIORI AI 2 ANNI: 2 PUNTI.
<u>O&M COSTS E CAPITAL INVESTMENTS</u>	QUESTE CATEGORIE TENGONO CONTO DEGLI ESBORSI FINANZIARI DA EFFETTUARE, INTESI COME INVESTIMENTO DI CAPITALE INIZIALE E COSTI OPERATIVI E DI MANUTENZIONE. RELATIVAMENTE A QUESTE CATEGORIE È STATO ASSEGNATO UN PUNTEGGIO SECONDO LA SCALA 1-5, RAPPORTATO ALLA CONVENIENZA DEI COSTI D'INVESTIMENTO INIZIALE E DELLA MEDIA DEI COSTI DI MANUTENZIONE PER OGNI ANNO.
<u>RAPPORTO COSTI/BENEFICI</u>	CON QUESTO CAMPO SI INTENDE RIASSUMERE L'EFFICIENZA DI UN APPROCCIO DI BONIFICA RISPETTO AD UN ALTRO. ESSO INFATTI SINTETIZZA L'EFFICACIA DELL'INTERVENTO, CONFRONTANDO I BENEFICI (INTESI COME RIDUZIONE DELLA CONTAMINAZIONE) RISPETTO AI COSTI AFFRONTATI. MINORE È TALE RAPPORTO E MINORE DEVE ESSERE IL PUNTEGGIO ASSEGNATO.
<u>SOSTENIBILITÀ</u>	COEFFICIENTE DI SOSTENIBILITÀ $IS=A+B+C$ A= COEFFICIENTE ENERGETICO ENERGIA UTILIZZATA RISPETTO ALLA MEDIA B= % RECUPERO DI ACQUA = VOLUME ACQUA RECUPERATA/VOLUME ACQUA PRELEVATA (SARÀ BUONO SE È > 50%) C= % RECUPERO TERRENO = VOLUME TERRENO RECUPERATO/VOLUME TERRENO PRELEVATO

La screening matrix mette a confronto le tecnologie riportate in Tabella 6.6.

Dalle dettagliate valutazioni effettuate sulle tecnologie di bonifica applicabili al sito in oggetto, valutazioni che tengono fortemente in considerazione il contesto in cui è inserita l'area oggetto di intervento, e non in ultimo la valutazione dell'iterazione tra le differenti tecnologiche di bonifica, sono state individuate per ogni area del sito le migliori tecnologie applicabili; nel seguito si descrivono e riassumono i dettagli. Eventuali variazioni e nuove valutazioni sulle tecnologie di bonifica individuate e proposte in questa prima fase progettuale potranno essere avanzate alla conclusione delle attività di approfondimento previste nel seguito (indagini indirette ed esecuzione dei test pilota di campo).

Lo scopo del presente capitolo è definire a livello progettuale le tecnologie e le modalità di applicazione delle stesse per raggiungere gli obiettivi di bonifica prefissati (paragrafo 6.1 e tabella 6.3).

Gli interventi di bonifica sono differenziati in funzione delle aree di intervento, vengono pertanto individuate n.3 macro aree così distinte:

- Area Effrazione;
- Area Monte Risorgive;
- Area Risorgive, Esterna e Roggia Rabica.

Le attività di bonifica previste per ogni macro area sono descritte nei successivi paragrafi.

6.3.1 Area Effrazione

Sorgente 2S (contaminata per potenziale rischio outdoor).

La contaminazione (superamenti delle CSR calcolate) interessa perlopiù le pareti ed il fondo del canale ad uso irriguo presente in sito (ad oggi in disuso in quanto bypassato con altro canale).

Sono previste le seguenti azioni:

1. rimozione/smaltimento del terreno impattato (volume massimo ipotizzabile, circa 212 m^3 – considerando anche un eventuale interessamento di alcuni degli areali con $\text{CRS} < \text{CSR}$);

Tenuto conto della destinazione d'uso dell'area su cui intervenire (canale irrigui/area agricola) si ritiene quale intervento di bonifica più idoneo lo scavo/smaltimento del terreno contaminato con ripristino del canale una volta completate tutte le attività di bonifica.

Poiché il tratto di canale interessato dalla contaminazione superficiale è anche interessato da una contaminazione più profonda (sorgente 2P), l'intervento di scavo sarà approfondito anche in corrispondenza della parte più profonda del canale al fine di evitare in futuro qualsiasi rischio di lisciviazione.

L'intervento potrebbe comportare il danneggiamento e/o la distruzione del pozzo PZ2 posto al limite dell'area d'intervento, premesso che saranno messe in atto tutte le azioni necessarie per evitare danneggiamenti al pozzo di emungimento, nel caso di guasti si procederà al suo completo ripristino.

Sorgente 2P (contaminata per rischio lisciviazione e con POC esterno alla sorgente

conforme), la contaminazione (superamenti delle CSR calcolate) interessa un'areale che ha un'estensione di circa 365 m², la profondità varia al variare del punto indagato in ogni caso resta compresa tra circa - 1,0 e - 4,5 m da p.c., ed il volume è potenzialmente di ~420 m³; la contaminazione è rappresentata C>12, C<12 e Xileni e si propongono le seguenti azioni:

- monitoraggio di almeno 12 – 16 mesi delle acque di falda al POC (PZ17), al fine di verificarne/confermarne la conformità alle CSC, verificata in campo mediante i periodici monitoraggi della falda;
- intervento di biorisanamento con Bioventing localizzato, sarà comunque necessario realizzare un test pilota di campo per verificarne l'efficienza e definirne il dimensionamento finale;
- rimozione del prodotto surnatante che saltuariamente compare ancora in alcuni pozzi;
- P&T, in parte con reimmissione delle acque emunte in falda mediante pozzi di resa ed in parte con scarico in roggia; successivamente ai test di campo relativi al Soil Flushing l'acqua di reimmissione potrà essere utilizzata per il SF;
- Soil flushing (con utilizzo quali acque di processo le acque di reimmissione emunte dall'impianto di P&T) da applicarsi esclusivamente a seguito dell'esecuzione di un test pilota di campo che ne valuti l'efficienza e l'efficacia e di un'indagine di dettaglio integrativa che valuti la precisa distribuzione della contaminazione nella porzione insatura e satura del sito.

Tenuto conto della destinazione d'uso dell'area su cui intervenire (area agricola) ed i limitati volumi di terreno da trattare, l'opzione che creerebbe meno impatto sarebbe sicuramente il monitoraggio delle sole acque sotterranee al POC. Tuttavia, vista la persistenza di prodotto in corrispondenza dei pozzi barriera PZ2, PZ4 e PZ6 e la necessità di intervenire sul sottosuolo per raggiungere le CSR calcolate, si rende necessario prevedere un intervento atto ad agire attivamente sull'abbattimento dei residui di contaminanti adese al sottosuolo insaturo (potenziali sorgenti di lisciviazione del prodotto in falda) e al recupero e rimozione del prodotto ancora presente.

Nello specifico, si propone il mantenimento del barrieramento idraulico in essere (P&T) opportunamente potenziato/integrato al fine di consentire un idoneo barrieramento, con reimmissione in falda delle acque emunte.

Oltre all'applicazione del P&T, i cui emungimenti non graveranno sul bilancio idrologico locale, così come si evince dal modello di flusso realizzato allo scopo e riportato in Appendice 1, essendo necessario intervenire con attività di bonifica sul sottosuolo insaturo, potrà essere applicata la tecnologia Soil Flushing; infatti grazie alla disponibilità di discreti quantitativi di acqua derivanti dall'emungimento del P&T, sarà possibile applicare con notevoli vantaggi questa tecnologia ed utilizzando quale liquido di *lavaggio* le acque stesse di reimmissione. Infine, le acque reimmesse in falda tramite Soil flushing saranno ciclicamente miscelate con dei prodotti surfactanti in grado di desorbire il contaminante ancora adeso al terreno per poi trasferirlo in falda e da qui recuperato dall'azione di emungimento indotta dai pozzi barriera.

L'applicazione di questa tecnologia sarà soggetta a verifica mediante la realizzazione di un test pilota di campo meglio descritto nei paragrafi 7.3.4 e 7.3.5..

In ultimo per la contaminazione relativa al sottosuolo profondo limitatamente ai poligoni di

Thyssen individuati dai punti BH3 e BH4, si procederà la tecnologia del Bioventing, previa verifica dell'applicabilità della tecnologia mediante l'esecuzione di test pilota di campo, meglio descritti nei paragrafi da 7.3.7 a 7.3.11.

6.3.2 Area Monte Risorgive

Sorgente 2P (contaminata per rischio lisciviazione ma con POC esterno sempre conforme). La contaminazione determinata da C>12, C<12 e Xileni interessa alcune aree la cui superficie totale è pari a ~3.400 m², ed è compresa nell'intervallo 5,0 – 6,2 m da p.c. con un volume complessivo stimato in 3.400 m³.

Si propongono le seguenti azioni:

- intervento con Bioventing (a seguito degli esiti del test pilota da eseguirsi presso l'area effrazione e a valle delle indagini integrative).

Quali attività di messa in sicurezza per le acque si prevede:

- monitoraggio di almeno 12 – 16 mesi delle acque di falda al POC (PZ17), al fine di verificarne/confermarne la conformità alle CSC;
- mantenimento in attività della barriera idraulica ad oggi installata fino al raggiungimento degli obiettivi di bonifica, prevedendo la trasformazione del PZ5 in pozzo del tipo dualpump, mediante l'installazione di una pompa elettro-sommersa in luogo dell'attuale pompa pneumatica presente e l'installazione di n.1 skimmer attivo per il recupero di eventuale prodotto; l'installazione di quest'ultimo sarà finalizzata solo nel caso in cui, durante le prossime campagne di rilievo fluidi, si ripresentasse prodotto, così come segnalato nel paragrafo 5.5.

In funzione degli esiti delle indagini indirette di cui è prevista la realizzazione nel presente documento progettuale, e degli esiti dei monitoraggi delle acque di falda, sarà calibrato il funzionamento dei pozzi appartenenti al barriera in area *monte risorgive*.

6.3.3 Area Risorgive (Area Bosco)

Sorgente 1P (contaminata per rischio lisciviazione ma con POC esterni conformi).

Soggetta a contaminazione per Xileni per un'area con potenziale estensione pari a 1.700 m² (dato estremamente cautelativo desunto a seguito di interpolazione con poligoni di Thiessen) alla profondità compresa tra circa 4,0 – 5,0 m da p.c. (in particolare in corrispondenza dello strato di oscillazione della frangia) e volume stimato in 1.700 m³.

Si propongono le seguenti azioni:

- intervento con BV nello stretto intorno di PZ24;
- interventi di fitorimediazione;

Vista la presenza, seppur sporadica e con limitato spessore - velo o iridescenze, di prodotto surnatante e alcuni superamenti delle CSC incorsi nel 2018 (sebbene inferiori alle CSR calcolate) in corrispondenza del pozzo PZ21, si propongono interventi mirati in PZ21 e di fitorisanamento, quest'ultimo quale coadiuvante nel processo di risanamento della matrice ambientale acque sotterranee.

Nello specifico, si propone di:

- mantenere l'emungimento in essere nel piezometro/pozzo PZ21, rivampando il sistema di pompaggio;
- intervenire presso le zone ritenute critiche (es. area di incolto nell'intorno del PZ21) mediante fitorimediazione.

Quali presidi di Messa in Sicurezza, si opererà con le seguenti:

- mantenimento del presidio di sicurezza con il sistema SAMIS;
- monitoraggio per almeno 12 – 16 mesi delle acque di falda ai POC (PZ20, PZ18), al fine di verificarne/confermarne la conformità alle CSC.

E' in fase di valutazione la sostituzione del sistema SAMIS con un sistema di Fitodepurazione, attraverso la piantumazione di Phragmites, di cui nei capitoli successivi vengono forniti i principi di base.

7 PROGETTO DI BONIFICA AREA EFFRAZIONE

Come già illustrato nei paragrafi precedenti, l'area in esame dovrà essere sottoposta ad attività di bonifica per le matrici ambientali suolo e sottosuolo; tuttavia il saltuario rinvenimento di prodotto libero in galleggiamento in alcuni pozzi qui presenti imporranno che le attività di bonifica interessino anche la matrice ambientale acque sotterranee.

Per il raggiungimento degli obiettivi di bonifica sono stati individuati gli interventi indicati nella seguente tabella 7.1 e suddivisi in funzione delle matrici ambientali oggetto di bonifica.

TABELLA 7.1. INTERVENTI DI BONIFICA PROPOSTI.

MATRICE AMBIENTALE	TECNOLOGIA DI BONIFICA INDIVIDUATA
Suolo (sorgente 2S insaturo superficiale)	Scavo e smaltimento
Sottosuolo (sorgente 2P insaturo profondo)	Soil flushing+iniezione di prodotti surfactanti+Bioventing
Acque sotterranee	P&T+reimmissione in falda

In considerazione del fatto che presso i pozzi di emungimento PZ2, PZ4 e PZ6 si rinviene saltuariamente prodotto libero in galleggiamento, al fine di poter dimensionare correttamente gli interventi di bonifica nonché confermare l'applicabilità delle tecnologie di bonifica individuate, preliminarmente a qualsiasi attività sarà eseguita un'indagine di dettaglio per definire e circoscrivere l'estensione della contaminazione nella porzione insatura e satura dell'area in oggetto. Nei paragrafi successivi si riportano i dettagli per eseguire l'indagine sopracitata.

Inoltre per verificare l'applicabilità e l'efficienza di alcune delle tecnologie di bonifica individuate e proposte si effettueranno dei test pilota di campo, i cui dettagli sono riportati nei paragrafi dal 7.3.4. al 7.3.11. .

I test pilota di campo potranno essere realizzati in seguito al completamento delle opere di bonifica previste per il suolo superficiale e la realizzazione dei pozzi di resa.

7.1 INDAGINE AMBIENTALE DI DETTAGLIO

Ai fini di una più accurata individuazione e circoscrizione della contaminazione (sia arealmente che verticalmente compresa la zona satura) ed in particolare per individuare con esattezza l'eventuale presenza di prodotto libero, si eseguirà una campagna di indagine indiretta di dettaglio. Tale attività risulta propedeutica al dimensionamento delle opere di bonifica.

L'indagine potrà essere effettuata mediante indagini indirette, previa verifica di applicabilità tecnica in campo, utilizzando la tecnologia LIF (Laser Induced Fluorescence).

Questa tecnica di analisi in tempo reale prevede l'infissione nel terreno di una punta dotata di un sensore ottico all'ultravioletto che è in grado di discriminare la contaminazione da idrocarburi sia nel terreno insaturo sia in quello saturo e quindi in falda. La fluorescenza del prodotto idrocarburico è indotta dalla luce del laser (LIF) che eccita le molecole fluorescenti contenute nella maggior parte dei liquidi in fase non acquosa (NAPL) tra cui appunto gli idrocarburi. Il laser accendendosi causa una emissione di luce che contiene uno spettro di quattro lunghezze d'onda; dato che ogni idrocarburo emette fluorescenza con una combinazione di lunghezze d'onda caratteristiche, le differenze tra le varie distribuzioni di lunghezza d'onda registrate può discriminare la tipologia di contaminazione presente nel mezzo indagato e dare risultati in tempo reale. Il fatto che sia possibile ottenere dati in tempo reale permette di coprire ampie superfici in poco tempo e dirottare le indagini là dove si registrano le evidenze di contaminazione.

La realizzazione dell'indagine mediante LIF sarà effettuata a seguito di prove di campo che ne dimostrino l'applicabilità in relazione alla litologia grossolana presente; eventualmente l'inserimento della sonda LIF, se tecnicamente attuabile, potrà avvenire a seguito della realizzazione di *prefori* realizzati a percussione e/o a rotazione.

L'area oggetto d'indagine è quella riportata in Tavola 05, la maglia di acquisizione preliminare sarà di 5x5 metri con l'ubicazione del punto di indagine posizionato all'incirca nel centro della maglia. In corso d'opera potranno essere realizzati, se ritenuti necessari, ulteriori punti di indagine ad infittimento della maglia proposta in funzione dei risultati ottenuti e della distribuzione della contaminazione individuata. Preliminarmente l'esecuzione delle indagini il tragitto dell'oleodotto sarà picchettato al fine di evitare danneggiamenti in fase di perforazione.

Al completamento dell'indagine saranno realizzate mappe di distribuzione della contaminazione a varie quote di profondità con relative sezioni verticali. In funzione della distribuzione dei contaminanti e della diffusione del prodotto libero, si potrà valutare la necessità di effettuare ulteriori indagini mediante carotaggi continui per il prelievo di campioni di terreno da sottoporre ad analisi chimica.

Le verifiche si spingeranno oltre il livello di falda per almeno 2 m; la profondità definitiva sarà decisa in funzione dei dati acquisiti sul campo al momento dell'esecuzione dell'indagine.

7.2 INTERVENTO DI BONIFICA SUOLO SUPERFICIALE

L'ADR approvata ha individuato quello che è l'areale sorgente di contaminazione relativo alla matrice ambientale suolo superficiale; considerando i soli superamenti delle CSR calcolate, l'areale d'intervento individuato, e che sarà sottoposto alle attività di bonifica mediante rimozione, ha una superficie complessiva pari a ~212 m²; in Tavola 3A è possibile osservarne la distribuzione planimetrica.

È stato pertanto individuato un'areale che comprende tutti i punti che hanno mostrato il superamento delle CSR, tuttavia l'effettiva area di scavo proposta risulta essere di dimensioni inferiori rispetto al sopracitato areale in quanto si ritiene molto probabile che la reale estensione della contaminazione sia inferiore rispetto a quanto emerso dall'utilizzo dei poligoni di Thiessen (dove le interpolazioni geometriche tengono conto del numero e dalla distanza dei punti di indagine ed in alcuni casi si può sovrastimare l'effettiva estensione della contaminazione).

Come sarà meglio descritto nel seguito, l'areale di scavo potrà essere ampliato in funzione di effettivi superamenti delle CSR, determinati mediante analisi chimiche direttamente su campioni di terreno prelevati in campo.

L'intervento di bonifica mediante scavo e smaltimento del suolo contaminato, sarà articolato nelle seguenti macro attività:

- stima dei volumi e delle quantità di terreno da rimuovere;
- caratterizzazione rifiuto solido, per classificazione secondo il catalogo europeo dei rifiuti CER;
- attività di rimozione e trasporto presso sito autorizzato del terreno contaminato (recupero e/o smaltimento del terreno contaminato rimosso - rifiuto solido);
- verifica della contaminazione residua al terreno rimasto in posto (operazione di collaudo);
- rinterro degli areali di scavo e ripristino area.

L'asportazione del materiale contaminato avverrà secondo le procedure operative e gestionali descritte nei capitoli seguenti.

7.2.1.1 *Stima dei volumi e delle quantità di terreno da rimuovere*

La profondità stimata di scavo sarà posta in media a circa – 1,0 m da p.c., mentre in corrispondenza della parte centrale del fosso sarà raggiunta la profondità massima di – 2,0 m dal p.c., profondità leggermente superiore alla base dell'intervallo di prelievo dei campioni più profondi eccedenti le CSR (1,8 m da p.c. riferendosi in particolare ai punti SC1F1 e SC1F2), così come indicato nel layout di scavo riportato in Tavola 3B.

Il quantitativo di terreno da sottoporre a scavo e quindi la relativa produzione di rifiuti potrebbe aumentare nel caso in cui le operazioni di rimozione interessassero un'area maggiore rispetto a quella proposta ed individuata in Tavola 3B, ma comunque non superiore all'area della sorgente di potenziale contaminazione utilizzata per la redazione dell'ADR (poligono identificato delle CRS) ed evidenziata in Tavola 3A.

La tabella 7.2 riporta una stima di massima dei volumi di terreno che saranno potenzialmente prodotti e movimentati dall'areale di scavo individuato (rif. Tavola XXX); per il calcolo si è tenuto conto della superficie dell'area di scavo proposta e pari a ~110 m² (~103 m² area di

scavo principale a cui si somma l'hot spot del punto SC2FA di circa $\sim 7 \text{ m}^2$) e, nel caso peggiorativo e quindi in caso di allargamento degli scavi, della superficie dell'area sorgente di potenziale contaminazione pari a $\sim 212 \text{ m}^2$. Si consideri che è incluso nel conteggio anche l'areale individuato dal punto di campionamento SC2FA, seppure in quel punto è rispettata la CSR rappresentativa per l'area sorgente, trattandosi del futuro fondo del canale (che si intende ricostruire e ripristinare a bonifica ultimata).

Per i calcoli dell'area sulla quale si stima di intervenire, si è proceduto come segue:

- larghezza media del fosso pari a 4 m;
- profondità media (nell'area indagata) di 1,80 m da p.c., mentre la profondità del fosso in corrispondenza del punto SC2FA è pari a – 1,0 m da p.c.;
- dimensione dell'areale evidenziato in rosso in Tavola XXX, a cui è stata sottratta la quota di “vuoto” in corrispondenza del sedime del fosso.

Si consideri che i volumi riportati in tabella 7.2 si riferiscono al terreno in banco.

Data la natura litologica del materiale e la profondità di scavo si individua un valore di densità naturale pari a $\rho = 1,8 \text{ t/m}^3$ per il terreno in posto.

TABELLA 7.2 – VOLUME DEL TERRENO IN BANCO DA SOTTOPORRE A SCAVO $\pm 20\%$.

SCAVO	STIMA DEL VOLUME DEL TERRENO PROVENIENTE DALL'AREA DI SCAVO			STIMA DEL VOLUME DI TERRENO POTENZIALMENTE AGGIUNTIVO CONSIDERANDO L'AREA SORGENTE IDENTIFICATA DELL'ADR (CRS)	
	Spessore m	m^3	t	m^3	t
SCAVO 0 -1,0 m DA P.C.	1	~ 70	~ 126	~ 150	270
SCAVO FOSSO -1,0 - 2,00 m DA P.C.	1	~ 20	~ 36	~ 20	36
TOTALE	-	~ 90	~ 162	~ 170	~ 306

Preliminarmente all'inizio delle attività di bonifica sarà prelevato un campione rappresentativo di terreno da sottoporre ad analisi di caratterizzazione rifiuto, al fine di assegnare al terreno da smaltire il corretto codice CER.

7.2.1.2 Attività di rimozione del terreno

Le modalità di rimozione del terreno procederanno come così di seguito descritto:

- in corrispondenza dell'attuale piano campagna gli scavi saranno eseguiti partendo dalle sponde del canale procedendo ad allargare lo scavo verso il confine individuato dall'areale di scavo proposto, verificando al progredire degli scavi la qualità del terreno tramite strumentazione di campo (Fotoionizzatore portatile PID) e laboratorio mobile. Lo scavo procederà sino al raggiungimento di – 1,0 m da p.c. di profondità;
- in corrispondenza della parte centrale del fosso lo scavo sarà approfondito fino a raggiungere la profondità di – 2,0 m da p.c. con lo scopo di rimuovere la contaminazione rinvenuta fino a – 1,80 m da p.c.

Le operazioni di scavo saranno effettuate nel rispetto dell'attuale normativa vigente in

materia di sicurezza sul lavoro, utilizzando idonee attrezzature per il movimento terra e confinando opportunamente le aree interessate dagli scavi mediante idonea recinzione provvisoria di cantiere.

Si prevede di realizzare lo scavo senza adottare misure provvisionali di sostegno delle pareti, in considerazione delle ridotte profondità che lo stesso dovrà raggiungere; si rimanda in ogni caso alle valutazioni e/o decisioni della Direzione Lavori competente in materia di sicurezza sul lavoro. Sarà comunque necessario prevedere la perimetrazione dell'area intorno al fronte di scavo con apposite recinzioni dotate di segnalazioni ed il modellamento delle pareti dello scavo al fine di garantire lo svolgimento dei lavori in condizioni di sicurezza.

Il materiale di scavo sarà rimosso mediante l'utilizzo di escavatore, pala meccanica, terna gommata o altro mezzo meccanico idoneo alla movimentazione del materiale; si prevede lo scavo con carico diretto su automezzi senza la formazione di cumuli, si procederà infatti alla pre-caratterizzazione del materiale con successiva verifica in corso d'opera mediante laboratorio mobile. L'eventuale formazione di cumuli, dettata da qualsiasi esigenza si dovesse presentare in corso d'opera, sarà gestita al fine di evitare la dispersione e/o il dilavamento del materiale contaminato.

Le operazioni di conferimento in discarica dei rifiuti saranno eseguite in ottemperanza alla normativa vigente in materia di rifiuti.

In considerazione dei dati pregressi si prevede l'avvio a smaltimento con codice CER 19.13.02 - RIFIUTI SOLIDI PRODOTTI DA OPERAZIONI DI BONIFICA DI TERRENI, DIVERSI DA QUELLI DI CUI ALLA VOCE 19.13.01* dei terreni sottoposti a scavo; in ogni caso saranno le analisi preliminari di caratterizzazione del rifiuto che definiranno il corretto codice CER da applicare.

Oltre alla rimozione del terreno sarà asportato, dall'area di scavo individuata, e smaltito secondo normativa vigente il telo plastico utilizzato per la messa in sicurezza del canale (con codice CER 17.02.03 o 17.02.04).

Poiché l'areale di scavo interessa anche parzialmente la strada sterrata che costeggia il canale, quest'ultima limitatamente all'area di ingombro dell'scavo, sarà rimossa; la stessa sarà ripristinata a bonifica ultimata.

7.2.1.3 Collaudo scavi

Il collaudo dei terreni sarà effettuato immediatamente a seguito delle attività di scavo, così come indicato nel Capitolo 14, paragrafo 14.1..

7.2.1.4 Ripristino degli scavi

Per il ritombamento sarà utilizzato materiale granulare vergine di provenienza certificato da - 2,0 m da p.c. fino alla quota di - 1,0 m da p.c., mentre per la restante parte, quindi da - 1,0 m sino a piano campagna sarà utilizzato terreno vegetale che presenti caratteristiche analoghe a quelle del terreno arativo limitrofo.

Sarà valutato l'utilizzo di terreno di coltivo proveniente da cava certificata oppure dal livellamento del campo limitrofo, previa verifica analitica in accordo al Dpr. 120/2017 (conformità all'Allegato 4).

Infine, sarà ripristinata con materiale granulare la strada carraia di accesso al cantiere ed

interessata dallo scavo.

Dato che nel sito oggetto di scavo è presente un fosso irriguo il ritombamento sarà effettuato in modo tale da ricostruire la geometria del fosso allo *status quo ante* evento di contaminazione; per la ricostruzione del fosso potrà essere utilizzata una benna trapezoidale di idonea sezione.

Per il ritombamento dell'areale di scavo si prevede di utilizzare da 40 a 60 m³ di terreno granulare, e da 40 a 60 m³ di terreno vegetale (i volumi saranno determinati in funzione dell'effettivo quantitativo terreno scavato e della geometria finale del canale irriguo).

7.3 INTERVENTO DI BONIFICA SUOLO PROFONDO

La bonifica del suolo profondo prevede l'applicazione contemporanea di differenti tecnologie di bonifica, in parte da testare direttamente in campo preliminarmente alla loro applicazione:

- P&T e reimmissione in falda;
- Soil Flushing (SF), la cui applicazione sarà soggetta a verifica mediante l'esecuzione di test pilota di campo;
- Iniezione di surfactanti, la cui applicazione sarà soggetta a verifica mediante l'esecuzione di test pilota di campo;
- Bioventing la cui applicazione sarà soggetta a verifica mediante l'esecuzione di test pilota di campo.

L'areale di contaminazione del sottosuolo insaturo profondo è riportato in Tavola 04 e mostra complessivamente una superficie pari a ~365 m²; una porzione di questo areale, ~195 m² potrà essere soggetto a trattamento di bonifica mediante SF (previa esecuzione del test pilota) mentre la restante parte, ~170 m², sarà bonificato mediante BV (sempre previa esecuzione del test pilota). Per la stima del calcolo dei volumi di terreno contaminato si è tenuto conto dell'estensione di ogni poligono di Thyssen con CRS > CSRe dello spessore di contaminazione afferente al poligono in oggetto; nella tabella sottostante si riportano i quantitativi individuati che sono in ogni caso suscettibili di variazioni dell'ordine del ±20%.

TABELLA 7.2A – STIME DEI VOLUMI DI TERRENO CONTAMINATO NEL SOTTOSUOLO INSATURO PROFONDO DELL'AREA EFFRAZIONE.

Thyssen	Superficie (m ²)	Spessore contaminazione (m)	Potenziale volume di terreno in posto contaminato (m3)
SA1PA1 (1-2,8)	50	1,80	90
S1PFA2 (-2,8)	8,4	1,80	15
S1PD (1-2,8)	10,3	1,80	18,5
S1PEA1 (-2,8)	6,8	1,80	12,2
S1PB (1-2,8)	11,5	1,80	20,7
SC1F1 (-1,8)	10,8	0,8	8,6
SC1F2 (-1,8)	11,60	0,8	9,3
SC1PB1	18,5	0,8	14,8
SC1PB2	25,4	0,8	20,3
PZ2 (2-3)	5,1	1,0	5,1
BH5	33,4	1,0	33,4
BH3	77,8	1,0	77,8
BH4	95,2	1,0	95,2
Totale	365		421

7.3.1 *Pump&Treat*

In considerazione del fatto che in area effrazione è ancora presente saltuariamente in alcuni piezometri prodotto libero in galleggiamento e che le tra le tecnologie di bonifica individuate ve ne siano alcune che interesseranno direttamente e/o indirettamente la matrice ambientale acque sotterranee (anche se quest'ultima non sarebbe oggetto di bonifica così come definito dall'ADR approvata), si metterà in atto in zona effrazione una barriera idraulica atta ad impedire l'eventuale diffusione di contaminazione. La barriera idraulica è già presente e rappresenta la messa in sicurezza attualmente in funzione in questa area ed interessa i piezometri PZ2, PZ4 e PZ6; le acque emunte sono al momento rilanciate all'impianto di trattamento situato in zona *Monte Risorgive* e da qui dopo il trattamento di depurazione sono scaricate in acque superficiali (Roggia Rabica). I pozzi sono inoltre dotati di skimmer attivi utilizzati per il recupero selettivo del prodotto libero che si accumula al loro interno anche grazie al richiamo indotto dall'emungimento. Si rimanda ai documenti pregressi e che si assumono noti per maggiori dettagli sull'attuale configurazione dell'impianto di messa in sicurezza e sulle sue caratteristiche tecniche. Si riporta invece per comodità di consultazione il layout ed il P&ID dell'impianto rispettivamente in tavola 6A e 6B.

L'impianto di messa in sicurezza attualmente presente sarà in parte integrato ed in parte *rivampato* per diventare a tutti gli effetti una barriera idraulica; nel seguito se ne descrive la configurazione e le caratteristiche tecniche principali. L'ubicazione dei pozzi e la loro portata d'emungimento è stata ottenuta a seguito dell'elaborazione di un modello di flusso che ha potuto definire la migliore possibile configurazione da applicare al caso in oggetto e che tiene conto ovviamente della componente reimmissione in falda di parte delle acque emunte tramite pozzi di resa; l'elaborato del modello di flusso è riportato nella sua interezza in Appendice 1, mentre nel seguito è descritto nel dettaglio la configurazione dell'impianto ed i principi di funzionamento.

Impianto di Pump&Treat costituente la Barriera Idraulica

L'impianto di sollevamento sarà costituito da n.3 pozzi di emungimento già esistenti (PZ2, PZ4 e PZ6).

Per la definizione della barriera idraulica e per il suo dimensionamento è stato implementato un modello matematico di flusso che ha tenuto conto dei seguenti aspetti principali:

- tenuta dell'opera in progetto rispetto al deflusso della falda dalla zona di effrazione tenendo in considerazione lo stato e la tipologia di contaminazione dell'area;
- minimizzazione degli effetti di impoverimento delle aree umide poste in prossimità della roggia Rabica (Area risorgive) ed appartenenti ad un'area protetta;
- reimmissione in falda di una quota parte dell'acqua estratta e trattata in falda allo scopo di accelerare i processi di bonifica del sottosuolo e frangia capillare, attraverso un sistema di trincee per la reimmissione in falda delle acque emunte.

La configurazione definitiva della barriera idraulica è stata verificata rispetto a due differenti condizioni di alimentazione riferibili:

- ad una situazione di "alto piezometrico" della falda (condizione tipica dei mesi estivi caratterizzati dal contributo dell'irrigazione)

- ad una situazione di “morbida della falda” (tipica dei mesi invernali, in assenza di irrigazione).

Le simulazioni sono state effettuate in regime stazionario che può essere assunto come un transitorio di lungo periodo. Il modello di flusso ha così permesso di individuare la migliore configurazione della barriera idraulica sia per i mesi invernali, quando è assente il contributo delle irrigazioni sia per i mesi estivi dove il contributo irriguo determina una consistente e differente alimentazione della falda. Per questo motivo sono stati individuati due differenti scenari di configurazione della barriera idraulica che mostrano emungimenti differenziati in funzione del periodo dell’anno di funzionamento.

Le portate di emungimento individuate dal modello di flusso (riportato in Appendice 1) sono indicate nella tabella seguente 7.3; alle portate della barriera idraulica della zona effrazione si devono aggiungere i volumi d’acqua emunti dalla barriera situata presso la zona monte risorgiva e quanto emunto dal PZ21 situato in zona risorgive-bosco e di cui si relaziona al nei successivi paragrafi.

TABELLA 7.3 – PORTATE DI EMUNGIMENTO COMPLESSIVE

Zona	Pozzo di emungimento	Tipologia di pompa prevista da progetto	Portata d’esercizio m³/h in assenza di contributo irriguo	Portata d’esercizio m³/h in presenza di contributo irriguo
Effrazione	PZ2	sommersa	3,0	4,40
	PZ4	sommersa	3,0	3,60
	PZ6	sommersa	3,2	5,0
Monte Risorgive	PZ5	sommersa	1,0	1,0
	PZ7	pneumatica	0,12	0,12
	PZ8	pneumatica	0,12	0,12
	PZ9	pneumatica	0,12	0,12
	PZ10	pneumatica	0,12	0,12
	PZ11	pneumatica	0,12	0,12
Risorgive – Bosco	PZ21	sommersa	1,0	1,0
Portata totale			11,8	15,6

Per garantire il raggiungimento delle portate differenziate le n.3 pompe sommerse attualmente presenti nei pozzi saranno sostituite con idonee pompe sommerse dotate di inverter per il controllo del numero di giri del motore elettrico e quindi per la regolazione della portata di emungimento. Le pompe sommerse opereranno all’interno di un *range* di lavoro compreso tra i 3,0 e 5,0 m³/h $\pm 25\%$.

Le regolazioni delle portate saranno graduali ed in funzione dell’innalzamento del livello di falda caratteristico dei mesi estivi.

Al fine di garantire la massima efficienza dell’emungimento in relazione alle portate individuate, il pozzo PZ6 che ha attualmente un diametro di 6” sarà sostituito con un nuovo pozzo del diametro di 8” dalle caratteristiche costruttive identiche ai pozzi PZ4 e PZ2 e denominato PZ6Bis. Il pozzo PZ6 resterà in ogni caso in funzione con lo skimmer attivo per il recupero del prodotto e come piezometro di monitoraggio per la verifica dell’efficacia del nuovo pozzo barriera PZ6bis che sarà allestito con idonea pompa elettrosommersa e skimmer attivo per recupero prodotto.

L’acqua emunta sarà inviata all’impianto di trattamento già presente in sito presso la zona

Monte Risorgive dove sarà depurata mediante filtrazione su colonne filtranti a carboni attivi.

Poiché l'acqua depurata sarà scaricata in parte in acque superficiali presso la Roggia Rabica ed in parte sarà reimpressa nella zona effrazione tramite i dedicati pozzi di resa, il trattamento di depurazione delle acque sarà differenziato (differenti limiti da garantire allo scarico in acque superficiali rispetto a quelle da reimmettere in falda). Dato che l'attuale impianto di trattamento possiede le caratteristiche tecniche per garantire il raggiungimento dei limiti allo scarico in acque superficiali, l'acqua in uscita dall'impianto in questione che sarà destinata alla Roggia Rabica non subirà ulteriori trattamenti. Al contrario, l'acqua che sarà reimpressa in falda, dovendo rispettare le CSC indicate in tabella 2 Allegato 5, Parte Quarta, Titolo V del Dlgs. 152/06, dovrà subire un ulteriore trattamento al fine di garantire il completo rispetto dei limiti individuati dalla normativa. Per questa ragione in area effrazione saranno installati due filtri a carboni attivi che andranno a completare l'impianto di reimmissione.

Nella tabella sottostante si riportano le portate d'acqua reimmesse in falda e quelle scaricate in roggia.

TABELLA 7.4 – PORTATE DI SCARICO

Punto di scarico	Portata d'esercizio m³/h in assenza di contributo irriguo	Portata d'esercizio m³/h in presenza di contributo irriguo
Scarico in Roggia Rabica	2,8	6,6
Reimmissione in falda	9,0	9,0

L'acqua sarà scaricata in roggia mediante l'utilizzo di una pompa di rilancio comandata da un regolatore di portata costante in modo da garantire un flusso continuo alla portata d'esercizio individuata. La restante parte d'acqua sarà inviata all'impianto di reimmissione ubicato in area effrazione e dedicato alla reimmissione dell'acqua in falda mediante i pozzi di resa (paragrafo 7.1.3.2). Il rilancio dell'acqua dall'impianto di P&T posto in zona *Monte Risorgiva* all'impianto di Reimmissione situato in area effrazione avverrà tramite una pompa centrifuga con portata minima pari a ~20 m³/h e che sarà azionata dai galleggianti/sonde di livello contenute all'interno di uno dei due serbatoi costituenti l'impianto di reimmissione; al raggiungimento della capienza massima dei serbatoi il galleggiante bloccherà, nel caso, il flusso d'acqua.

La sezione dell'impianto dedicata al trattamento delle acque di falda dell'impianto di P&T situato nell'area *Monte Risorgive* è costituita da n.1 filtri a sabbia e da n.4 filtri a carboni; le acque transiteranno all'interno dei filtri a carboni attivi dove saranno depurate e pronte per essere scaricate in roggia e per essere rilanciate all'impianto di reimmissione per il successivo trattamento e la reimmissione in falda. Si rimanda al successivo paragrafo per la descrizione dell'impianto di reimmissione e per la definizione del programma di manutenzione e monitoraggio dell'impianto di P&T. In Tavola 08 si riporta il P&ID preliminare dell'impianto. L'impianto di P&T attualmente in funzione posto in area monte risorgive ed utilizzato per il progetto Fase I sarà gestito e *manutenzionato* con le stesse modalità fino ad ora applicate.

Le tempistiche di funzionamento del P&T sono H24 per 365 gg/anno, per una durata complessiva di almeno 12 – 16 mesi, dall'attivazione dei sistemi, entro i quali sarà presentato il Progetto di Bonifica Fase II che conterrà le tempistiche definitive per garantire il raggiungimento degli obiettivi di bonifica.

7.3.2 Reimmissione delle acque in falda

La reimmissione in falda delle acque emunte dal P&T avverrà tramite la realizzazione di n.2 pozzi di resa del diametro di 8" che raggiungeranno la profondità di 11,0 metri da p.c., la loro ubicazione è riportata in Tavola 06 e 07. I pozzi in oggetto denominati PozzoResa 1 e PozzoResa 2, saranno dotati di apposita testa pozzo che sigillerà ermeticamente il pozzo. Internamente al pozzo, dalla testa pozzo partirà un *drop tube* del diametro interno di 50 mm e di lunghezza di almeno 7 metri che traferirà l'acqua direttamente appena al di sotto del pelo libero dell'acqua di falda.

La portata di reimmissione delle acque sarà complessivamente di **9,0 m³/h** equamente suddivisa nei due pozzi di resa PozzoResa 1 e PozzoResa 2 pertanto **4,5 m³/h** per pozzo.

L'impianto di reimmissione delle acque in falda sorgerà in parte presso l'area effrazione ed in parte presso la zona monte risorgive dove attualmente risiede l'impianto di P&T e sarà costituito dai seguenti componenti principali:

- Gruppo di pressurizzazione costituito da n.2 pompe centrifughe (di cui n.1 quale scorta attiva) per rilanciare le acque dall'impianto di P&T all'impianto reimmissione, il gruppo di pressurizzazione si troverà presso l'impianto di P&T in zona monte risorgive;
- n.2 filtri a carbone attivi diametro 1000 mm ed altezza fasciame di 2000 mm;
- n.2 serbatoi in polietilene della capienza di 5 m³ ciascuno, i serbatoi saranno collegati in serie tra loro;
- manifold di distribuzione;
- n.2 pompe sommergibili, di cui n.1 quale scorta attiva;
- quadro elettrico per la gestione delle pompe.

L'acqua provverrà dall'impianto di trattamento, attualmente situato presso l'area monte risorgive, e sarà rilanciata tramite un gruppo di pressurizzazione (costituito da due pompe centrifughe di cui una quale scorta attiva) ai sopracitati serbatoi. Galleggianti situati all'interno dei serbatoi gestiranno l'azionamento/spegnimento del gruppo di pressurizzazione evitando situazioni che possano generare la tracimazione delle acque rilanciate. Internamente ad uno dei due serbatoi troveranno posto due pompe sommergibili (di cui una quale scorta attiva) che provvederà a rilanciare l'acqua al manifold di distribuzione e da qui ai pozzi di reimmissione; galleggianti e/o sonde di livello situati all'interno del serbatoio comanderanno il funzionamento della pompa. La portata d'esercizio della pompa sommergibile da utilizzarsi per la reimmissione delle acque in falda, portata che dovrà essere mantenuta costante durante il suo funzionamento, sarà dell'ordine di 9 m³/h $\pm 25\%$.

Il manifold sarà costituito da un tratto di tubo in polietilene del diametro interno di 63 mm da cui si dirameranno n.2 linee costituite da tubazioni in polietilene del diametro di 50 mm. Su ogni singola linea si troverà posto in sequenza: una valvola a sfera per sezionamento, una valvola di non ritorno, un contaltri meccanico per la misurazione del quantitativo d'acqua reimpressa, una valvola a saracinesca per la regolazione della portata ed un manometro per la misurazione della pressione di reimmissione dell'acqua. Il manifold sarà infine dotato di cavo scaldante al fine di proteggere le sue componenti dal gelo durante i mesi invernali.

In considerazione del fatto che l'acqua di reimmissione provverà dall'impianto di trattamento P&T posto in zona monte risorgive, si può affermare che le concentrazioni dei contaminanti

trattati siano inferiori ai limiti di rilevabilità e/o comunque inferiori alle CSC, tuttavia quale misura di sicurezza si utilizzeranno due ulteriori filtri a carboni attivi così come sopra riportato. Poiché le acque in ingresso ai filtri dell'impianto di reimmissione saranno già depurate, la durata dei carboni attivi sarà estremamente elevata (> 2 anni).

In Tavola 07 e 08 si riporta rispettivamente il layout ed il P&ID preliminare dell'impianto di reimmissione in oggetto.

Le tempistiche di funzionamento della reimmissione sono legate al funzionamento del P&T e quindi H24 per 365 gg/anno, per una durata complessiva di almeno 12 – 16 mesi, dall'attivazione dei sistemi, entro i quali sarà presentato il Progetto di Bonifica Fase II che conterrà le tempistiche definitive per garantire il raggiungimento degli obiettivi di bonifica.

7.3.3 *Soil Flushing*

La tecnologia individuata per la bonifica del terreno profondo insaturo, frangia capillare e terreno saturo è quella definita Soil Flushing (SF). Il progetto prevederà l'iniezione nel terreno insaturo di acqua proveniente dall'emungimento dei pozzi barriera tramite la realizzazione di trincee orizzontali disperdenti; le trincee sarebbero poste a circa – 2 m da p.c. presso l'area sorgente di contaminazione dell'area effrazione e disposte parallelamente all'oleodotto. L'acqua, iniettata in continuo, percolerà all'interno del terreno insaturo raggiungendo la falda per gravità, nel suo percorso asporterà in modo continuativo il contaminante adeso ai grani del terreno, trasferendo la contaminazione dal terreno alla falda e da qui recuperata grazie agli emungimenti dei pozzi barriera. Inoltre è previsto che ciclicamente le acque di lavaggio siano arricchite con dei prodotti biodegradabili desorbenti definiti surfactanti; questi prodotti favorirebbero il desorbimento della contaminazione dal terreno ed incrementerebbero la biodisponibilità del contaminante per essere biodegradato. La presenza della barriera idraulica a valle delle trincee di iniezione permetterà di recuperare tutta la contaminazione asportata e traferita all'acqua di falda ed il surfactante residuo.

Prima di poter applicare in modo adeguato e corretto questa tecnologia di bonifica dovranno essere allestiti una serie di test di campo per verificarne l'efficienza e l'efficacia. Nei paragrafi successivi si definiscono i test di campo proposti da effettuare in sito.

Nel caso in cui gli esiti dei test di campo siano positivi si potrà utilizzare questa tecnologia mediante l'iniezione in continuo nel terreno insaturo dell'acqua emunta e depurata dal sistema di Pump&Treat; inoltre, secondo cicli la cui frequenza sarà predefinita, l'acqua di reimmissione sarà additivata con sostanze in grado di desorbire la contaminazione presente nel terreno, così come accennato in precedenza.

Nello specifico, parte dell'acqua estratta dai pozzi barriera posti in area Effrazione e depurata dall'impianto di trattamento e pronta per la reimmissione in falda sarà utilizzata per effettuare il *lavaggio* della parte insatura e saturo del sottosuolo (Soil Flushing).

Ciclicamente, l'acqua sarà arricchita con dei surfactanti; l'aggiunta di surfactanti favorirà la biodegradazione e la mobilità del contaminante; i surfactanti provocano una "mobilizzazione" degli inquinanti adsorbiti al terreno favorendone l'asportazione, inoltre questi contaminanti risulteranno anche più biodisponibili per i processi biologici operati dalle colonie batteriche naturalmente presenti in sito, permettendo di accelerare il processo di degradazione con riduzione dei tempi di bonifica. L'iniezione dell'acqua permetterà di agire direttamente sulla contaminazione della porzione insatura e saturo del sottosuolo grazie all'azione di

dilavamento indotta dal flusso dell'acqua che per gravità raggiungerà il pelo libero dell'acque di falda. La contaminazione veicolata in falda sarà recuperata grazie alla presenza della barriera idraulica e all'azione dell'emungimento indotto dai pozzi già presenti in area effrazione: PZ2, PZ4 e PZ6.

L'oscillazione del livello di falda che caratterizza l'area al variare dei periodi stagionali permetterà di intervenire su tutti i livelli contaminati che ciclicamente si trovano nella zona insatura e satura del sottosuolo.

L'acqua e/o le miscele saranno iniettate a bassa pressione in apposite trincee.

Modalità di iniezione, durata e portate saranno definite a seguito della realizzazione del test pilota che fornirà tutti i dati necessari per il corretto dimensionamento dell'opera del progetto Fase II.

7.3.4 Test pilota Soil Flushing

Per la verifica della applicabilità della tecnologia di SF e per dimensionare adeguatamente l'impianto, nonché per individuare la portata d'acqua da reimmettere sarà realizzato un test pilota di campo che è nel seguito descritto.

Si prevede di realizzare una trincea pilota orizzontale di immissione della lunghezza di 5 metri e posta alla profondità di – 2 m da p.c.; la trincea avrà un diametro interno di circa 100 mm (4") e sarà realizzata in HDPE corrugato con micro fessure di 0,5 – 1,0 mm disposte su tutta la sezione del tubo. La tubazione sarà circondata da un dreno costituito da ghiaietto siliceo > 1,0 mm e < di 10,0 mm; infine, lo scavo della trincea sarà colmato con materiale granulare fino alla quota di – 1,0 da p.c. mentre la restante parte con terreno agrario.

La trincea pilota sarà collegata in superficie con una tubazione verticale in polietilene del diametro interno di 50 mm; sulla tubazione troverà posto una valvola di non ritorno, una valvola a saracinesca per la regolazione della portata, un contalitri meccanico, una valvola a sfera ed un manometro.

Nell'intorno della trincea pilota saranno realizzati dei punti di monitoraggio per la verifica della distribuzione del flusso d'acqua immesso nel terreno in modo da determinare con precisione e a differenti portate il raggio di influenza della trincea. I punti di monitoraggio saranno costituiti da tubazioni in pvc del diametro di 2" che raggiungeranno la profondità di – 5,0 m da p.c. e saranno realizzati mediante l'esecuzione di carotaggi continui che successivamente saranno così allestiti: il tratto di tubo fenestrato andrà da – 1,5 a – 5,0 m da p.c. il restante tratto di tubo sarà cieco, nell'intorno del tratto microfessurato troverà posto un dreno costituito da ghiaietto siliceo calibrato. I punti di monitoraggio saranno posizionati a distanze progressivamente maggiori dalla trincea ed ubicati così come riportato in Tavola 9A.

Sarà inoltre realizzato un piezometro di monitoraggio per la verifica dell'effetto indotto dal SF sulle acque di falda; il piezometro sarà denominato PZSF1, avrà diametro di 4" e raggiungerà la profondità di 11 m da p.c.; il tratto cieco sarà compreso tra 0 – 2,0 m da p.c. e il restante da – 2,0 a – 11,00 m da p.c. sarà microfessurato. Mediante il continuo monitoraggio chimico-fisico delle acque di falda durante lo svolgimento del test pilota sarà possibile verificare l'efficacia ed efficienza del SF.

Al fine di ottimizzare le scelte in funzione di dati più aggiornati e circoscritti all'area di

intervento in funzione dell'esito delle indagini integrative di dettaglio da realizzarsi presso il sito, la procedura per la realizzazione dei test di campo e l'ubicazione del campo prova potrà essere rivista, integrata e/o modificata.

Modalità e criteri d'esecuzione del test pilota per il Soil Flushing

I test di SF saranno realizzati utilizzando l'acqua proveniente dall'impianto di depurazione del P&T presente presso l'area monte risorgive oppure, se già attivo, dall'impianto di reimmissione situato presso l'area effrazione. In ogni caso l'acqua utilizzata rispetterà le CSC di riferimento indicate dalla tabella 2 Allegato 5, Parte Quarta, Titolo V del Dlgs. 152/06.

Prova a gradini con portata costante

Per la verifica del raggio di influenza della trincea pilota si realizzeranno preliminarmente n.3 gradini di portata costante di iniezione d'acqua. Le portate preliminari individuate (portate che potranno essere soggette a variazioni in corso d'opera in funzione delle risposte che si otterranno alle varie iniezioni) sono: 3,0 – 5,0 – 7,0 m³/h.

All'interno del piezometro PZSF1 sarà installato un datalogger per la misurazione in continuo del livello di falda, un altro datalogger sarà installato nel piezometro PZ16 per effettuare i rilievi del livello di falda in condizioni indisturbate (assenza di influenze indotte dal SF) e per la verifica della variazione naturale del livello di falda per i successivi confronti.

Il test inizierà con l'immissione d'acqua in trincea alla portata costante individuata del primo gradino a 3,0 m³/h e proseguirà per almeno 24 ore consecutive per dare modo al sistema di stabilizzarsi ed equilibrarsi.

Passate le 24 ore dall'inizio dell'immissione d'acqua si procederà con la verifica dei livelli d'acqua presenti all'interno dei punti di monitoraggio SF1÷SF6.

Nell'arco della giornata lavorativa e con cadenza oraria si procederà alla lettura del livello di soggiacenza dell'acqua da ogni punto di monitoraggio. Il giorno successivo si procederà ad effettuare il secondo gradino di portata costante a 5,0 m³/h (tra un gradino e l'altro non sarà interrotta l'immissione d'acqua) e contestualmente alla variazione della portata si verificheranno i livelli d'acqua nei punti di monitoraggio e piezometro, le letture proseguiranno ogni ora per almeno 8 ore. Il giorno successivo si incrementerà la portata a 7 m³/h ripetendo le misurazioni nei punti di monitoraggio. In funzione dell'esito delle prove effettuate con i vari gradini di portata costante potrà essere valutata la realizzazione di ulteriori gradini a portata maggiore e/o testare la massima portata d'acqua che la trincea può ricevere in relazione agli effetti indotti nei punti di monitoraggio.

Dalla lettura della soggiacenza dell'acqua all'interno dei punti di monitoraggio posti a differenti distanze dalla trincea potrà essere determinato, a date portate, il raggio di influenza della trincea stessa. I dati ottenuti saranno quindi utilizzati per il dimensionamento dell'impianto di SF, per definire il numero di trincee da realizzare, per individuare le portate d'acqua da iniettare e per definire le sequenze di cicli di iniezione.

Una volta individuata la miglior portata di immissione in relazione al raggio di influenza ottenuto e alla portata di infiltrazione della trincea si realizzerà un test di lunga durata.

Prova di lunga durata

Il test di lunga durata avrà lo scopo di fornire informazioni sugli aspetti derivanti dall'immissione d'acqua in trincea e monitorare gli effetti indotti sulla qualità delle acque di falda per un dato periodo di tempo; questo test durerà almeno 30 gg.

Durante l'effettuazione del test si procederà con l'immettere acqua H24 nella trincea alla portata individuata; con cadenza giornaliera per la prima settimana e successivamente con cadenza settimanale, si verificheranno i livelli d'acqua all'interno dei punti di monitoraggio SF1÷SF6 e i livelli di soggiacenza della falda nei piezometri PZSF1, PZ2 e PZ16 (i piezometri PZSF e PZ16 saranno dotati di datalogger per la registrazione in continuo del livello di falda).

Preliminarmente all'avvio della prova di lunga durata saranno prelevati dei campioni di acqua quale *base line* dal PZ2 e dal PZSF1, campioni che saranno sottoposti alla determinazione analitica dei seguenti parametri: Idrocarburi totali come n-esano, BTEX e MtBE.

Successivamente all'avvio del test si procederà al prelievo ed analisi di un campione d'acqua dai succitati piezometri con cadenza settimanale (1° campione a distanza di una settimana dall'avvio del test, 2° campione a distanza di 2 settimane d'avvio del test e così via) per un totale di 4 settimane.

Oltre al prelievo ed analisi dei campioni, alle misure di soggiacenza della falda e dell'acqua all'interno dei punti di monitoraggio si controlleranno e registreranno con cadenza giornaliera, per la prima settimana e settimanale per quelle successive, i parametri di processo relativi all'iniezione d'acqua, quali: portata di immissione e pressione di immissione registrata in testa alla trincea mediante l'apposito manometro.

7.3.5 Test pilota di SF con iniezione surfactanti

Per velocizzare i processi di trattamenti della contaminazione presente in fase adsorbita al suolo insaturo/saturo, si propone l'iniezione ciclica di surfactanti nel sottosuolo associata alla reimmissione d'acqua tramite SF.

La tecnologia in esame si avvale di svariate tipologie di surfactanti reperibili sul mercato, con formulazioni specifiche per il trattamento selettivo dei diversi composti petroliferi. Il tipo di surfactanti proposto nel presente progetto di bonifica non presenta alcun elemento di tossicità per l'ambiente e per l'uomo, è completamente biodegradabile, non genera sottoprodotti e non persiste nell'ambiente dopo l'applicazione.

La tecnologia proposta, è già stata utilizzata con successo in vari siti contaminati in Italia nel Nord America ed in Europa ed è in grado di incrementare il recupero di contaminanti rispetto alla sola azione indotta da un generico impianto di pompaggio di acqua dal sottosuolo. Infatti, il 95% dei contaminanti organici, inclusi benzine e gasoli, si presentano nel sottosuolo insaturo e/o saturo in forma assorbita/adsorbita al terreno, con conseguente ridotta mobilità e bassa solubilità in acqua. Tale fenomeno costituisce il principale fattore limitante all'efficacia delle tecnologie di trattamento in-situ, ivi compreso il Pump&Treat.

La particolare formulazione dei surfactanti favorisce i processi di desorbimento dei composti inquinanti, aumentandone significativamente la mobilità ed incrementando la "disponibilità" degli stessi ad essere recuperati dai sistemi di pompaggio presenti.

La finalità ultima dei surfactanti è quella di favorire il desorbimento dei contaminati dalla matrice suolo, rendendoli più “*idraulicamente disponibili*” per l’estrazione dal sottosuolo mediante pompaggio, più “*biologicamente disponibili*” per la biodegradazione da parte dei batteri e più “*chimicamente disponibili*” per eventuali trattamenti ossidativi.

Quando gli inquinanti sono presenti sia in fase disciolta in falda che in fase adsorbita al suolo saturo, la sola azione di pompaggio e trattamento delle acque non è efficace sulla frazione aggregata alla superficie dei grani di terreno, a causa delle caratteristiche idrofobiche dei composti idrocarburici, che ne riducono la solubilità in acqua.

Con l’iniezione di surfactanti, che sono costituiti da un gruppo idrofobico e da uno idrofilico, si verificano le reazioni di seguito descritte:

- la parte idrofoba del surfactante instaura un legame molecolare con i contaminanti adsorbiti al suolo, contemporaneamente, la parte idrofilica viene attratta dalle molecole dell’acqua sotterranea;
- tali forze opposte tendono ad allontanare i contaminanti dalla matrice suolo per trasferirli alla fase liquida;
- una volta sospesi in acqua, gli inquinanti risultano più “*idraulicamente disponibili*” per l’estrazione dal sottosuolo mediante pompaggio e più “*biologicamente disponibili*” per la biodegradazione;
- la tensione superficiale dell’acqua si abbassa da 72×10^{-5} N/M a meno di 30×10^{-5} N/M, incrementando la permeabilità all’acqua dei suoli.

L’azione combinata di surfactanti e Pump&Treat massimizza l’azione di mobilizzazione e recupero della contaminazione dal suolo saturo e dalle acque sotterranee.

A livello progettuale è stato individuato il prodotto denominato Ivey-sol[®] ed in particolare sono state scelte due formulazioni specifiche da applicare al caso in oggetto:

- Ivey-sol[®] 103;
- Ivey-sol[®] 106.

In Allegato B sono riportate le schede di sicurezza dei due prodotti. I due prodotti agiscono in modo differenziato in funzione del prodotto idrocarburico sul quale agire, uno è specifico per il trattamento della contaminazione originata da benzine (103) mentre l’altro per contaminazioni dovute a gasolio (106).

Modalità d’esecuzione del test pilota

Il test pilota per l’utilizzo dei surfactanti sarà effettuato al termine del test pilota di lunga durata del SF e descritto nei paragrafi precedenti. Terminato il test di lunga durata la reimmissione d’acqua in trincea proseguirà senza interruzione simulando quindi l’eventuale funzionamento a full scale dell’impianto di SF. In prossimità della trincea si preparerà una miscela di acqua e surfactanti all’interno di un serbatoio della capienza di ~5.000 litri (o più bulk da 1.000 litri), la miscela sarà costituita per 1:25 (4,0 %) di surfactante ed il resto di acqua. Come surfactante sarà utilizzato un *blend* di surfactanti costituito dal 50% di Ivey-sol[®] 103 ed il restante 50% di Ivey-sol[®] 106. Saranno necessari quindi 100 litri di Ivey-sol[®] 103 e 100 litri di Ivey-sol[®] 106 da diluire in ~5000 litri d’acqua. Una volta miscelati correttamente e a miscela pronta si procederà ad iniettarla mediante apposita pompa attraverso la tubazione di mandata dell’acqua di iniezione in trincea. Durante l’iniezione della miscela sarà sospesa l’iniezione di altra acqua.

L'iniezione avverrà alla portata limitata di 2 – 3 m³/h. Al termine dell'iniezione di tutta la miscela (~5.000 litri) si riattiverà l'iniezione di sola acqua.

Successivamente all'iniezione della miscela di surfactanti si procederà alla verifica diretta dell'arrivo della miscela in falda ed in particolare presso i piezometri/pozzi di monitoraggio (PZSF1 e PZ2) si preleverà un campione d'acqua con le seguenti cadenze: 4 ore, 8 ore, 24 ore e 48. Questi campioni serviranno per valutare in tempo reale lo stato della tensione superficiale dell'acqua mediante analisi visiva diretta; infatti in condizioni normali una goccia d'acqua posizionata su un vetrino (tipo quello da microscopio) mostrerà la formazione di un menisco convesso, mentre a seguito dell'iniezione dei surfactanti l'acqua diminuirà la propria tensione superficiale mostrando, se disposta sul vetrino, l'assenza di qualsiasi convessità, la goccia d'acqua diventa piatta. Questa semplice prova di campo indicherà in modo immediato la presenza del surfactante nell'acqua di falda monitorata.

Una volta accertata, mediante le verifiche speditive di campo sopra descritte, l'arrivo del surfactante nei piezometri di monitoraggio, si provvederà ad effettuare il consueto rilievo dei fluidi ed il campionamento delle acque sotterranee (in assenza di prodotto libero in galleggiamento) dai pozzi/piezometri PZSF1 e PZ2 da sottoporre ad analisi chimica per la determinazione di: Idrocarburi totali come n-esano, BTEX e MtBE.

Il test proseguirà con l'iniezione di sola acqua per una durata complessiva di 15 gg consecutivi, dove con cadenza settimanale saranno prelevati i campioni d'acqua sotterranea sempre dai piezometri/pozzi PZSF1 e PZ2.

Terminato il test e quindi sospesa l'iniezione d'acqua, si procederà con cadenza settimanale e per le 4 settimane successive, al prelievo di campioni d'acqua sempre da PZSF1 e PZ2 su cui ricercare: Idrocarburi totali come n-esano, BTEX e MtBE.

Frequenze di campionamento, parametri da ricercare e modalità di campionamento potranno essere modificate in funzione delle evidenze di campo ed in base agli esiti dei monitoraggi.

Dalla successiva analisi dei dati si potrà definire l'efficacia ed efficienza dell'utilizzo di surfactanti in abbinamento con il SF ed eventualmente definire e/o stimare il numero di cicli di iniezioni da attuare ed utili al raggiungimento degli obiettivi di bonifica.

7.3.6 Bioventing

Alcune aree con CRS>CSR non saranno oggetto di intervento mediante SF, perché non risulta possibile ampliare oltre quanto già previsto l'eventuale area interessata dalla posa delle trincee di immissione; inoltre, le tempistiche di intervento sarebbero eccessivamente lunghe in considerazione dei volumi di terreno da trattare in rapporto ai volumi d'acqua da reimmettere. Per questo motivo in alcune aree ben definite si interverrà con la tecnologia di bonifica mediante Bioventing (BV).

Si è preferito prediligere la tecnologia del BV in luogo del Soil Vapour Extration (SVE) in quanto, oltre alle favorevoli caratteristiche della contaminazione residua e alle condizioni litologiche locali che ne permettono in pieno la sua applicazione, il BV è una tecnologia molto più sostenibile rispetto allo SVE; infatti l'applicazione del BV permetterà di evitare l'utilizzo dei carboni attivi per il trattamento dei vapori che caratterizzano lo SVE e la formazione di acque di condensa, con conseguente assenza di produzione di rifiuti, loro trasporto e smaltimento e trasporto di nuova materia prima (carboni attivi) con evidenti vantaggi ambientali.

L'areale di contaminazione che sarà oggetto di bonifica è quello individuato dai poligoni di Thyssen relativi ai punti BH3 e BH4 riportati in Tavola 04; la superficie complessiva è di **172 m²** (77 m² per il BH3 e 95 m² per il BH4), mentre il volume potenzialmente interessato dalla contaminazione è di **~80 m³** per l'areale del BH3 e di **~150 m³** per quello di BH4 (si considerino i deversi spessori di terreno contaminato in relazione ai diversi punti indagati).

In considerazione delle caratteristiche chimico – fisiche dei contaminanti rinvenuti nei due areali sopracitati poste in relazione alla litologia locale, si ritiene che un intervento mediante BV possa permettere il raggiungimento degli obiettivi di bonifica.

L'immissione d'aria del terreno determinerà un rapido incremento della concentrazione di ossigeno portandolo, nell'intorno della lancia, a valori prossimi a quelli di saturazione (20,9 %) rendendo l'ambiente favorevole alla biodegradazione degli idrocarburi. Poiché ci troviamo in un sito contraddistinto da un sottosuolo che ha una litologia molto grossolana (ghiaia in matrice sabbiosa) la permeabilità all'aria del terreno risulta essere molto elevata, pertanto, il raggio di influenza (ROI) che rappresenta la distanza massima dalla lancia di immissione in cui si riesce ad indurre una concentrazione in volume dell'ossigeno non inferiore al 5% può essere stimata nel nostro caso superiore agli 8 – 10 metri: più che sufficiente per il trattamento del terreno degli areali in oggetto.

Poiché i punti in oggetto (BH3 e BH4) determinano degli areali di limitata estensione si ritiene che n.4 punti di iniezione siano sufficienti per raggiungere il raggiungimento degli obiettivi di bonifica. In ogni caso preliminarmente l'esecuzione della bonifica *fullscale* sarà predisposto un test pilota di campo per verificare nel dettaglio il raggio d'influenza, le portate d'aria da iniettare e la biodegradabilità dei contaminanti. Si rimanda al paragrafo successivo per tutti i dettagli del caso.

Terminati i test pilota di BV ed i relativi test respirometrici potrà essere dimensionato correttamente l'impianto definitivo di bonifica e definite le tempistiche di bonifica.

Al fine di ottimizzare le scelte in funzione di dati più aggiornati e circoscritti all'area di intervento in funzione dell'esito delle indagini integrative di dettaglio da realizzarsi presso il sito, la procedura per la realizzazione dei test di campo e l'ubicazione del campo prova potrà essere rivista, integrata e/o modificata.

7.3.7 Test pilota Bioventing

Sebbene la tecnologia di bonifica individuata sia ormai assodata e di uso comune nel campo della bonifica del sottosuolo insaturo, per poter calibrare al meglio l'intervento e renderlo più efficace si rende necessario predisporre un test pilota di campo.

Il test pilota di campo sarà realizzato nell'area Effrazione in corrispondenza del punto BH4, punto che presentava i valori massimi di concentrazioni di idrocarburi C>12 e C<12 pari rispettivamente a 1.690 mg/kg e 117 mg/kg e 2,5 mg/kg quale sommatoria degli organici aromatici. Le analisi di speciazione hanno mostrato la distribuzione delle classi delle catene idrocarburiche riportate in tabella 7.5.

TABELLA 7.5. ANALISI DI SPECIAZIONE

CAMPIONE	ALIFATICI C5-C8	ALIFATICI C9-C12	ALIFATICI C13-C18	ALIFATICI C19-C36	AROMATICI C9-C10	AROMATICI C11-C12	AROMATICI C13-C22
BH4 (3,5-4,5 m)	1,3	13,7	850	830	100	10	<1
BH3 (2-3 m)	1	6	385	640	37	5	<1

La speciazione mostra la presenza di catene idrocarburiche facilmente biodegradabili dall'azione dei batteri aerobici; anche la catena C19 – C36, generalmente la più ostica ad essere biodegradata, potrà essere, almeno in parte, trattata se saranno fornite le giuste condizioni al contorno (corrette concentrazioni di ossigeno che favoriscano la crescita delle colonie batteriche idonee all'abbattimento della sopracitata catena).

In considerazione delle concentrazioni rilevate nei punti in oggetto e degli obiettivi di bonifica individuati, in tabella 7.6 si riportano le percentuali di abbattimento della contaminazione relativa al parametro C>12 per raggiungerne la conformità.

TABELLA 7.6. PERCENTUALI DI ABBATTIMENTO CONTAMINAZIONE PER OTTENERE IL RAGGIUNGIMENTO DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA

PUNTO	C>12 INIZIALE MG/KG	CSR MG/KG	PERCENTUALE DI ABBATTIMENTO NECESSARIA
BH3 (2-3 m)	1.030	936,91	~ 9 %
BH4 (3,5-4,5 m)	1.690		~ 45 %

La litologia locale è estremamente favorevole all'applicazione della tecnologia di bonifica presa in esame in quanto la ghiaia in matrice sabbiosa che costituisce il materiale da trattare è estremamente permeabile all'aria garantendo un raggio di influenza significativo e la diffusione dell'aria in modo uniforme all'interno del mezzo.

7.3.8 *Campo test pilota BV*

Il campo prova per l'esecuzione del test pilota sorgerà nell'intorno dei punti BH4 e BH3. In particolare in perfetta corrispondenza del punto di indagine BH4 si realizzerà la lancia di immissione dell'aria che sarà denominata BV1; la lancia sarà realizzata mediante l'esecuzione di un carotaggio continuo che raggiungerà la profondità di – 5,0 m rispetto al p.c., il foro sarà poi allestito con una tubazione in pvc del diametro di 4" di cui il primo metro sarà costituito da un tratto cieco di tubazione mentre i restanti 4 metri da una tubazione microfessurata (con dimensione delle fessure pari a circa 0,2 mm). Attorno alla tubazione microfessurata sarà realizzato un dreno in ghiaietto siliceo di ~5,0 mm di diametro, mentre l'intorno del primo metro di tubazione cieca sarà sigillato con una miscela di cemento e bentonite. La tubazione fuoriuscirà dal terreno (e quindi dal piano campagna locale) di 0,5 metri. La testa della lancia sarà attrezzata con un'apposita flangia in pvc o abs dotata o-ring per garantire la tenuta all'aria e dotata di apposita filettatura per l'innesto della tubazione di mandata dell'aria.

Oltre alla lancia di immissione saranno realizzati dei punti di monitoraggio che serviranno per la verifica del funzionamento del BV, per il calcolo del ROI (raggio di influenza) e per l'esecuzione di test respirometrici. Saranno pertanto realizzati n.4 punti di monitoraggio disposti a distanze progressivamente più elevate nell'intorno della lancia BV1, in particolare saranno ubicati all'interno dei Thyssen individuati dal BH4 e BH3. I punti di monitoraggio saranno ubicati come riportato in Tavola 9B: il punto M1 sarà posto a 3 metri dalla lancia BV1, il punto M2 sarà ubicato a 6,0 metri dal BV1, il punto M3 sarà posto a 9,0 metri da BV1 ed infine il punto M4 sarà situato a 12 m da BV1.

Sarà inoltre realizzato un quinto punto di monitoraggio (denominato M-Umidità ed ubicato come riportato in Tavola 9B) per il monitoraggio della variazione dell'umidità del terreno. Una volta realizzata una perforazione a carotaggio continuo che raggiunga la profondità di – 3 m da p.c. si installeranno n.2 sensori elettrici di tipo capacitivo per la determinazione del valore di umidità del terreno, uno sarà installato alla profondità di – 3,0 m e l'altro a – 1,5 m da p.c. I sensori saranno dotati di cavo interrabile che li colleghi alla superficie ed ai quali sarà collegato lo strumento portatile di lettura; i terminali dei cavi saranno ospitati all'interno di un pozzetto fuori terra. Una volta installato il primo sensore si procederà al riempimento del foro avendo cura di riutilizzare il terreno estratto durante il carotaggio rispettandone il profilo stratigrafico. La verifica ed il monitoraggio di eventuali variazioni dell'umidità del terreno durante l'areazione con tramite il BV è di fondamentale importanza, in quanto il giusto contenuto d'acqua nel terreno è una delle condizioni necessarie ed essenziali per garantire l'attivazione e l'efficacia dei processi di biodegradazione.

In linea generale ogni punto di monitoraggio M1÷M4 sarà costituito da una tubazione in PVC del diametro massimo di 2,5 cm (1") e sarà dotato di un tratto di tubo micro fessurato posto in corrispondenza della porzione insatura del sottosuolo posto alla profondità compresa tra – 3 e – 4 m da p.c. Ogni pozzo di monitoraggio sarà dotato in superficie di apposito connettore per il collegamento delle strumentazioni di campo.

I punti di monitoraggio M1÷M4 saranno dotati in fase di installazione di una termocoppia fissata in corrispondenza dei – 3 m da p.c.; la termocoppia (per punto di monitoraggio) sarà mantenuta alla distanza di almeno 5 cm dal tubo in pvc mediante l'utilizzo di un distanziatore. Il foro di perforazione una volta allestito con la tubazione in pvc sarà colmato con ghiaia fine calibrata fino a – 1 metro da p.c. mentre la parte sommitale sarà colmata con

miscela di cemento e bentonite.

Durante la realizzazione dei sondaggi a carotaggio continuo da realizzarsi per l'esecuzione di BV1, M1, M2, M3 e M4, si preleveranno dei campioni di terreno ad ogni metro di avanzamento (ad esclusione del primo metro) quindi un totale di n.3 a punto di perforazione. Sui campioni prelevati saranno ricercati i seguenti parametri:

- C>12
- C<12;
- BTEX;
- MtBE;
- Speciazione MADEP;
- Conta batterica totale;
- pH;
- umidità;
- rapporto C:N:K.

Le determinazioni analitiche permetteranno di definire una nuova *baseline* di partenza nonché delimitare con maggior precisione l'estensione e distribuzione della contaminazione e quindi eventualmente ridefinire nel dettaglio la progettazione dell'intervento di BV *fullscale*.

7.3.9 Attrezzatura da utilizzarsi per il test pilota

Per la realizzazione del test pilota si utilizzerà una soffiante a canale laterale in grado di generare da 10 a 50 m³/h d'aria alla pressione, misurata alla bocca di mandata, di 150 – 220 mbar. Al fine di poter regolare le portate di immissione si doterà la soffiante di un quadro elettrico dotato di inverter in grado di modificare il numero dei giri del motore elettrico e conseguentemente portata e pressione. La soffiante sarà collegata alla testa pozzo della lancia BV1 mediante apposita tubazione di diametro identico alla bocca di mandata. Al fine di limitare le perdite di carico la distanza soffiante-testa pozzo dovrà essere inferiore ai 5 metri e la tubazione non dovrà presentare curve e/o strozzature. Sulla tubazione di mandata sarà apposto un flussimetro con campo di misura 10 – 60 m³/h, un manometro con campo di misura 0 – 500 mbar ed una termocoppia per la registrazione della temperatura dell'aria. La soffiante individuata per l'esecuzione del test di campo dovrà garantire che le temperature dell'aria di immissione non superino alla bocca di mandata i 35 °C; in caso contrario, ed in funzione del periodo dell'anno in cui sarà effettuato il test (l'incremento della temperatura dell'aria dovuta al lavoro della soffiante è anche funzione della temperatura dell'aria ambientale), dovrà essere valutato l'utilizzo di un sistema di idoneo raffreddamento della temperatura dell'aria in uscita alla soffiante.

Sulla testa pozzo situata sulla lancia di immissione BV1 troverà posto un manometro per la misurazione della pressione con campo di misura 0 – 250 mbar.

Ogni punto di monitoraggio M1÷M4 sarà dotato sulla testa pozzo di un punto di presa ad innesto rapido al fine di poter inserire le tubazioni, generalmente in rilsan/teflon, della strumentazione di monitoraggio: manometro digitale, PID, gas analyser ecc. I parametri che dovranno essere determinati durante il test pilota sono quelli riportati in tabella 7.7.

TABELLA 7.7. PARAMETRI DA DETERMINARE

PARAMETRO	U.M.
Temperatura dell'aria	°C
Pressione dell'aria	mbar
VOC (composti organici volatili)	ppm
Ossigeno	% in volume
anidride carbonica	% in volume
metano	% in volume

7.3.10 Esecuzione del test pilota

Ai fini della valutazione del ROI e del tasso di consumo di ossigeno saranno eseguiti una serie di test. Preliminarmente l'esecuzione di qualsiasi test sarà effettuato un monitoraggio di *baseline* da tutti i punti M1÷M4 e BV1 mediante l'acquisizione dei parametri riportati in tabella 7.7.

Successivamente si realizzeranno delle prove a gradini di portata costante, la portata da utilizzarsi per i tre gradini sarà 15 m³/h, 30 m³/h e 50 m³/h. Durante la realizzazione di ogni gradino saranno misurati tutti i parametri sopra riportati. Ogni gradino avrà una durata di almeno 2 ore. Terminata la prova si continuerà ad immettere aria fino a che la concentrazione di ossigeno nei punti M1, M2 e M3 abbia raggiunto valori di saturazione (20,9 % in volume); nel caso tali valori fossero già stati raggiunti in precedenza si potrà interrompere l'immissione d'aria al termine della prova a gradini. Terminata la fase di immissione d'aria si procederà con la realizzazione del test respirometrico da ogni punto di monitoraggio e da BV1.

Individuata la portata d'aria ottimale al fine di ottenere un ROI compreso tra 8 – 10 metri si procederà ad eseguire una prova di lunga durata. La prova consisterà nell'immettere aria alla portata individuata per una settimana continuativa all'interno della quale saranno tenuti sotto controllo, con cadenza giornaliera, i parametri di tabella 7.7 e l'umidità del sensore di M-umidità. Conclusa la prova si effettuerà un test respirometrico.

L'analisi dei dati definirà l'effettivo ROI ottenuto in funzione della portata utilizzata, l'andamento della variazione delle concentrazioni dei parametri di riferimento e valutare la portata ottimale per raggiungere il migliore rapporto costi/benefici. I test respirometrici definiranno invece il tasso di biodegradazione e quindi determineranno la stima dei tempi della bonifica.

Gli esiti del test pilota effettuato presso l'area effrazione saranno utilizzati anche per il dimensionamento dell'impianto di BV da realizzarsi presso l'area Monte Risorgive zona PZ7 e PZ14 e per l'area del PZ24 dell'area bosco risorgive.

7.3.11 Esecuzione test respirometrico

Il test respirometrico servirà per la determinazione del tasso di consumo di ossigeno esercitato dall'attività aerobica di degradazione dei batteri presenti nel terreno.

Operativamente la prova respirometrica, come descritta nel manuale *“Procedures for Conducting Bioventing pilot test and long-term Monitoring of Bioventing System”* US Air Force, maggio 2004, si svolgerà come segue:

- misura delle concentrazioni iniziali di ossigeno e anidride carbonica nei punti di monitoraggio prima dell'accensione dell'impianto;
- iniezione di aria atmosferica nelle lance d'immissione in modo da permettere, nell'arco di 12/24 ore di portare il livello di ossigenazione nel terreno insaturo a valori non inferiori a 15/16%;
- l'iniezione di aria sarà interrotta una volta raggiunta l'ossigenazione del sottosuolo (misurazione dell'ossigeno dai punti di monitoraggio), dopodiché si avvieranno le misure dei parametri respirometrici sui punti di monitoraggio. Queste misure saranno eseguite ad intervalli di tempo regolari molto ravvicinati, indicativamente ogni 20 – 30 minuti nelle prime ore, e via via più dilazionati nel tempo. Il test si considererà concluso una volta che la concentrazione dell'ossigeno sarà scesa al di sotto del 5 %.

Per i vari punti di monitoraggio interessati dal test respirometrico, saranno quindi valutati i tassi K_O , espressi in %/giorno, approssimando con una retta di regressione lineare l'andamento sperimentale iniziale.

Il processo naturale può essere visualizzato attraverso una reazione chimica semplificata, nella quale compaiono come prodotti solo anidride carbonica e acqua e in cui l'ossigeno risulta l'unico “accettore” elettronico. A seconda della tipologia di contaminati presenti si stima la quantità di ossigeno richiesta per ogni mole d'idrocarburo adsorbito al terreno attraverso l'equazione di bilancio relativa alla degradazione degli idrocarburi considerando, quale contaminante per il bilancio, quello che rappresenta un valore mediano nella miscela d'idrocarburi presenti nel terreno.

La stessa equazione può essere viceversa utilizzata per valutare la quantità di tale idrocarburo consumata nel terreno dal processo di biodegradazione sulla base dei risultati delle prove respirometriche. Calcolando successivamente il peso molecolare del composto utilizzato è possibile calcolare il rapporto di massa stechiometrico tra idrocarburo e ossigeno richiesto per la sua mineralizzazione.

Tale rapporto di massa, unito al tasso di utilizzo dell'ossigeno nel terreno k_O , permette di calcolare il tasso di biodegradazione (k_B) delle sostanze contaminanti. Il tasso di biodegradazione, in termini di mg d'idrocarburo equivalente per kg di terreno al giorno, è stato stimato usando l'equazione seguente (EPA, Bioventing Principles and Practice, 1995 Manual):

$$-k_B = \frac{-\frac{k_O}{100} \theta_a \frac{1L}{1,000cm^3} \rho_{O_2} \cdot C}{\rho_a \left(\frac{1Kg}{1,000g} \right)} = \frac{-k_O \cdot \theta_a \cdot \rho_{O_2} \cdot C(0,01)}{\rho_a}$$

dove:

k_B = tasso di biodegradazione (mg/Kg/giorno)

k_O = tasso di utilizzo dell'ossigeno (%/giorno)

θ_a = volume dei pori occupato dai gas (contenuto volumetrico della fase vapore, cm³ di gas/cm³ di suolo)

ρ_{O_2} = densità dell'ossigeno (mg/l)

C = rapporto tra massa d'idrocarburi e ossigeno richiesto per la mineralizzazione (1:3,5)

ρ_a = massa volumica apparente (g di suolo secco/cm³)

Con tali dati è possibile effettuare una stima del tempo necessario per lo sviluppo completo dell'azione di bonifica, utilizzando la seguente formula:

$$T = \frac{\overline{C}_{iniz}}{k_B}$$

Dove:

C = concentrazione media iniziale [mg/kg] degli idrocarburi petroliferi;

k_b = tasso di consumo del contaminante [mg/(kg giorno)];

T = tempo di bonifica [giorni].

8 PROGETTO DI BONIFICA AREA MONTE RISORGIVE

L'area definita "monte risorgive" dovrà essere sottoposta ad attività di bonifica per la matrice ambientale sottosuolo ed in particolare per il terreno insaturo profondo [poligoni di Thiessen sottesi da PZ7 e PZ14].

Per il raggiungimento degli obiettivi di bonifica sono stati individuati gli interventi indicati nella seguente tabella 8.1, ove vengono indicati anche i presidi di messa in sicurezza che rimarranno attivi.

TABELLA 8.1. INTERVENTI DI BONIFICA / MISE PROPOSTI.

MATRICE AMBIENTALE	TECNOLOGIA DI BONIFICA INDIVIDUATA
Sottosuolo (sorgente 2P insaturo profondo)	Bioventing
MATRICE AMBIENTALE	SISTEMA DI MISE
Acque sotterranee	P&T

Al fine di poter dimensionare correttamente gli interventi di bonifica, nonché confermare l'applicabilità delle tecnologie di bonifica individuate, preliminarmente a qualsiasi attività, sarà eseguita un'indagine di dettaglio per definire e circoscrivere l'estensione della contaminazione nella porzione insatura e satura delle aree sottese dai poligoni di Thyssen afferenti ai punti PZ7, PZ14 e PZ24, estremamente cautelative in termini di dimensione areale (rispettivamente ~900 m², ~2.500 m² e 1.700 m²) e presentano al loro interno un solo punto di indagine. Medesima attività sarà svolta nell'intorno del PZ5, che ha evidenziato in marzo 2019 una singolarità rispetto al pregresso, con evidenze di prodotto.

In questo capitolo è stato ricompreso anche il Thyssen del PZ24, sebbene afferente all'area risorgive, per affinità di tecnologie di bonifica individuate e per la sua ubicazione che è al confine delle due aree (*monte risorgive e risorgive*).

Allo stato attuale gli ipotetici volumi di terreno contaminato (tenendo conto delle estensioni dei poligoni di Thyssen) sono riportati nella sottostante tabella; i quantitativi indicati sono in ogni caso suscettibili di variazioni in considerazione del fatto che la contaminazione è stata rinvenuta in frangia capillare al momento dell'effettuazione del campionamento, e che quindi l'oscillazione del livello di falda potrebbe determinare un incremento dello spessore di terreno contaminato.

Le indagini integrative previste ed illustrate nei successivi paragrafi dirimeranno la questione.

Tabella 8.2. INTERVENTI DI BONIFICA PROPOSTI.

Thyssen	Superficie (m ²)	Spessore contaminazione (m)	Potenziale volume di terreno in posto contaminato (m ³)
PZ7	900	1,0	900
PZ14	2.500	1,0	2.500
PZ24	1.700	1,0	1.700
Totale	5.100		5.100

Il volume di terreno contaminato complessivo, così come la superficie interessata, potrà essere aggiornato a seguito dell'esecuzione delle indagini integrative proposte al paragrafo successivo. Nei paragrafi successivi si riportano i dettagli per eseguire l'indagine sopracitata.

8.1 INDAGINE AMBIENTALE INTEGRATIVA DI DETTAGLIO

L'indagine integrativa di dettaglio sarà effettuata in parte con le stesse modalità descritte al paragrafo 7.1 e quindi mediante campagne di indagini mirate, con strumenti quali LIF e MIP, per la completa delimitazione del corpo di LNAPL, a vantaggio di una ottimizzazione dei tempi e costi di bonifica (previa verifica di applicabilità tecnica), ed in parte mediante la realizzazione di sondaggi a carotaggio continuo da attrezzare a piezometro/pozzo, ove fosse ritenuto necessario.

Le aree oggetto d'indagine sono quelle riportate in Tavola 10, la maglia di acquisizione preliminare sarà di 10x10 metri con l'ubicazione del punto di indagine posizionato, là dove possibile, nel centro della maglia. In corso d'opera potranno essere realizzati, se ritenuti necessari, ulteriori punti di indagine, ad infittimento della maglia proposta, in funzione dei risultati ottenuti e della distribuzione della contaminazione individuata. In alcuni luoghi la realizzazione delle indagini di dettaglio sarà condizionata dalla morfologia locale che potrà impedirne la realizzazione stessa (intorno del PZ24). In relazione a tale area di indagine, si valuterà la necessità di eseguire verifiche con il sistema LIF/MIP con un certo grado di inclinazione, con lo scopo di indagare l'area sulla scarpata del terrazzo.

Le macro aree di indagine sono n.5: valle effrazione, Thyssen PZ14, Thyssen PZ7, Thyssen PZ24 e zona PZ5.

Relativamente alla zona definita "valle effrazione" l'opportunità o meno di eseguire l'indagine integrativa sarà dettata dall'esito delle indagini realizzate presso la zona effrazione, descritte al paragrafo 7.1.

In alcuni punti potranno essere affiancate indagini dirette mediante la realizzazione di sondaggi a carotaggio continuo.

Al completamento dell'indagine sarà realizzata una serie di mappe di distribuzione della contaminazione a varie quote di profondità e relative sezioni verticali. In funzione della distribuzione dei contaminanti e della diffusione del prodotto libero, si potrà valutare la necessità di effettuare ulteriori indagini mediante carotaggi continui per il prelievo di campioni di terreno da sottoporre ad analisi chimica per la verifica della conformità alle CSR calcolate e per poter correttamente dimensionare l'intervento di bonifica e/o per ridefinire la migliore tecnologia da impiegare.

8.2 INTERVENTO DI BONIFICA SUOLO PROFONDO

A seguito dell'elaborazione dell'ADR ed all'individuazione delle CSR, due soli campioni di terreno mostrano il superamento delle CSR calcolate, i punti si riferiscono al PZ14 e al PZ7 e sono riportati in Tavola 11; si aggiunga inoltre il punto PZ24 relativo all'area risorgiva ma, come indicato in precedenza inserito nella zona monte risorgive. Gli areali individuati sono molto estesi a causa della mancanza di punti di indagine più ravvicinati, si consideri infatti che la contaminazione rilevata è confinata alla zona della frangia capillare o comunque alla parte più prossima alla falda: i campioni che presentano i superamenti delle CSR infatti sono il PZ7 (5,2 – 6,2 m), il PZ14 (5,0 – 6,0 m) ed il PZ24 (4,0 – 5,0 m), campioni posti in corrispondenza all'incirca della frangia capillare. La soggiacenza della falda nei piezometri in oggetto (PZ7 e PZ14) oscilla di alcuni metri e con andamento storico che è riportato nei seguenti grafici 7.5 e 7.7.

GRAFICO 7.5 – ANDAMENTO DELLA SOGGIACENZA PZ7 – PERIODO OTTOBRE 2015 – DICEMBRE 2018.

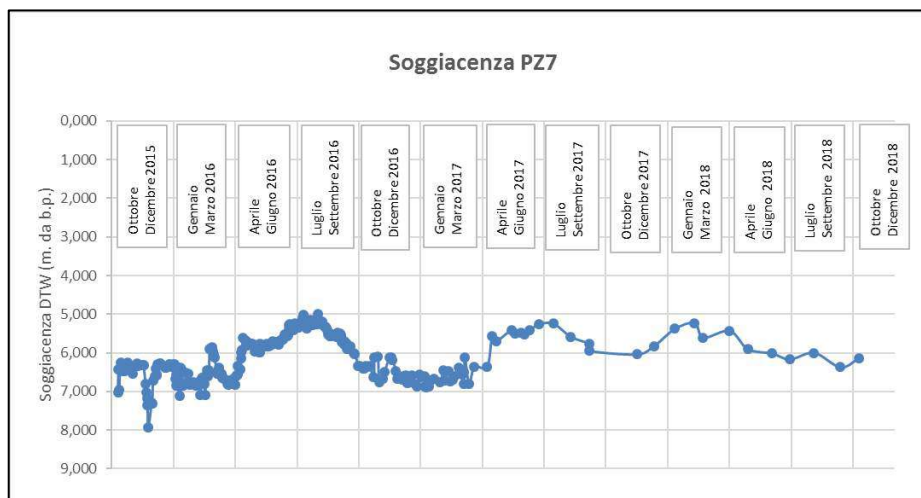


GRAFICO 7.6 – ANDAMENTO MEDIO, MASSIMO E MINIMO PZ7 – PERIODO OTTOBRE 2015 – DICEMBRE 2018.

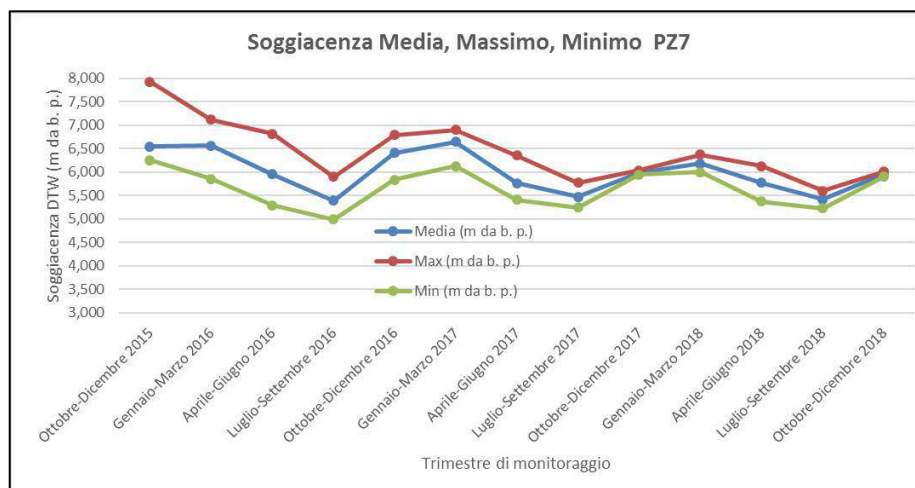


GRAFICO 7.7 – ANDAMENTO DELLA SOGGIACENZA PZ14 – PERIODO OTTOBRE 2015 – DICEMBRE 2018.

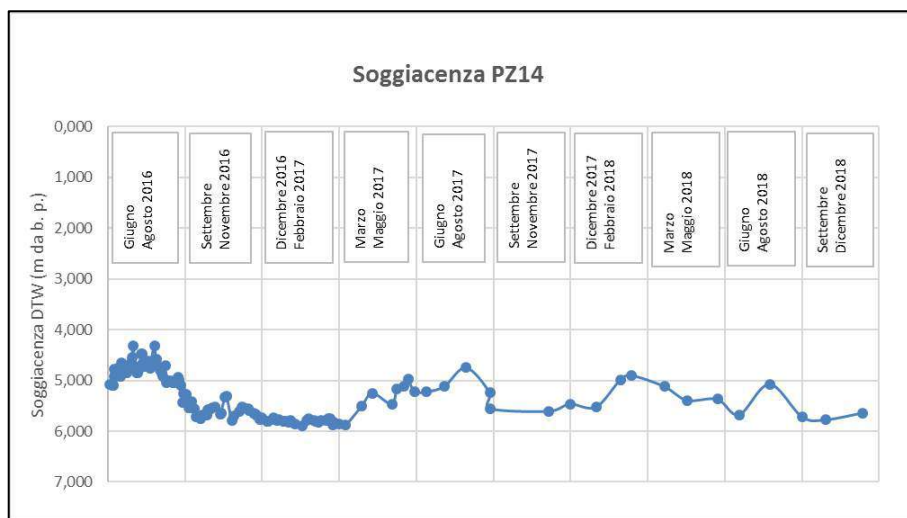
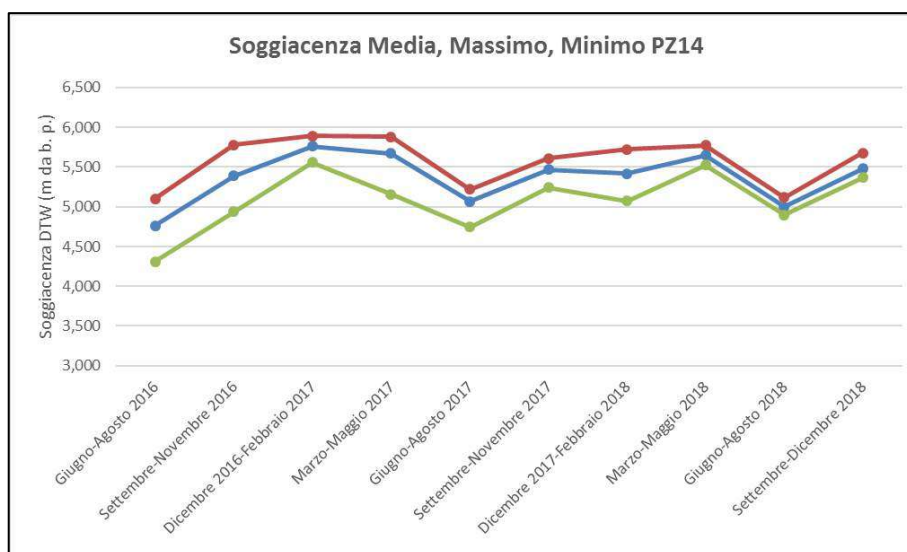


GRAFICO 7.8 – ANDAMENTO MEDIO, MASSIMO E MINIMO PZ14 – PERIODO OTTOBRE 2015 – DICEMBRE 2018.



Allo stato attuale per il raggiungimento degli obiettivi di bonifica la tecnologia individuata è il Bioventing, già selezionata per la bonifica degli areali della zona effrazione, si rimanda pertanto al paragrafo 7.2.4 per un approfondimento sulle considerazioni già espresse in merito.

Tuttavia solamente a seguito degli esiti delle indagini integrative di dettaglio che interesseranno le aree in oggetto potranno essere confermate e/o individuate definitivamente le tecnologie di bonifiche e dimensionate in modo corretto. Anche l'esito del test pilota di campo sul Bioventing che sarà effettuato presso l'area effrazione sarà dirimente sull'applicabilità della tecnologia proposta e permetterà di dimensionare in modo adeguato l'impianto di bonifica e le relative tempistiche di funzionamento.

8.3 INTERVENTO DI MISE PER LE ACQUE SOTTERRANEE

Relativamente alla matrice acque sotterranee si segnala che tutte le acque prelevate dai piezometri/pozzi presenti nell'area in oggetto sono risultate conformi da agosto 2017 a gennaio 2019, in Tabella 01 allegata si riporta l'andamento storico completo degli esiti delle varie campagne di monitoraggio.

Cautelativamente la barriera idraulica in oggetto sarà mantenuta in esercizio quale attività di MIS per tutta la durata della Fase I prevista dal presente elaborato progettuale.

Le indagini integrative proposte ed i monitoraggi chimici sulle acque sotterranee permetteranno di definire le modalità di prosecuzione.

I pozzi che resteranno attivi e che sono dotati di pompe pneumatiche risultano essere il PZ7, PZ8, PZ9, PZ10 e il PZ11.

Relativamente alla occasionale comparsa di prodotto libero registrata in marzo nel PZ5, cautelativamente si procederà alla riperforazione del piezometro PZ5, trasformandolo in un pozzo del diametro di 8", allestendolo quale pozzo *dual-pump*: la pompa pneumatica sarà infatti sostituita con idonea elettropompa sommersa e all'interno del pozzo sarà installato uno skimmer attivo pneumatico per il recupero selettivo del prodotto (l'installazione dello skimmer sarà valutata in funzione dell'effettiva presenza di prodotto libero a seguito delle verifiche dei rilievi fluidi realizzate nel periodo precedente la realizzazione dello stesso).

La portata di emungimento della pompa elettrosommersa nel PZ5 sarà fissata a 1,0 m³/h, sufficiente a formare un lieve cono di richiamo delle acque al fine di richiamare l'eventuale prodotto surnatante ed impedirne la migrazione.

Le acque emunte, a seguito dell'invio presso l'impianto di trattamento presente in sito, saranno scaricate in roggia oppure reimmesse in falda.

In base all'esito delle indagini integrative tramite LIF o MIP di cui al paragrafo 8.1., sarà valutata la necessità di realizzare n. 2 piezometri aggiuntivi, PZ25 e PZ26:

- il primo, PZ25, posto in interasse tra il PZ7 ed il PZ5;
- il secondo, PZ26, posizionato a valle idrogeologica rispetto al PZ5;

si consulti in merito la Tavola 10.

I piezometri PZ25 e PZ26, se del caso, saranno realizzati mediante perforazione a carotaggio continuo. A partire da - 4,0 metri da p.c. si procederà a prelevare un campione di terreno ad ogni metro di avanzamento, sino a raggiungere la profondità di 12,0 m da p.c.; successivamente i fori saranno attrezzati a piezometri con tubazione in PVC del diametro rispettivamente di 6" e 4".

9 PROGETTO DI BONIFICA AREA RISORGIVE

Come già anticipato nel Capitolo 8, l'area in esame dovrà essere sottoposta ad attività di bonifica per la sola matrice ambientale sottosuolo profondo, in corrispondenza dell'areale identificato dal punto di indagine denominato PZ24; inoltre, saranno attuate attività di rimozione delle evidenze (velo e/o spessori millimetrici) di prodotto in fase libera ritrovate in corrispondenza del piezometro PZ21 e presso la Sorgente Alta.

Per il raggiungimento degli obiettivi di bonifica sono stati individuati gli interventi indicati in tabella 9.1 e suddivisi in funzione delle matrici ambientali oggetto di bonifica.

Tabella 9.1. INTERVENTI DI BONIFICA PROPOSTI.

AREA DI INTERVENTO	TECNOLOGIA DI BONIFICA INDIVIDUATA/TECNOLOGIA PER RIMOZIONE PRODOTTO
Sottosuolo (sorgente 1P suolo profondo – PZ24)	Bioventing
Rimozione prodotto in PZ21/area Sorgente Alta	P&T, coadiuvato dall'azione di Fitorisamento

Nelle more dell'applicazione delle tecnologie indicate in Tabella 9.1, sarà mantenuto attivo il sistema SAMIS, quale attività di Messa in sicurezza (MIS).

9.1 INTERVENTO DI BONIFICA SUOLO PROFONDO MEDIANTE BIOVENTING

L'unico areale di contaminazione relativo al sottosuolo profondo è quello individuato dal punto PZ24 (Tavole 11A1 e 12B), con una contaminazione che può essere assimilata ad un hot spot, così come già definito nei casi analoghi relativi al PZ7, PZ14, BH4 e BH3.

Ai fini del raggiungimento degli obiettivi di bonifica è stato individuato il Bioventing quale tecnologia di bonifica, similamente agli hot spot identificati nella *Zona di Effrazione e Monte Risorgive*.

Sia in considerazione delle caratteristiche chimico – fisiche dei contaminanti rinvenuti nel succitato areale sotteso dal poligono di Thyssen del PZ24, ovvero Xilene, sia per le difficoltà logistiche caratteristiche dell'area, posta sulla scarpata del terrazzo intermedio del Ticino, si ritiene che la proposta di intervento mediante BV sia la più adatta ai fini del raggiungimento degli obiettivi di bonifica.

L'immissione d'aria del terreno determinerà un rapido incremento della concentrazione di ossigeno portandolo, nell'intorno della lancia, a valori prossimi a quelli di saturazione (20,9 %) rendendo l'ambiente favorevole alla biodegradazione degli idrocarburi. Poiché ci troviamo in un sito contraddistinto da un sottosuolo che ha una litologia grossolana (ghiaia in matrice sabbiosa) la permeabilità all'aria del terreno risulta essere molto elevata, pertanto, il raggio di influenza (ROI) che rappresenta la distanza massima dalla lancia di immissione in cui si riesce ad indurre una concentrazione in volume dell'ossigeno non inferiore al 5% può essere stimata superiore agli 8 – 10 metri: più che sufficiente per il trattamento del terreno dell'hot spot in oggetto. Tale dato dovrà essere però confermato dai risultati dei Test proposti nel presente documento. Inoltre, l'indagine proposta supporterà la progettazione per quanto riguarda l'ubicazione dei punti di iniezione aria – BV.

9.1.1.1 Stima Tempistiche e durata del trattamento

In funzione della lieve concentrazione di contaminazione presente in corrispondenza dell'hot spot PZ24, della tipologia della stessa (ovvero xileni), della litologia presente in sito e delle CSR calcolate, si può stimare che la durata del trattamento possa variare in un range compreso tra **8-12 mesi**.

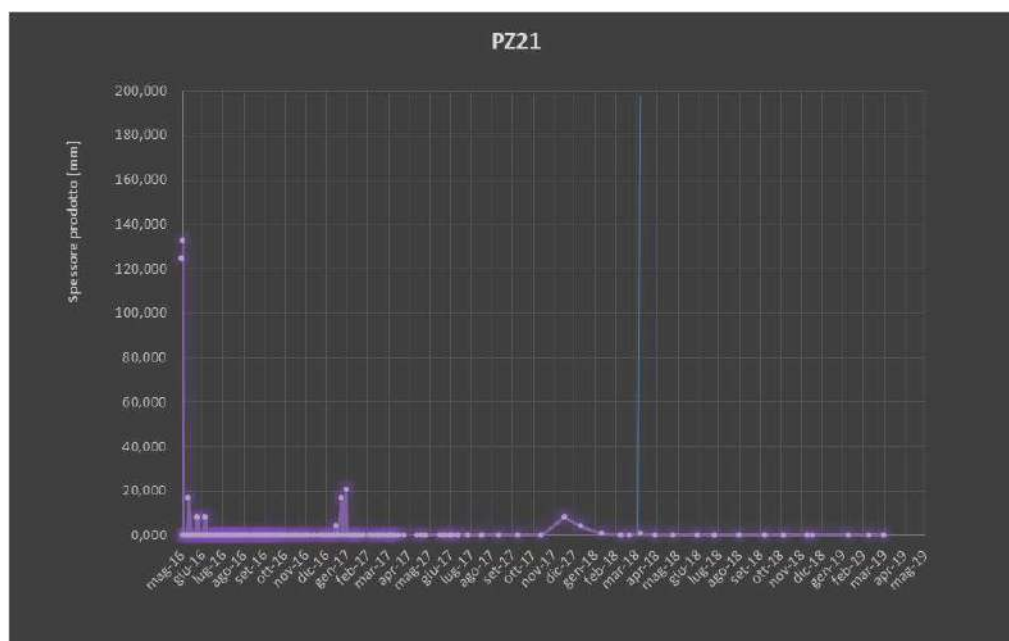
La realizzazione dei test propedeutici da realizzarsi prima dell'attivazione dell'impianto, fornirà indicazioni più precise sulla stima delle tempistiche di bonifica.

Tuttavia, in considerazione dell'escursione della falda, che nel piezometro in esame varia anche di 2 m in condizioni dinamiche, con una soggiacenza compresa in un range tra i 3,7 m da b.p. (registrato a luglio 2018) ed i 5,9 m da b.p (registrato a settembre 2018), il BV potrebbe essere poco funzionale nei mesi estivi, in cui si registra l'innalzamento del livello di falda a causa delle elevate irrigazioni che contraddistinguono l'area. Per questo motivo dai monitoraggi e test respirometrici eseguiti durante il corso della bonifica, si potrà valutare la necessità di proseguire ulteriormente il trattamento per ulteriori **6 mesi**.

9.2 RIMOZIONE DEL PRODOTTO IN PZ21

In considerazione che presso il piezometro PZ21 ubicato in *area Risorgive* saltuariamente è stato rinvenuto prodotto in fase libera, sarà mantenuto attivo l'emungimento ad oggi operato. Si noti che sin da marzo 2018, con un valore di 1 mm di spessore apparente (data in azzurro nel Figura 9.1) non si rileva la presenza di prodotto o velo in corrispondenza di PZ21.

Figura 9.1. SPESSORI PRODOTTO IN PZ21



A titolo cautelativo, in luogo della pompa pneumatica attualmente installata si installerà una pompa elettrica sommersa per incrementare la portata di emungimento che sarà innalzata a 1,0 m³/h; le acque emunte saranno rilanciate all'impianto P&T presente in area monte risorgive. La tubazione di mandata sarà mantenuta fuori terra onde evitare la realizzazione di uno scavo nella zona in oggetto e, al fine di evitare problemi di gelo durante i periodi

invernali, la tubazione sarà dotata di cavo scaldante e avvolta in materiale termoisolante. La tubazione di mandata ed il relativo cavo elettrico (che sarà inserito in apposito tubo corrugato) sarà segnalato con l'apposizione di paline identificatrici e/o picchetti di legno lungo tutto il tracciato a giorno e fino all'impianto di P&T.

Sulla linea di mandata che dalla pompa andrà all'impianto di trattamento P&T, troverà posto una valvola di non ritorno, una valvola a saracinesca, una valvola a sfera, un punto di presa per campionamento acque ed un contaltri.

9.2.1 Tempistiche e durata del trattamento

L'emungimento presso il PZ21 proseguirà per un periodo di tempo che potrà raggiungere i **12 mesi**, ovvero almeno per n. 1 ulteriore anno dall'ultimo rinvenimento di prodotto; nel caso in cui i monitoraggi periodici indicassero la risoluzione del problema del prodotto libero si valuterà pertanto la sospensione dell'emungimento.

9.3 PRESIDIO DI MESSA IN SICUREZZA MEDIANTE SAMIS

Il Sistema SAMIS, posizionato presso la Sorgente Alta, è in funzione da agosto 2017.

Esso consente il recupero del prodotto o delle iridescenze eventualmente provenienti dalla suddetta sorgente, grazie ai sensori installati in grado di riconoscere la presenza di idrocarburo.

Nel dettaglio, il sistema automatico agisce creando una azione di sbarramento mediante una paratia mobile che, in condizioni di non attività del sistema, penetra nel flusso di acqua per circa 1/4 dello spessore totale del ruscellamento, mantenendo la fenditura adibita al recupero dell'inquinante sopra il pelo dell'acqua.

In questo modo la parte superficiale del flusso acquoso viene trattenuta mentre la parte inferiore defluisce secondo il deflusso delle acque. L'azione di sbarramento consente l'accumulo di iridescenze e prodotto in galleggiamento e, quando il sensore riconosce la presenza di idrocarburo il sistema si attiva abbassando la paratia mobile fino a che la fenditura adibita al recupero dell'inquinante traguardi la quota del pelo d'acqua, in modo da consentirne il recupero dell'inquinante intercettato.

Nel caso in esame, essendo presenti solo iridescenze e veli di prodotto, le succitate operazioni comportano il recupero sia del prodotto di una quota parte di acqua che inevitabilmente confluisce nella fenditura insieme al prodotto. Allo stato attuale il refluo recuperato è rilanciato all'apposita cisterna di stoccaggio collegata al sistema e successivamente gestito come rifiuto e smaltito secondo normativa vigente.

Al fine di limitare la produzione di rifiuti, unitamente agli impatti ambientali derivanti, le acque prelevate durante le eventuali attivazioni del SAMIS saranno invece rilanciate all'impianto di P&T installato in zona monte risorgive, dotato di disoleatore.

9.3.1 *Mantenimento presidio con SAMIS*

Il sistema sopra descritto svolge un'attività di controllo estremamente importante nel caso in cui si verificasse la comparsa di idrocarburi nelle acque di risorgiva; la sua presenza permette di intervenire immediatamente ed in automatico per far fronte ad una eventuale emergenza limitando e/o impedendo la diffusione di prodotto libero e/o della contaminazione disciolta.

Si propone il mantenimento del presidio con il sistema SAMIS. La sua eventuale disinstallazione sarà valutata in funzione delle verifiche di campo condotte.

9.4 INTERVENTI COADIUVANTI LA BONIFICA: FITORISANAMENTO

L'area di effrazione e di diffusione degli idrocarburi ha un connotato prevalentemente agricolo fino al margine del terrazzo, quindi forestale lungo la dorsale per poi ritornare agricolo.

Attraverso un confronto tra le ortofoto degli anni 50 e la situazione attuale è possibile capire che la zona agricola "alta", quella ad est e al di sopra del terrazzo, è sempre stata coltivata a seminativi, negli anni 50 riso (le aree bianche), altri cereali (quelle in grigio), con qualche prato marcitoio ad ali; attualmente a frumento/orzo e mais. Ad ovest del terrazzo, e quindi dell'attuale area boscata, negli anni 50, così come ora, dominano i prati stabili. La fascia centrale, quella boschiva, ha invece subito una notevole trasformazione. Negli anni 50 vi era

una buona quota del territorio che era a prato (probabilmente gestito come una marcita o a prato jemale, a causa dell'acqua più o meno affiorante in tutta la zona). Nel corso degli anni l'area a prato è stata ridotta, a favore del bosco. L'area a prato attualmente si presenta come un incolto.

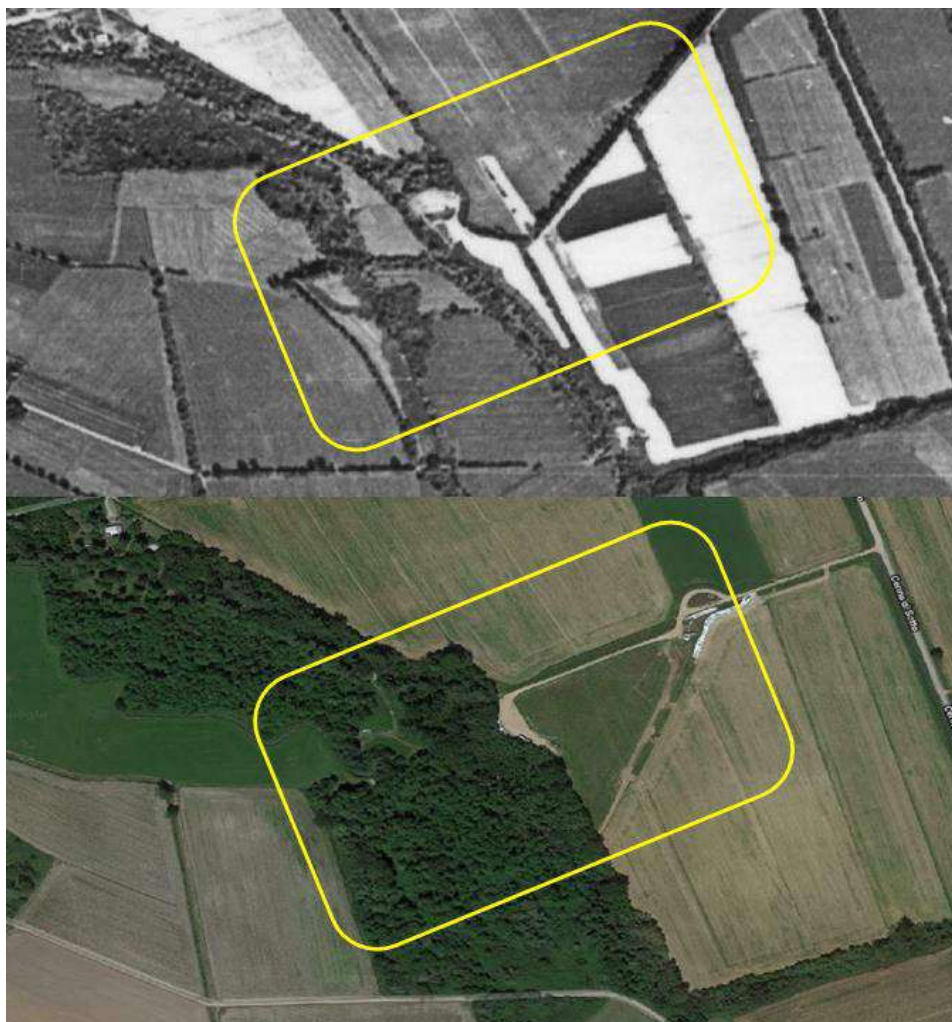


Figura 9.2a. CONFRONTO SPESSORI TRA ORTOFOTO DEL 1950 E ATTUALI (1980) SCALA 1:2.000



Figura 9.2b. CONFRONTO TRA ORTOFOTO DEL 1950 E ATTUALI (1980), SCALA 1:1.000



Figura 9.3 AREA AD INCOLTO. NEGLI ANNI 50 L'AREA ERA GESTITA A PRATO

9.4.1 Classificazione Flora delle aree dove potrà essere prevista la realizzazione delle stazioni di fitodepurazione

Nel complesso l'area del possibile intervento è suddivisibile in 3 zone omogenee dal punto di vista floristico.



Figura 9.4 SUDDIVISIONE DELL'AREA NELLE TRE ZONE FLORISTICAMENTE OMOGENEE

Figura 9.5 STAZIONE 1 – PARTE DELLA SCARPATA CARATTERIZZATA DALLA PRESENZA DI FLORA ARBOREA A CARATTERE BOSCHIVO – SORGENTE ALTA

ARBOREE	ARBUSTI
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	<i>Cornus sanguinea</i> L.
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	<i>Corylus avellana</i> L.
<i>Quercus robur</i> L.	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.
<i>Quercus rubra</i> L.	<i>Rubus</i> ssp.
pochi esemplari di <i>Prunus padus</i> L., <i>Prunus avium</i>	<i>Sambucus nigra</i> L.
pochi esemplari di pini e cedri	<i>Ulmus minor</i> Mill.
SOTTOBOSCO	RAMPICANTI
<i>Alliaria petiolata</i> (M.Bieb) Cavara & Grande	<i>Hedera helix</i> L.
<i>Carex sylvatica</i> Hudson	
<i>Comellina communis</i> L.	
<i>Lamium galeobdolon</i> (L.) L.	
<i>Parietaria officinalis</i> L.	
<i>Phytolacca decandra</i> L.	
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	
<i>Vinca minor</i> L.	

Figura 9.6 STAZIONE 2 – PARTE DELLA PIANA ALLA BASE DELLA SCARPATA DOMINATA DA INCOLTO

AROREE ARBUSTIVE	ERBE	ERBE
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	<i>Bidens frondosa</i> L.	<i>Lemna minor</i> L.
<i>Corylus avellana</i> L.	<i>Carex acutiformis</i> Ehrh	<i>Lythrum salicaria</i> L.
Populus - ibridi	<i>Carex remota</i> L.	<i>Persicaria minor</i> (Hudson) Opiz
<i>Prunus padus</i> L.	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	<i>Persicaria mitis</i> (Schrank) Assenov
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.	<i>Phalaris arundinacea</i> L.
<i>Rubus</i> ssp.	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	<i>Phytolacca decandra</i> L.
<i>Salix alba</i> L.	<i>Cyperus</i> ssp.	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin.
<i>Salix cinerea</i> L.	<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop	<i>scirpus sylvaticum</i>
	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.
	<i>Equisetum telmateia</i> Ehrh.	<i>Solidago virgaurea</i> L.
	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.	<i>Thelypteris palustris</i> Schott
	<i>Juncus</i> ssp.	<i>Urtica dioica</i> L.

Figura 9.7 STAZIONE 3 – PARTE DELLA SCARPATA CARATTERIZZATA DALLA PRESENZA DELLA SORGENTE 3 CON COPERTURA ARBOREA A CARATTERE BOSCHIVO

<u>acque sorgente 3</u>	
alghe rosse	fanerofite
<i>Hildebrandia rivularis</i> Nardo	<i>Berula erecta</i> (Huds.) Coville
<i>Batrachospermum moniliforme</i> Roth	<i>Cardamine amara</i> L.
<u>in prossimità alle acque</u>	
felci	fanerofite
<i>Athyrium filix-foemina</i> (L.) Roth	<i>Cadamine amara</i> L.
<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P. Fuchs	<i>Carex pendula</i> Huds
<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott Gen.	
<i>Osmunda regalis</i> L.	
<i>Thelypteris palustris</i> Schott	
<u>Boschi che si discostano dall'acqua</u>	
ALBERI	ERBE
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	<i>Carex sylvatica</i> Hudson
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill) Swingle	<i>Hedera helix</i> L.
<i>Prunus avium</i> L.	<i>Parietaria officinalis</i> L.
CESPUGLI	<i>Phytolacca decandra</i> L.
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill) Swingle	<i>Vinca minor</i> L.
<i>Acer campestre</i> L.	
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	

9.4.2 Proposta d'intervento con Fitorisanamento

Nel suo complesso l'intervento di Fitorimedia proposto avrà quale obiettivo principale quello di fitodepurare suoli ed acque, **coadiuvando le altre tecnologie di bonifica proposte.**

Si propone un intervento di Fitorimedia in corrispondenza delle aree di seguito descritte:

Figura 9.8 PROPOSTA DI FITORISANAMENTO

Zone floristicamente Omogenee	Tipologia area	Intervento di Fitorimedia
<i>Stazione 2</i>	<i>Area nell'intorno del PZ21 - dominata da vasto incolto, contornato da siepi di ontani</i>	<i>Piantumazione a Pioppi e Ontani</i>
<i>Stazione 1</i>	<i>Sorgente Alta - copertura arborea a carattere boschivo</i>	<i>Fitodepurazione a Phragmites australis [sistema a flusso sommerso verticale], dopo un periodo di osservazione attivazione sistema SAMIS</i>

9.4.3 Proposta di Fitorimedia in area d'incolto/PZ21 con piantumazione a pioppi ed ontani

L'area in cui viene proposta la piantumazione con pioppi e ontani (*Alnus glutinosa*) è attualmente caratterizzata dalla presenza di un vasto incolto, contornato da siepi di ontani; la stessa circonda sia l'area ove si ubica il piezometro PZ21, ritrovato occasionalmente con presenza di prodotto o velo di prodotto, sia l'area denominata Trincea, ove ricorrono i monitoraggi periodici delle acque.

L'area su cui si intende intervenire ha un'estensione di circa 8104 mq (0,8 ha).

Prima dell'incolto era presente un sistema di prati, probabilmente tipo marcita (ortofoto anni 50), dato che il livello della falda di questa zona è prossimo alla superficie, in particolar modo durante i periodi tardo primaverile ed estivo.

La presenza costante di copertura erbacea ha permesso agli orizzonti più superficiali del suolo di arricchirsi di materiale organico, favorendo la biodiversità a livello floristico e microbiologico.

Tuttavia lo strato umico-torboso è relativamente sottile e al di sotto di questo vi è ancora sabbia e ghiaia. E' probabile comunque che localmente vi siano lenti di torba o argilla mista a torba che si approfondiscono nel suolo causando deviazioni parziali del flusso di falda e accumuli localizzati di idrocarburi.

9.4.3.1 Proposta di applicazione

Un gruppo di specie arboree, tra cui pioppi, salici, eucalipti, sono considerabili le piante più economiche (considerando il rapporto costo/efficacia) per la fito-bonifica (Garbisu e Alkorta 2001) dato che presentano un sistema di radici ampio e profondo, spesso adattabile a bassi tassi di fertilità e a scarsa struttura (tipico delle specie pioniere), con alti tassi di traspirazione che li rende capaci di assorbire, traslocare e volatilizzare (nel caso di molecole a basso peso molecolare) una maggiore quantità di sostanze inquinanti (Thawale et al. 2006). Si stima che un singolo salice o pioppo sia in grado di traspirare circa 20m³ di acqua al giorno, quantità che è paragonabile alla velocità di traspirazione di 1,4 ettari di erba medica (EPA 2000).

Sudi di laboratorio hanno dimostrato che le talee di pioppo ibrido (*Populus deltoids* × *Populus nigra*) siano in grado d'incrementare la degradazione, la volatilizzazione e la riduzione della quantità di benzene negli effluenti di impianti petroliferi (Burken et al., 2001).

Alberi con radici profonde come i pioppi (*Populus* spp.) ed i salici (*Salix* spp.) sono stati inoltre utilizzati con successo nell'assorbimento di acqua sotterranea contenente idrocarburi totali (Ferro et al., 2013). Confrontando terreni con impianti a pioppo con altri nudi è risultato evidente come quelli piantumati presentano una grande varietà di microrganismi in grado di degradare petrolio ed i suoi sottoprodotti (Jordahl et al., 1997).

La proposta di fitorisanamento per quest'area consiste nella realizzazione di **un impianto a pioppi, ontani e specie azotofissatrici**.

La scelta della specie o del cultivar/varietà dei pioppi dipenderà dal destino che questo settore dovrà avere, ovvero un impianto di pioppi da taglio o un bosco su cui non si interverrà più.

L'opzione ivi proposta è quella di creare un bosco stabile, prevedendo l'inserimento di

Pioppi neri in purezza o pioppi bianchi o *P. canescens*, la specie di pioppo, dopo quello nero ibrido, più diffuso lungo l'asse del fiume Ticino.

Inoltre, si propone l'inserimento della Frangola (*Rhamnus frangula*) che è una specie legata ai terreni umidi e sabbiosi e che ormai è diventata rara in Lombardia.

Assieme ai pioppi verranno inserite piante di **ontano nero** (*Alnus glutinosa*) per due motivi principali:

- il primo è che questa tipologia forestale (*Alnus glutinosa* Meijr-Drees) corrisponde al "bosco umido" tipico della zona, ed in più è tutelata a livello comunitario;
- il secondo è che l'ontano è una specie azotofissatrice (Dawson et al. 1979, Millett et al. 2012), il che favorirà il riequilibrio carbonio/azoto che in caso di contaminazione da idrocarburi si sposta a favore del carbonio (provocando una carenza di composti azotati).

Un ulteriore apporto di sostanza organica equilibrata potrà essere immesso nel terreno attraverso lo spargimento e l'interramento di compost ben maturo.

9.4.3.2 Fasi preliminari alla progettazione dell'impianto

Alcune fasi propedeutiche alla realizzazione degli impianti sono state già realizzate in modo preliminare; sono state infatti compiute ripetute campagne di analisi chimico-fisica dei suoli e delle acque, numerose indagini di carattere biologico su varie comunità soprattutto legate alle acque, rilievi della flora più comune presente nell'area e nei boschi ad ontano; nel corso dell'autunno 2018 è stato, inoltre, realizzato uno screening per verificare la presenza di comunità microbiche in grado di degradare idrocarburi, si veda a tal proposito l'Appendice 3, ivi annessa.

A seguito delle indagini floristiche descritte precedentemente, è stato per esempio possibile identificare alcune specie erbacee nate eventualmente utilizzabili nel programma di fitorimediazione, per esempio *Phragmites*, individuata nel bosco in studio e *Scirpus selvaticus*, quest'ultimo individuato precisamente nell'area della trincea.

9.4.3.3 Attività propedeutiche all'installazione

Rimozione di eventuali rifiuti, pietrosità

Per procedere con la rimozione verrà redatto un inventario delle differenti categorie di rifiuti da rimuovere presenti facendo riferimento alla codifica europea (codici CER), stimando i quantitativi da gestire per preventivare i costi di smaltimento.

Decespugliamento

Si dovrà procedere con il decespugliamento del terreno con eliminazione della vegetazione infestante prevalentemente cespugliosa, che sarà realizzato mediante trattore di media potenza e trinciastocchi o trincia forestale.

Spandimento ed interrimento del compost

Per il miglioramento dello stato qualitativo del terreno, sarà apportata una quantità di compost maturo compreso tra le 30 e le 60 t ha⁻¹ (peso fresco), con l'obiettivo principale di ripristinare nel lungo periodo la fertilità del suolo.

Lo stesso dosaggio è adeguato al caso in cui si debba stimolare la biodegradazione dei composti organici da parte della flora microbica.

Sarà utilizzato materiale compostato di qualità e conforme ai limiti stabiliti dalla normativa sui fertilizzanti (D.lgs 75/2010). L'operazione di spandimento ed interrimento del compost sarà realizzata un mese prima della piantumazione/semina delle colture (in pieno inverno) in modo da favorirne la stabilizzazione in campo (ove necessario) ed evitare fenomeni di fitotossicità.

Lavorazioni

La ripuntatura andrà effettuata durante il periodo fine estivo (settembre) in condizioni di umidità, evitando il peggioramento delle condizioni strutturali dei suoli.

Nella parte ora coperta da un incolto sarà necessario preparare il suolo mediante fresatura superficiale a 15 cm, per favorire l'interrimento di compost e di residui vegetali. Questo per non alterare lo strato superficiale che già ora presenta una buona matrice organica.

Tracciamento

Si provvederà al tracciamento rettilineo finalizzato alla posa di circa 800 piante/ha, di cui 400 pioppi e 400 ontani.

Sulla fila, sia pioppi che ontani avranno interasse 10 m per ciascuna specie; nel dettaglio si prevede la posa nell'area con un sesto di impianto (10 x 10 m) di Pioppi, unitamente ad un sesto di impianto (10 x 10 m) di Ontani, posti in interasse gli uni agli altri; inoltre si prevederà la posa a file alterne di Pioppi con un sesto di impianto (5 x 5 m), come mostrato in Tavola 18. Si prevederà, inoltre, l'inserimento della Frangola (*Rhamnus frangula*), in un numero non inferiore a 50 Frangole/ha.

In totale si prevede pertanto la piantumazione di circa 400 Pioppi/ha, 200 Ontani/ha.

Si prevederà il I taglio per sfoltimento già dopo 5-7 anni che interesserà solo i Pioppi piantumati con l'impianto 5*5 m, al fine di favorire la proliferazione del bosco di Pioppi/Ontani.

Eventuali successivi tagli, da realizzarsi dopo 10-15 anni interesseranno invece solo i Pioppi, lasciando integro il bosco ad Ontani.

Per quanto riguarda le specie lignocellulosiche arboree (es. Pioppo) candidate all'utilizzo per il programma di fitorimedio, saranno utilizzati astoni non radicati di 1,2 m circa di altezza, che verranno piantumati a metà autunno.

Per gli ontani neri si prevederà l'utilizzo di piantine da 1,5 m radicate in vaso.

Messa a dimora delle essenze arboree e delle erbacee ligno-cellulosiche

Tutte le specie arboree e le specie rizomatose andranno trapiantate nel periodo compreso tra metà autunno sino ad inverno inoltrato, durante la fase di riposo vegetativo delle colture.

Si opererà con le seguenti:

- apertura meccanica delle buche con trattrice e trivella;
- posa di piantine;
- posa del tutore e del rincalzamento.

Tutte le piantine in vaso saranno allevate in contenitore e certificate secondo il D.lgs 386 del

2003 [*"Attuazione della direttiva 1999/105/CE relativa alla commercializzazione dei materiali forestali di moltiplicazione"*].

Rifornimento idrico delle colture

Sarà garantito l'approvvigionamento idrico alle colture arboree ed alle pratensi macroterme nelle primissime fasi di crescita (irrigazione di soccorso), nell'eventualità si vedessero fenomeni di crisi idrica delle piante (appassimento).

Taglio delle specie arboree e destino del legname

Ad ogni operazione di taglio seguirà uno stoccaggio temporaneo dei materiali e il successivo **utilizzo come biomassa** oppure, previa valutazione del contenuto di eventuali metalli pesanti, i materiali saranno venduti come **legno da costruzione**; infatti a causa della fitoestrazione dei metalli, liberati dall'attività batterica anossigenica, dovrà essere previsto il campionamento delle biomasse lignocellulosiche in corrispondenza della loro raccolta e la determinazione del contenuto dei contaminanti nei differenti organi della pianta (fusti, rami, foglie) e della loro umidità (variazione di peso dopo essiccazione a 60°C fino a peso costante del campione).

Da un punto di vista normativo le biomasse prodotte dagli impianti di bonifica o di messa in sicurezza di siti contaminati sono da considerarsi come un **sottoprodotto** (parte IV del D.Lgs. n. 152/06 art. 184 ter D.Lgs. 152/06), che può quindi essere reimpiegato in un ulteriore processo produttivo. Non c'è pertanto una limitazione del loro impiego ad eccezione dall'uso alimentare e della digestione anaerobica (Decreto Interministeriale n. 5046 del 25 Febbraio 2016 -Decreto effluenti), rientrando pienamente nella definizione di biomassa del D. Lgs 387/2003 modificato dal D. Lgs 28/2011 "Attuazione della direttiva 2009/28/ CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE". All'articolo 2 lett. e) si definisce biomassa "la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, gli sfalci e le potature provenienti dal verde pubblico e privato, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani".

La valorizzazione energetica è quindi una strada perseguibile quando: a) le biomasse rappresentano il prodotto di un sito dove la fitodegradazione è stata utilizzata per la messa in sicurezza dell'area; b) i metalli e altre molecole potenzialmente tossiche sono prevalentemente accumulate nei rizomi o nelle radici lasciando pulite le zone epigee (fusto e foglie). Da questo ne consegue che non è possibile accedere agli incentivi statali sulla biovalorizzazione che sono regolati dall'allegato 2 punto 2 del D. Lgs 28/2011 (*Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.*). In tale allegato è infatti specificato che, per poter accedere agli incentivi statali è necessario il rispetto di requisiti e specifiche tecniche degli impianti alimentati da fonti rinnovabili secondo quanto riportato: "Per le biomasse utilizzate in forma di pellet o cippato ai fini dell'accesso agli incentivi statali, [...], è richiesta la conformità alle classi di qualità A1 e A2: per il pellet, indicate nelle norme UNI EN 14961-2 (oggi sostituita dalla UNI EN ISO 17225-2:2014 Definizione delle classi di pellet di legno), per il cippato, indicate nelle norme UNI EN 14961- 4 (oggi sostituita dalla UNI EN ISO 17225- 4:2014 Definizione delle classi di cippato di legno) ". In quest'ultimo caso è comunque esclusa dalla classe A la classe 1.1.1.3

“...ceduo a turnazione breve qualora la piantagione sia stata espressamente usata per sequestrare sostanze chimiche ...”.

Monitoraggio degli effetti dell’impianto di fitorimedio

Come per tutte le tecniche di bonifica, sarà necessario provvedere al monitoraggio degli effetti dell’impianto di fitorimedio durante il periodo in cui questo è presente sul sito. In particolare per la fitoestrazione degli di metalli, liberati dall’attività batterica anossigenica, dovrà essere previsto il campionamento delle biomasse lignocellulosiche in corrispondenza della loro raccolta e la determinazione del contenuto dei contaminanti nei differenti organi della pianta (fusti, rami, foglie) e della loro umidità (variazione di peso dopo essiccazione a 60°C fino a peso costante del campione).

Sarà necessario inoltre stimare la proporzione tra fusti, rami e foglie su un numero minimo di 20 piante, in modo da poter quantificare la loro biomassa su un ettaro una volta nota la quantità di biomassa totale (intera parte aerea) raccolta sulla superficie del sito.

I valori di metalli o di altri componenti stabili ed accumulabili misurati nella biomassa secca dei differenti organi moltiplicati per le biomasse prodotte su un ettaro consentiranno di stimare le quantità di inquinanti (es. mg/ha oppure g/ha) asportate con ogni raccolta. Un approccio simile potrà essere seguito anche con le specie erbacee in corrispondenza di ogni taglio.

Contestualmente al rilievo sulla vegetazione sarà necessario prelevare dei campioni di suolo nello strato radicato (0-0.50 m; 0.50-1.5 m a seconda della profondità della falda e dell’approfondimento radicale) per la quantificazione delle frazioni biodisponibili di inquinanti (idrocarburi e metalli). La dinamica degli metalli biodisponibili e degli inquinanti organici stabili nel suolo, associata a quella asportata da parte della vegetazione (arboreto inerbito) consentirà di apprezzare l’effetto del fitorisanamento sulla riduzione del rischio di trasferimento degli inquinanti organici ed inorganici alla catena alimentare attraverso la lisciviazione in falda o l’assorbimento da parte di colture di interesse alimentare.

9.4.4 Proposta in Sorgente ALTA di un impianto a *Phragmites australis* – in fase di valutazione

Per l’area caratterizzata dalla presenza **della Sorgente Alta**, è in fase di valutazione l’installazione di un sistema di Fitorimedio mediante la realizzazione di una vasca a *Phragmites australis* con sistema a **flusso sommerso verticale**.

Tale sistema potrà sostituire quale presidio di sicurezza il sistema SAMIS, ad oggi installato in sito in corrispondenza della Sorgente Alta. La eventuale applicazione del sistema di Fitorimedio di seguito descritto nei suoi caratteri generali, sarà eventualmente affrontato nel Progetto di Fase II, in funzione degli esiti dell’osservazione dell’attivazione del sistema Samis, e dopo discussione tecnica con gli enti competenti.

9.4.4.1 Impianto di fitodepurazione a *Phragmites australis*

Gli impianti di fitodepurazione a macrofite emergenti, in particolare quelli a *Phragmites australis* sono classificabili a seconda dal cammino idraulico delle acque che devono essere depurate:

a) sistemi a flusso superficiale o libero (FWS - Free Water Surface)
b) sistemi a flusso sub-superficiale o sommerso (SFS: Subsurface Flow Sistem) a sua volta suddivisi in:

1) sistemi a flusso sommerso orizzontale (SFS-h o HF: Subsurface Flow System - horizontal)

2) sistema a flusso sommerso verticale (SFS-v o VF: Subsurface Flow System - vertical)

Gli impianti a flusso sommerso sono quelli che hanno avuto il maggior sviluppo poiché risultano più efficienti di quelli a flusso superficiale.

La principale ragione sta nella disponibilità di una maggiore superficie di contatto tra le acque inquinate ed i microrganismi. Quindi la risposta al trattamento è più rapida e la superficie richiesta per l'impianto è minore rispetto a quella necessaria per sistemi FWS progettati per il trattamento dello stesso tipo acqua inquinata. Un secondo vantaggio dei sistemi a flusso sommerso è dato dal maggiore isolamento termico prodotto dalla sinergia tra la presenza dell'acqua e l'accumulo dei detriti vegetali sulla superficie dell'impianto

I sistemi a flusso libero (FWS) sono utilizzabili quando non sono realizzabili altre tipologie di impianti.

9.4.4.2 La vegetazione più idonea

La specie di gran lunga più utilizzata è *Phragmites australis*. Negli ultimi anni alcune prove hanno dimostrato una buona efficienza anche da parte di *Arundo donax* L., altra “canna di palude”, più efficiente di *P. australis* nella produzione di biomassa.

Nei sistemi a flusso superficiale, si possono utilizzare tutte le specie di macrofite acquatiche che ben tollerano livelli di trofia ed inquinamento elevati *Carex* ssp., *Scirpus* spp., *Shoenoplectus* spp., *Phalaris arundinacea*, *Scirpus* spp., *Alisma plantago-aquatica*, *Lythrum salicaria*, *Ceratophyllum* ssp., *Myriophyllum* ssp., e tante altre. Per queste ultime specie è consigliabile prelevare e moltiplicare piante già presenti in loco, perché più adattate e con buona probabilità già in simbiosi con funghi micorrizici in grado di degradare le molecole inquinanti.

9.4.4.3 Principi di funzionamento delle varie tipologie di impianto

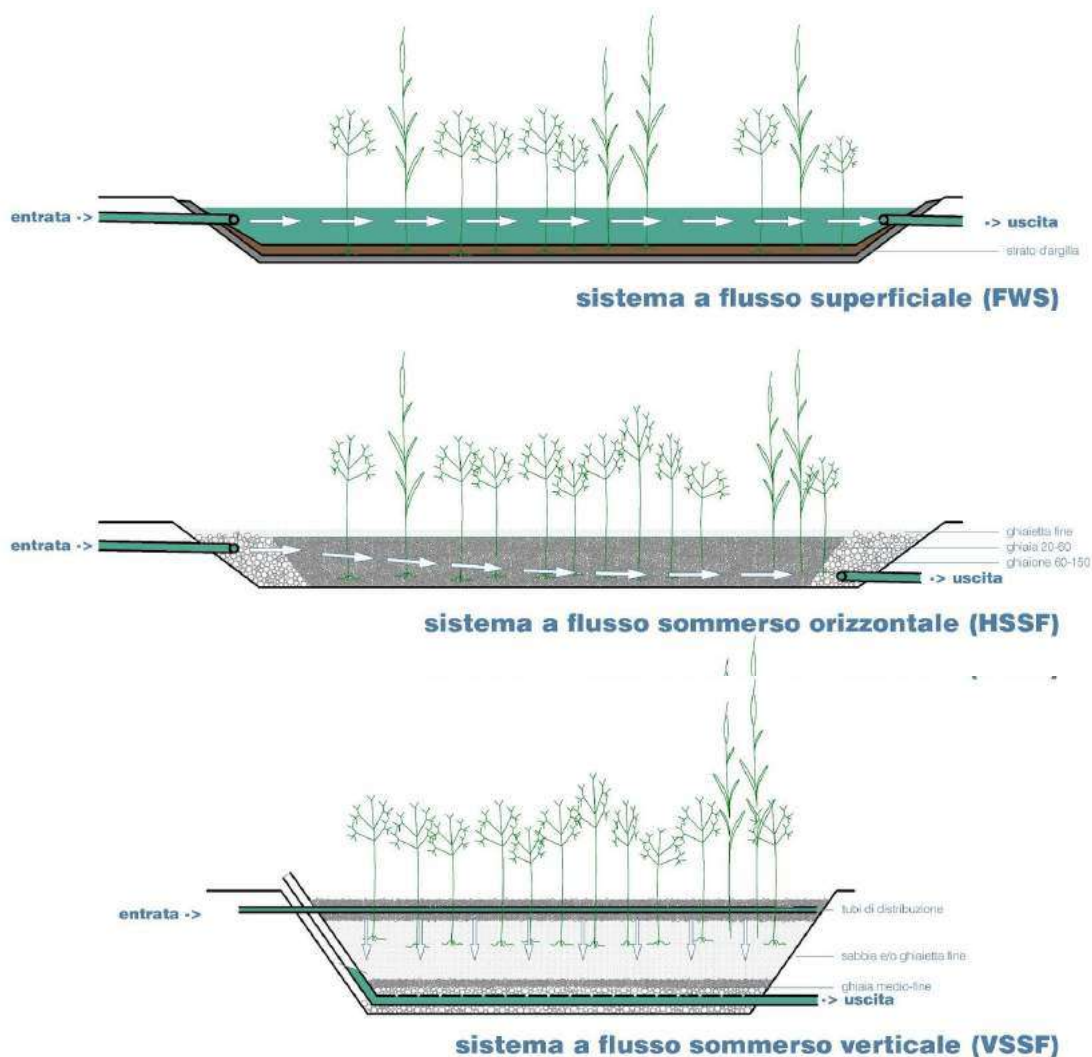


Figura 9.9 IMPIANTO DI FITODEPURAZIONE A FLUSSO SUPERFICIALE, A FLUSSO SOMMERSO ORIZZONTALE E VERTICALE

Sistemi a flusso superficiale

I sistemi a flusso libero riproducono esattamente i meccanismi di autodepurazione in atto nelle zone umide.

Consistono in vasche o canali poco profondi (profondità generalmente limitata a poche decine di centimetri) con un substrato che costituisce il supporto per le radici delle piante emergenti.

La superficie dell'acqua è costantemente al di sopra del substrato e pertanto questa è sempre esposta all'atmosfera.

Il flusso dell'acqua è orizzontale e il livello dell'acqua varia in relazione alle caratteristiche del refluo in ingresso, al livello di trattamento che si intende raggiungere ed al tipo di essenze impiegate.

Essendo tali sistemi riconducibili ad un'area umida naturale hanno anche una valenza naturalistica ed ambientale. Per essere efficaci richiedono però superfici di una certa dimensione

Principio di funzionamento della fitodepurazione flottante

Fra i sistemi a flusso superficiale si annovera anche la fitodepurazione con barriere flottanti, che consente di intercettare e trattare i flussi di inquinamento direttamente all'interno di corpi idrici superficiali. Le barriere possono essere installate perpendicolarmente al flusso dell'acqua, utilizzando piante galleggianti o non galleggianti, ma inserite su supporti flottanti. L'utilizzo di piante galleggianti può presentare difficoltà di realizzazione, perché non è facile trovare specie adatte, l'insediamento e la colonizzazione non sono sempre uniformi e le piante possono invadere settori non dedicati alla depurazione e disperdersi. Il ricorso a piattaforme galleggianti consente di utilizzare macrofite acquatiche che non galleggiano, ma che sono specificatamente utilizzate ed efficaci per scopi depurativi. I vantaggi di questo sistema sono: gamma di scelta delle specie più ampia; uniformità di insediamento e comportamento della barriera; confinamento della vegetazione nel settore assegnato; adattamento a mutevoli profondità della lama d'acqua; versatilità gestionale. Utilizzando specie adatte, lo sviluppo delle radici delle piante può raggiungere e superare il metro di profondità. Radici profonde e fitte svolgono un importante ruolo di filtrazione fisica oltre che di assorbimento dei nutrienti e di supporto alle comunità microbiche che si sviluppano nel biofilm che le avvolge. Il folto intreccio di radici che si sviluppa sotto la lama d'acqua, inoltre, può offrire habitat idoneo a varie forme di vita acquatica. Nel caso della depurazione di acque da idrocarburi sono sconsigliate le piccole piante galleggianti, tipo Lemna, dato che hanno basse capacità di degradazione di queste molecole. Sono invece consigliate le piante come carici, scirpi, fragmites, tife.

Sistemi a flusso sommerso

Nei sistemi a flusso sommerso la superficie del refluo non è mai a contatto diretto con l'atmosfera, dando così una discreta protezione termica delle acque contaminate nella stagione invernale, favorendo anche in questi periodi l'attività dei microrganismi.

Questi impianti sono in pratica dei bacini impermeabilizzati, di varia dimensione e forma, riempiti con il substrato permeabile o con medium di crescita idonea.

Sulle superfici così ottenute vengono inserite le macrofite erbacee prescelte.

Il centro del sistema di depurazione è il bacino di fitodepurazione che può essere a flusso orizzontale o verticale.

L'essenza attualmente più utilizzata è *Phragmites australis*

Le rese depurative degli impianti a flusso orizzontale sono inferiori rispetto ai sistemi con flusso verticale. L'impianto a flusso orizzontale presenta però minori problemi gestionali.

I due tipi di impianto, a flusso orizzontale e a flusso verticale, possono essere normalmente utilizzati accoppiati tra loro per sfruttare le capacità depurative di entrambi i sistemi, in particolare per la riduzione/ossidazione delle sostanze inquinanti che richiedono passaggi ox-red per la loro degradazione.

9.4.4.4 Attività propedeutiche all'installazione

Al fine di garantire un ottimale sviluppo alla *Phragmites australis*, sarà necessario tagliare alcuni alberi che si trovano nello stretto intorno della Sorgente Alta, in modo da migliorare l'apporto di luce solare diretta sull'area di intervento.

In particolare la zona è caratterizzata dalla presenza di piante arboree alloctone rispetto al bosco del Ticino del tipo Cipressi, Robinie e seppur con una presenza minima, l'*Ailanthus* altissima che risulta infestante e allelopatica.

Si propone in tal senso un sopralluogo unitamente all'ente Parco al fine di definire le piante che potenzialmente possono essere rimosse allo scopo.

9.4.4.5 Substrato

Il substrato drenante o medium di crescita sarà realizzato in base alle caratteristiche di porosità e conducibilità idraulica che influisce sul tempo di residenza delle acque da trattare; a tal fine sarà utilizzata ghiaia non frantumata e sabbia lavata o altri materiali equivalenti. Al substrato ghiaioso-sabbioso sarà aggiunto del compost ben maturo.

Il medium ben equilibrato rappresenta infatti il supporto sui cui radicano le macrofite emergenti (*Phragmites* ed altro) e proliferano le pellicole (biofilm) di microrganismi che innescano le trasformazioni biologiche e chimiche che sono alla base dei processi di biorisanamento.

9.4.4.6 Impermeabilizzazione del letto

Il particolar modo per gli impianti a flusso sommerso verticale è d'obbligo impermeabilizzare il fondo dello scavo in cui dovranno essere realizzate le vasche. L'impermeabilizzazione artificiale sarà effettuata con uno strato di argilla o, come succede più comunemente, con teli in geotessuto quali stuoie bentonitiche o stuoie biodegradabili in fibra di cocco con aggiunta di bentonite, di spessore tale da contrastare le asperità del suolo naturale su cui andranno posate.

Per evitare l'ingresso delle acque meteoriche le vasche potranno essere delimitate da bordi sopraelevati di circa 10-20 cm rispetto alla superficie del terreno. Legate ai bordi potranno essere posizionate delle reti altre 20-30cm che bloccheranno il passaggio (da esterno ad interno) degli anfibi, così da limitare la possibile contaminazione.

9.4.4.7 Dimensionamento

Superficie del letto Per un impianto a flusso superficiale i dati in letteratura suggeriscono valori superiori a $20 \text{ m}^2 - 40 \text{ m}^2$.

Profondità del substrato

Per un impianto a flusso sommerso verticale i dati in letteratura consigliano spessori maggiori agli 80 cm.

L'altezza dei substrati ed il suo assortimento granulometrico determinano i parametri necessari al calcolo della velocità di filtrazione utilizzando la formula di Darcy che trova origine ed applicazione nel sistema di filtrazione all'interno dei pozzi e consente la determinazione del calcolo delle velocità idrauliche relative.

9.4.4.8 Piantumazione delle essenze

Tutte le specie arboree e le specie rizomatose (es. *Phragmites*) andranno trapiantate tra l'autunno e l'inverno inoltrato, durante la fase di riposo vegetativo delle colture.

Per le rizomatose si propone un sesto di 1 x 0.5 m sui substrati tendenzialmente sciolti e permeabili che saranno realizzati in vasca, in cui il rizoma potrà propagarsi facilmente.

9.4.4.9 Manutenzione

La manutenzione richiesta da queste tipologie di impianti consisterà soprattutto nella gestione della vegetazione, nel controllo della stabilità del flusso delle acque e nel controllo periodico dell'uscita dal sistema a mezzo di analisi chimiche.

In questo tipo di impianto le acque, prima e dopo la “vasca di depurazione” passeranno attraverso due pozzetti di controllo.

In genere gli impianti correttamente dimensionati non prevedono la sostituzione delle piante acquatiche. Le piante, saranno collocate nei modi e nei tempi corretti al fine di non essere rimpiazzate o sostituite per molti anni.

Le specie erbacee Phragmites saranno tagliate e raccolte annualmente.

Ad ogni operazione di taglio seguirà uno stoccaggio temporaneo dei materiali e lo smaltimento a seguito dell'identificazione dell'appropriato codice CER.

10 ATTIVITA' COMPENSATIVA - MIGLIORAMENTO BOSCHIVO

10.1 PIANTUMAZIONE SPECIE ARBOREE A TITOLO COMPENSATIVO

In corrispondenza dell'area compresa tra la scarpata del terrazzo e la Rabica, vi è una copertura arborea/arbustiva prevalente caratterizzata dalla presenza della farnia.

Tra le querce autoctone sono presenti anche querce rosse, robinie (ambedue nord americane) e cipressi (specie più legate ai climi caldi e secchi del centro Italia).

Negli ultimi due anni si è assistito ad un progressivo e graduale deperimento delle specie arboree, in particolar modo di robinie e cipressi, alcune delle quali sono attualmente morte.

In particolare la zona è caratterizzata dalla presenza di piante arboree estranee rispetto al bosco del Ticino come il Cipresso e alloctone come Robinie e seppur con una presenza minima, l'Ailanthus altissima.

L'ipotesi d'intervento potrà essere articolata in due fasi successive.

10.1.1 I fase di intervento

Nella prima si dovrà mettere in sicurezza la zona verificando quali sono le piante deperite o morte.

10.1.2 II fase di intervento

Dopo la loro eliminazione si dovrà provvedere alla piantumazione di specie arboree ed arbustive tipiche dell'area quali farnia, acero campestre, carpino, nocciolo e biancospino.

Inoltre, si provvederà alla rimozione dell'Ailanthus altissima, che è specie infestante e allelopatica.

Si propone la piantumazione di circa 100 farnie (*Quercus robur*), 50 di carpini (*Carpinus betulus*), 20 frassini (*Fraxinus excelsior*), 30 aceri campestri (*Acer campestre*), 30 biancospini (*Crataegus monogyna*), 30 noccioli (*Corylus avellana*), 20 evonimi (*Euonymus europaeus*) ed infine 20 Olmi (*Ulmus minor*).

10.2 INSERIMENTO DI PIANTINE DI FELCE REALE A TITOLO COMPENSATIVO

Nelle zone più umide dei boschi del Parco del Ticino, ed in particolare nelle ontanete, perché fitosociologicamente ad esse legata, è presente, seppur molto raramente, una tra le più rare, belle e maestose felci presenti in Europa: *Osmunda regalis* L.

Nell'area di effrazione di Morimondo sono presenti alcuni cespi che negli ultimi due anni non hanno presentato fronde riproduttive.

La proposta è quella di inserire nel nuovo bosco a pioppi ed ontani piantine di *Osmunda regalis*, così da incrementare il valore di biodiversità del bosco nascente.

Operativamente saranno due le vie da perseguire:

- a) produrre nuove piantine attraverso la rottura di cespi presenti nelle ontanete legate al territorio di Morimondo;
- b) produrre piantine in vitro partendo dalle spore di individui fertili.



Figura 10.1 IMPIANTO PIANTE DI FELCE REGALE. SI POSSONO BEN DISTINGUERE LE FRONDE STERILI (VERDI)
DA QUELLE FERTILI (MARRONI-GIALLASTRE)

11 MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

11.1 AREA EFFRAZIONE

Monitoraggio e gestione P&T e reimmissione acque in falda

Per la verifica dell'efficienza dell'impianto di P&T e di reimmissione e quindi per garantire il rispetto dei limiti previsti allo scarico e quelli per la reimmissione in falda delle acque emunte si procederà a cadenza mensile con il seguente piano di monitoraggio:

- Prelievo ed analisi delle acque in ingresso (IN P&T) all'impianto di trattamento del P&T per la determinazione dei seguenti parametri:
 - Idrocarburi tot. n-esano;
 - BTEX;
 - MtBE.
- Prelievo ed analisi delle acque in uscita (INTERMEDIO P&T) dal primo filtro a carboni attivo ed il secondo filtro per la determinazione dei parametri sopra indicati. Nel caso in cui gli esiti analitici mostrassero l'evidenza dell'esaurimento dei carboni attivi del primo filtro si procederà con la loro sostituzione.
- Prelievo ed analisi delle acque in uscita (OUT-Roggia) dal sistema di trattamento e scaricate in Roggia Rabica sulle quali saranno ricercati i seguenti parametri:
 - Idrocarburi totali;
 - solventi organici aromatici;
 - MtBE.

Le acque dovranno rispettare i limiti definiti dalla Tabella 3, Allegato 5, Parte III, D.Lgs. 152/06, per gli scarichi in corpi idrici superficiali e dovranno rispettare le prescrizioni previste dall'autorizzazione Dirigenziale della città metropolitana di Milano, prot. n.247603/2016, fasc. 9.8./2016/266, del 25/10/2016.

- Prelievo ed analisi delle acque in ingresso (IN Reimmissione) all'impianto di trattamento di reimmissione per la determinazione dei seguenti parametri:
 - Idrocarburi tot. n-esano;
 - BTEX;
 - MtBE.
- Prelievo ed analisi delle acque in uscita (INTERMEDIO Reimmissione) dal primo filtro a carboni attivo ed il secondo filtro per la determinazione dei parametri sopra indicati; nel caso in cui gli esiti analitici mostrassero l'evidenza dell'esaurimento dei carboni attivi del primo filtro si procederà con la loro sostituzione.
- Prelievo ed analisi delle acque in uscita (OUT-Reimmissione) dal sistema di trattamento di reimmissione situato in zona effrazione e reimmesse in falda sulle quali saranno ricercati i parametri sopra riportati.

L'acqua che sarà reimpressa in falda rispetterà le CSC indicate in tabella 2 Allegato 5, Parte Quarta, Titolo V del D.Lgs. 152/06.

Con cadenza bimestrale sarà attuato il seguente piano di monitoraggio, per i primi 8 mesi, a seguito di tale periodo si passerà ad una frequenza quadrimestrale:

- Prelievo ed analisi delle acque dei piezometri PZ2, PZ3, PZ4, PZ6 e PZSF1 (proposto) presenti nell'area Effrazione per la determinazione dei seguenti parametri:
 - Idrocarburi tot. n-esano;
 - BTEX;
 - MtBE.

Con cadenza quadrimestrale sarà attuato il seguente piano di monitoraggio:

- Prelievo ed analisi delle acque dei piezometri PZ1, PZ16 per la determinazione dei seguenti parametri:
 - Idrocarburi tot. n-esano;
 - BTEX;
 - MtBE.

Con cadenza mensile dovranno essere verificati i seguenti aspetti:

- verifica e conteggio dei volumi d'acqua emunti e scaricati in Roggia Rabica registrati dal contalitri installato in corrispondenza dello scarico;
- verifica e conteggio dei volumi d'acqua emunti e reimmessi in falda registrati dal contalitri installato in corrispondenza dello scarico;
- verifica dello stato dell'impianto ed esecuzioni manutenzioni ordinarie necessarie.

11.2 AREA MONTE RISORGIVE

In corrispondenza dell'area in oggetto, sulla matrice ambientale acque sotterranee sarà implementato il seguente piano di monitoraggio.

Con cadenza bimestrale, per i primi 8 mesi, a seguito di tale periodo si passerà ad una frequenza quadrimestrale, nei pozzi PZ7, PZ8, PZ9, PZ10, PZ11, PZ13, PZ5, PZ12 e PZ14, PZ15 [PZ25 e PZ26 se del caso], si effettuerà il campionamento delle acque per la verifica dello stato qualitativo; i campioni saranno sottoposti alla determinazione dei seguenti parametri:

- Idrocarburi tot. n-esano;
- BTEX;
- MtBE.

Il presente piano di monitoraggio potrà essere variato in funzione delle necessità che emergeranno a seguito delle indagini integrative e della qualità delle acque sotterranee registrata dai monitoraggi periodici.

Pertanto il progetto di bonifica Fase II conterrà un piano di monitoraggio eventualmente aggiornato/integrato.

11.3 ZONA RISORGIVE, AREE ESTERNE E PRIVATI

Per il monitoraggio della qualità della matrice ambientale acque sotterranee presso la zona Bosco – Risorgive, aree esterne e pozzo privato sarà attuato un piano di monitoraggio con cadenza quadrimestrale sui seguenti piezometri/pozzi: PZ22Bis, PZ23, PZ24 e Nuovo Pozzo Sig. Cattaneo; i campioni d'acqua saranno sottoposti alla determinazione dei seguenti parametri: Idrocarburi tot. n-esano; BTEX; MtBE.

Con cadenza bimestrale sarà attuato il seguente piano di monitoraggio, per i primi 8 mesi, a seguito di tale periodo si passerà ad una frequenza bimestrale:

- Prelievo ed analisi delle acque dei piezometri PZ 22BIS, PZ 23, PZ 24 per la determinazione dei seguenti parametri:
 - Idrocarburi tot. n-esano;
 - BTEX;
 - MtBE.

11.3.1 Monitoraggi e gestione del sistema di emungimento in PZ21

Per il mantenimento in efficienza dell'impianto saranno effettuati i seguenti monitoraggi/verifiche con cadenza mensile:

- verifica funzionamento pompa di emungimento e relative linee;
- RF per la verifica della presenza prodotto surnatante.

Per una valutazione più mirata in relazione alla presenza di prodotto libero in galleggiamento, l'emungimento sarà sospeso ad intervalli regolari in modo da poter effettuare i rilievi fluidi in condizioni statiche.

Ogni 3 mesi si procederà pertanto allo spegnimento della pompa per un periodo di tempo di 2 settimane consecutive passate le quali si effettuerà il rilievo dei fluidi.

Terminato il rilievo fluidi si riattiverà l'emungimento.

Con cadenza mensile sarà attuato il seguente piano di monitoraggio, per i primi 8 mesi, a seguito di tale periodo si passerà ad una frequenza bimestrale:

- Prelievo ed analisi delle acque dei piezometri PZ21 per la determinazione dei seguenti parametri:
 - Idrocarburi tot. n-esano;
 - BTEX;
 - MtBE.

11.4 RIEPILOGO GENERALE

Nella tabella sotto riportata sono riassunti i monitoraggi delle acque sotterranee proposti per il sito in oggetto durante il periodo d'esecuzione del Progetto di Bonifica Fase I.

La frequenza di monitoraggio dei pozzi/piezometri potrà essere variata in funzione degli esiti analitici che emergeranno dalle varie campagne di analisi e sarà quindi aggiornata in occasione della redazione del Progetto di Bonifica Fase II.

I monitoraggi saranno effettuati con le medesime modalità attualmente applicate.

TABELLA 11.1 IDENTIFICAZIONE DEI PUNTI DI MONITORAGGIO DELLE ACQUE SUPERFICIALI

	ZONA	ATTIVITÀ	FREQUENZA	TIPOLOGIA	POZZI/PIEZOMETRI/IMPIANTO/ALTRO	PARAMETRI
1	EFFRAZIONE	P&T	MENSILE	MONITORAGGI IMPIANTI	IN P&T, INTERMEDIO P&T, IN REIMMISSIONE, INTERMEDIO REIMMISSIONE, OUT REIMMISSIONE	IDROCARBURI TOT. N-ESANO, BTEX, MtBE
		RF + CAMPIONAMENTO	BIMESTRALE, PER I PRIMI 8 MESI, A SEGUIRE QUADRIMESTRALE	ACQUE SOTT.	PZ2, PZ3, PZ4, PZ6, PZSF1	IDROCARBURI TOT. N-ESANO, BTEX, MtBE
		RF + CAMPIONAMENTO	QUADRIMESTRALE	ACQUE SOTT.	PZ1, PZ16	
2	MONTE RISORGIVE	P&T	MENSILE	MONITORAGGIO IMPIANTO	SCARICO ROGGIA	IDROCARBURI TOTALI, SOLVENTI ORGANICI AROMATICI, MtBE
		RF + CAMPIONAMENTO	BIMESTRALE, PER I PRIMI 8 MESI, A SEGUIRE QUADRIMESTRALE	ACQUE SOTT.	PZ25, PZ26 (SE REALIZZATI)	IDROCARBURI TOT. N-ESANO, BTEX, MtBE
		RF + CAMPIONAMENTO	BIMESTRALE, PER I PRIMI 8 MESI, A SEGUIRE QUADRIMESTRALE	ACQUE SOTT.	PZ5, PZ7, PZ8, PZ9, PZ10, PZ11, PZ12, PZ13, PZ14, PZ15, PZ25, PZ26	IDROCARBURI TOT. N-ESANO, BTEX, MtBE
3	RISORGIVE BOSCO-AREE ESTERNE	CONTROLLO RF	MENSILE PER I PRIMI 8 MESI	ACQUE SOTT.	PZ21	-
		RF + CAMPIONAMENTO	BIMESTRALE PER I PRIMI 8 MESI, QUADRIMESTRALE A SEGUIRE	ACQUE SOTT.	PZ22Bis, PZ23, PZ24	IDROCARBURI TOT. N-ESANO, BTEX, MtBE
		CONTROLLO	VARIABILE	ACQUE SUPERFICIALI	VEDERE TABELLA 7.12	
4	AREE ESTERNE	RF + CAMPIONAMENTO	QUADRIMESTRALE	ACQUE SOTT.	PZ17, PZ18, PZ19, PZ20, NUOVO POZZO SIG. CATTANEO	IDROCARBURI TOT. N-ESANO, BTEX, MtBE

12 MONITORAGGIO DELLE ACQUE SUPERFICIALI

Per la verifica dello stato qualitativo delle acque superficiali proseguiranno per tutta la durata delle attività di bonifica previste dal progetto Fase I i monitoraggi periodici delle acque di risorgiva/ruscellamento/trincee e del corso d'acqua Roggia Rabica, con la frequenza indicata in tabella 12.1.

I monitoraggi saranno effettuati con le medesime modalità attualmente applicate.

A tale scopo, in roggia e in prossimità delle sorgenti sono presenti dei punti rappresentativi che sono stati costantemente monitorati/campionati nel corso dello svolgimento delle attività di messa in sicurezza, la cui ubicazione è riportata in Tavola 01.

Il piano di monitoraggio in oggetto potrà essere modificato/integrato/variato in funzione degli esiti dei monitoraggi effettuati ed in base alle esigenze specifiche che si potrebbero determinare nel corso dell'esecuzione del progetto Fase I e delle indagini integrative sarà pertanto rivalutato/integrato nel progetto di bonifica Fase II.

TABELLA 12.1: IDENTIFICAZIONE DEI PUNTI DI MONITORAGGIO DELLE ACQUE SUPERFICIALI

PUNTO INDAGINE	FREQUENZA	UBICAZIONE PUNTI DI CAMPIONAMENTO
Sorgenti		
Sorgente Media	Bimestrale	risorgiva denominata Sorgente Media
Sorgente Alta		risorgiva denominata Sorgente Alta
Sorgente S3A		risorgiva denominata S3(A)
Sorgente N		risorgiva denominata Sorgente N
Ruscellamenti		
SMVP	Quadrimestrale	ruscellamento della Sorgente Media, in prossimità della confluenza del ruscellamento in Roggia Rabica
Sorgente Alta Valle (SALT Valle)		ruscellamento della Sorgente Alta, a valle del Sistema SAMIS
SAVP Valle		ruscellamento della Sorgente Alta, in prossimità della confluenza del ruscellamento in Roggia Rabica
SNP Valle		n. 2 ruscellamenti posti lateralmente al ruscellamento della Sorgente Alta, in prossimità della confluenza degli stessi in Roggia Rabica
SOP Valle		
S3Valle/RS3		ruscellamento della risorgiva Sorgente S3A, in prossimità della confluenza del ruscellamento in Roggia Rabica
Trincee		
Trincea 1	Quadrimestrale	Trincea 1
Trincea 2		Trincea 2A, Trincea 2B, Trincea 2C
Roggia Rabica		
RRAM_b/RAB1	Quadrimestrale	Zona monte
RAA0	Quadrimestrale	valle dei punti di immissione dei ruscellamenti d’interesse in Roggia Rabica
RAA4/RAB4	Bimestrale	valle della zona ponticello di Prato Ronco
RAA5/Rabica Valle	Bimestrale	valle, in zona Cascina Lasso

13 GESTIONE RIFIUTI

I rifiuti (solidi e/o liquidi) derivanti dalle attività svolte in sito saranno gestiti ai sensi della normativa vigente in materia di rifiuti e caratterizzati onde consentire l'attribuzione dei codici CER idonei per il loro smaltimento e/o recupero.

Di seguito, invece, si riporta la stima di rifiuti che potrebbero essere prodotti durante l'attuazione di quanto previsto dal presente Progetto di Bonifica Fase I.

Nel caso in cui si dovessero produrre rifiuti non indicati nel presente capitolo gli stessi saranno gestiti a norma di legge.

TABELLA 13.1 – STIMA PRODUZIONE RIFIUTI

CER	Descrizione CER	Stima quantità (t)
Reflui liquidi prodotti dalla conduzione degli impianti di bonifica (acqua controlavaggio filtri a carboni attivi, ecc.)		
16.10.02	Soluzioni acquose di scarto, diverse da quelle di cui alla voce 16.10.01*	50
19.13.08	Rifiuti liquidi acquosi e concentrati acquosi prodotti dalle operazioni di risanamento delle acque di falda, diversi da quelli di cui alla voce 191307*	5
19.13.07*	Rifiuti liquidi acquosi e concentrati acquosi prodotti dalle operazioni di risanamento delle acque di falda, contenenti sostanze pericolose	n.d.
Materiali solidi prodotti dalla conduzione degli impianti di bonifica (carboni attivi esausti, ecc.)		
19.13.02	Rifiuti solidi prodotti dalle operazioni di bonifica dei terreni, diversi da quelli di cui alla voce 191301*	10
Reflui emunti da spurghi piezometri ubicati in area esterna		
16.10.02	Soluzioni acquose di scarto, diverse da quelle di cui alla voce 16.10.01*	20
Panne, fogli e materiale assorbente vario, sostituite in area risorgive e lungo la roggia		
15.02.03	Assorbenti, materiali filtranti, stracci e indumenti protettivi, diversi da quelli di cui alla voce 15.02.02*	10
Terreno derivante dalle operazioni di bonifica presso Area Effrazione		
17.05.04	Terre e rocce diverse da quelle di cui alla voce 17.05.03*	200-400
17.05.03*	Terra e rocce, contenenti sostanze pericolose	n.d.
Materiali plastici (tubazioni in polietilene, teli plastici in generale, recinzioni ecc.)		
17.02.03	Plastica	5
17.02.04*	vetro, plastica e legno contenenti sostanze pericolose o da esse contaminati	n.d.

14 COLLAUDI, MONITORAGGI POST OPERAM E RIPRISTINO DELLE AREE OGGETTO DI BONIFICA

Si rimanda al Progetto di Bonifica Fase II per la definizione degli interventi di collaudo, per la pianificazione definitiva del monitoraggio post-operam e per la descrizione degli interventi di ripristino da effettuarsi in funzione delle attività che saranno previste nella Fase II del progetto.

14.1 AREA EFFRAZIONE

14.1.1 Suolo Superficiale - Collaudo scavi

Il collaudo dei terreni sarà effettuato immediatamente a seguito delle attività di scavo, mediante il prelievo in contraddittorio con le PPAA di un numero di campioni da stabilire in accordo con gli stessi, in funzione degli areali di scavo effettivamente realizzati.

Si propone la seguente modalità di collaudo:

- prelievo di n.5 campioni di terreno dall'hot spot SC2FA (n.4 da ogni parete di scavo e n.1 dal fondo scavo);
- prelievo di n.10 campioni di terreno lungo le pareti delle tratte dell'areale di scavo;
- prelievo di n.4 campioni di terreno dal fondo scavo posto a – 1 m da p.c.;
- prelievo di n.2 campioni di terreno dal fondo scavo posto alla profondità d – 2 m da p.c.

In funzione dell'effettiva estensione dell'area di scavo determinata dalle operazioni di verifica effettuate in campo durante gli scavi (fotoionizzatore e/o laboratorio mobile), il numero ed i punti di campionamento per il collaudo potranno essere incrementati e la loro ubicazione sarà definita in accordo con le PPAA.

In Tavola 3C è riportata l'ubicazione dei campioni di collaudo proposti.

I campioni di terreno prelevati saranno sottoposti ad analisi, utilizzando le metodiche analitiche già consolidate per il sito per ogni composto, per la determinazione dei seguenti parametri analitici:

- Idrocarburi tot. n-esano;
- BTEX;
- MtBE.

Al fine di agevolare il prelievo di campioni in contraddittorio, a validazione delle attività di bonifica eseguite, agli Enti di controllo sarà comunicata con congruo anticipo la data di esecuzione delle attività.

15 DURATA DEGLI INTERVENTI PROPOSTI NEL PROGETTO FASE I

La durata degli interventi proposti nel Progetto di Bonifica Fase I (comprensiva della realizzazione delle indagini integrative, test pilota di campo, analisi dei dati e tempistiche di redazione del progetto) sarà dell'ordine di 12 ÷ 16 mesi, entro i quali sarà presentato il Progetto di Bonifica Fase II.

Nel progetto Fase II saranno definite le tempistiche definitive della durata di tutti gli interventi di bonifica proposti. Nel caso in cui entro i 12 ÷ 16 mesi non si fosse pervenuti all'approvazione del Progetto di Bonifica Fase II, le attività previste nel progetto Fase I proseguiranno senza soluzione di continuità fino all'approvazione dello stesso.

Nella tabella 15.1 si riportano le stime della durata degli interventi previsti dal progetto Fase I suddivisa per attività.

TABELLA 15.1. DURATA DEGLI INTERVENTI

	AREA	ATTIVITÀ	TEMPISTICHE
EFFRAZIONE	SORGENTE 2S INSATURO SUPERFICIALE	SCAVO E SMALTIMENTO	1 – 2 MESI
	ACQUE SOTTERRANEE	P&T+REIMMISSIONE	12 – 16 MESI *
	SORGENTE 2P INSATURO PROFONDO	TEST PILOTA BV E SF	3 MESI
	SOTTOSUOLO/ACQUE SOTTERRANEE	INDAGINI INTEGRATIVE	5 GG
MONTE RISORGIVE	ACQUE SOTTERRANEE	P&T - MISE	16 MESI*
	SOTTOSUOLO/ACQUE SOTTERRANEE	INDAGINI INTEGRATIVE	10 GG
	SORGENTE 2P INSATURO PROFONDO	IN ATTESA TEST PILOTA BV	-
AREA RISORGIVE	SORGENTE 1P INSATURO PROFONDO	IN ATTESA TEST PILOTA BV	-
	SOTTOSUOLO/ACQUE SOTTERRANEE	INDAGINI INTEGRATIVE	5 GG
	ACQUE SOTTERRANEE	P&T PZ21- RIMOZIONE PRODOTTO	12 – 16 MESI*
	SOTTOSUOLO/ACQUE SOTTERRANEE	FITORISANAMENTO – AREA INCOLTO	1 GG

(*) durata soggetta alla presentazione del Progetto di Bonifica Fase II.

A seguito dell'approvazione del Progetto di Bonifica Fase I e precedentemente l'inizio dei lavori sarà presentato un cronoprogramma di dettaglio in cui saranno esplicitati i programmi d'intervento.

16 STIMA DEI COSTI

In Tabella 4 allegata al presente documento si riporta la stima complessiva, suddivisa per attività ed aree di applicazione, dei costi per la gestione e realizzazione delle attività di bonifica, esecuzione indagini integrative e realizzazione test pilota di campo previste nel progetto Fase I.

Il progetto prevede l'applicazione di differenti tecnologie di bonifica e tempistiche differenziate che possono essere modificate in corso d'opera così come descritto nei capitoli precedenti, pertanto il computo metrico qui riportato è da intendersi una stima e suscettibile di modifiche in funzione delle variazioni che potrebbero rendersi necessarie in corso d'opera. Ad esempio, gli effettivi volumi del terreno rimosso presso la zona effrazione e smaltiti come rifiuto potranno essere confermati solo a fine attività ed in funzione dei quantitativi realmente scavati.

A valle della realizzazione delle indagini integrative e dell'esito dei test pilota di campo, nel Progetto di Bonifica Fase II, la stima dei costi sarà aggiornata ed integrata in funzione delle scelte progettuali definitive.

17 CONCLUSIONI

La scrivente IT Group, su incarico di Eni, ha redatto per l'effrazione dell'Oleodotto 10" Sannazzaro-Rho, in località Cascina Cerina di Sopra, Comune di Morimondo (MI), notificata da Eni ai sensi degli articoli 242 e 245 del D.Lgs. 152/06 (Sito), il presente documento "*Progetto Operativo di Bonifica Fase I*", ai sensi del D.Lgs. 152/06 e in ottemperanza a quanto indicato nella Determina del Comune di Morimondo n. 131 del 23/07/2018 di "Approvazione della Revisione analisi di rischio sito specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06".

Il Progetto di Bonifica Fase I prevede l'attuazione di interventi di bonifica localizzati in alcune delle aree del sito in esame, delle indagini integrative per la delimitazione a piccola scala della distribuzione della contaminazione in porzioni del sito e la realizzazione di test pilota di campo per la verifica dell'applicabilità, dell'efficienza ed efficacia delle tecnologie di bonifica proposte nel presente elaborato.

Con i dati che saranno raccolti a seguito della realizzazione delle indagini integrative ed in seguito dell'esito dei test pilota di campo sarà redatto il Progetto di Bonifica Fase II che individuerà definitivamente tutti gli interventi tecnici necessari per ottenere il raggiungimento degli obiettivi di bonifica individuati.

TABELLE

TABELLA 1A	Andamento delle concentrazioni di contaminanti nelle acque sotterranee
TABELLA 1B	Andamento delle concentrazioni di contaminanti nelle acque sotterranee
TABELLA 2	Riepilogo analisi effettuate sui terreni
TABELLA 3	Screening matrix delle tecnologie proposte
TABELLA 4	Computo metrico
TABELLA 5	Cronoprogramma

TAVOLE

TAVOLA 1	Planimetria generale del sito con ubicazione dei punti di monitoraggio/campionamento (acque sotterranee e superficiali)
TAVOLA 1A	Planimetria del sito con ubicazione piezometri su stralcio di mappa catastale
TAVOLA 1B1	Planimetria del sito con definizione del sito potenzialmente contaminato e dei mappali di riferimento – Suolo superficiale – Area Effrazione
TAVOLA 1B2	Planimetria del sito con definizione del sito potenzialmente contaminato e dei mappali di riferimento – Suolo profondo – Area Effrazione
TAVOLA 1C	Planimetria del sito con definizione del sito potenzialmente contaminato e dei mappali di riferimento – Suolo profondo – Monte risorgive
TAVOLA 1D	Planimetria del sito con definizione del sito potenzialmente contaminato e dei mappali di riferimento – Suolo profondo – Area risorgive bosco
TAVOLA 1E	Planimetria del sito con ubicazione piezometri su stralcio di mappa catastale
TAVOLA 2 A	Carta piezometrica del maggio 2018
TAVOLA 2B	Carte piezometrica del luglio 2018
TAVOLA 2C	Carte piezometrica del settembre 2018
TAVOLA 2D	Carte piezometrica del dicembre 2018
TAVOLA 2E	Carte piezometrica del marzo 2019
TAVOLA 3A1	Poligoni di Thiessen suolo insaturo superficiale - Area Effrazione
TAVOLA 3A2	Area Sorgente suolo insaturo superficiale - Area Effrazione
TAVOLA 3B	Areale di scavo proposto, suolo insaturo superficiale – Area effrazione
TAVOLA 3C	Ubicazione punti di collaudo proposti dello scavo del terreno insaturo superficiale presso Area Effrazione

Sito: Oleodotto 10" Sannazzaro-Rho, Comune di Morimondo (MI)

Committente: Eni SpA

Oggetto: Progetto Operativo di Bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 – FASE I

Maggio 2019

TAVOLA 4A1	Poligoni di Thiessen sottosuolo insaturo profondo - Area Effrazione
TAVOLA 4A2	Areale da sottoporre a bonifica sottosuolo insaturo profondo – Area Effrazione
TAVOLA 5	Ubicazione indagini integrative Area Effrazione maglia 5x5 m
TAVOLA 6	Barriera idraulica ed ubicazione pozzi di reimmissione - Area Effrazione
TAVOLA 6A	Layout impianto di P&T stato attuale
TAVOLA 6B	Stralcio P&ID della barriera idraulica stato attuale
TAVOLA 7	Layout preliminare dell’impianto di reimmissione
TAVOLA 8	P&ID preliminare dell’impianto di reimmissione
TAVOLA 9A	Ubicazione campo prova test pilota SF
TAVOLA 9B	Ubicazione campo prova test pilota BV
TAVOLA 10	Ubicazione indagini integrative Area Monte Risorgive maglia 10x10 m
TAVOLA 11A1	Poligoni di Thiessen sottosuolo insaturo profondo presso Area Monte Risorgive e Risorgive
TAVOLA 11A2	Areale di contaminazione sottosuolo insaturo profondo presso Area Monte Risorgive
TAVOLA 12A	Poligoni di Thiessen sottosuolo insaturo superficiale presso Area Risorgive
TAVOLA 12B	Areale di contaminazione sottosuolo insaturo profondo presso Area Risorgive
TAVOLA 13	Schema Processo di Fitorisanamento
TAVOLA 14	Fitorisanamento/Compensazione – Area Risorgive
TAVOLA 15	Fitorisanamento con piantumazione Pioppi/Ontani
TAVOLA 16	Fitorisanamento con Phragmites
TAVOLA 17	Attività compensativa Piantumazione
TAVOLA 18	Schema di impianto (1 ha) Pioppi/Ontani

ALLEGATI

ALLEGATO A	Determina del Comune di Morimondo n. 131 del 23/07/2018 di “Approvazione della Revisione analisi di rischio sito specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06”
ALLEGATO B	Schede di sicurezza Ivey-sol® 103 e Ivey-sol® 106

Sito: Oleodotto 10” Sannazzaro-Rho, Comune di Morimondo (MI)

Committente: Eni SpA

Oggetto: Progetto Operativo di Bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 – FASE I

Maggio 2019

APPENDICI – omissis (seguirà invio tramite CD-rom)

APPENDICE 1 Modello di flusso

APPENDICE 2 Studio Bibliografico Fitorisanamento

APPENDICE 3 Studio Microbiologico - Università degli Studi di Milano

Sito: Oleodotto 10" Sannazzaro-Rho, Comune di Morimondo (MI)

Committente: Eni SpA

Oggetto: Progetto Operativo di Bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 – FASE I

Maggio 2019

TABELLE

TABELLA 1A Andamento delle concentrazioni di contaminanti nelle acque sotterranee

Sito: Oleodotto 10" Sannazzaro-Rho, Comune di Morimondo (MI)
Committente: Eni SpA
Oggetto: Progetto Operativo di Bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 – FASE I

Maggio 2019

Tabella riepilogativa risultati analitici
Acque Sotterranee
(Maggio - Ottobre 2018)

Punto di campionamento Codice SIF	Data di prelievo campione	Benzene	Etilbenzene	Stirene	Toluene	para-Xilene	MtBE *	HC TOT (n esano)
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
	CSC **	1	50	25	15	10	40	350
PIEZOMETRI IN AREA EFFRAZIONE								
PZ1 0151500091	14/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 20
	09/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ2 (in emungimento P&T) 0151500092	09/05/2018	non campionato (presenza prodotto in fase libera)						
	09/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ3 0151500093	09/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	09/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ4 (in emungimento P&T) 0151500094	09/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	09/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ6 (in emungimento P&T) 0151500096	09/05/2018	non campionato (presenza prodotto in fase libera)						
	09/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ16 0151500106	09/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	09/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PIEZOMETRI IN AREA MONTE RISORGIVE								
PZ5 (in emungimento P&T) 0151500095	09/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	11/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ7 (in emungimento P&T) 0151500097	09/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	11/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ8 (in emungimento P&T) 0151500098	10/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	11/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ9 (in emungimento P&T) 0151500099	10/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	11/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ10 (in emungimento P&T) 0151500100	09/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,3	< 20
	11/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ11 (in emungimento P&T) 0151500101	09/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	10/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ12 0151500102	14/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 20
	09/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 20
	25/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ13 0151500103	09/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	10/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ14 0151500104	09/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,9	< 20
	09/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ15 0151500105	09/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	09/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20

* Il limite proposto da ISS per MTBE nelle acque di falda è 40 µg/l (Parere ISS del 12/09/2006 n. 45848).

** CSC per le acque sotterranee sono normate dall'allegato 5 al titolo V della parte quarta del DLgs 152/2006

Tabella riepilogativa risultati analitici
Acque Sotterranee
(Maggio - Ottobre 2018)



Punto di campionamento Codice SIF	Data di prelievo campione	Benzene	Etilbenzene	Stirene	Toluene	para-Xilene	MtBE *	HC TOT (n esano)
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
	CSC **	1	50	25	15	10	40	350
PIEZOMETRI IN AREA ESTERNA								
PZ17 0151500107	10/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	09/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	25/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ18 0151500108	10/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	09/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	25/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ19 0151500109	10/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	09/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	25/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ20 0151500110	10/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	09/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	25/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PIEZOMETRI IN AREA RISORGIVE (AREA BOSCO)								
PZ21 (in emungimento P&T) 0151500111	10/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	2,2	208
	11/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	263
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ22 bis 0151500117	10/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	10/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	26/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ23 (in emungimento P&T) 0151500113	09/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	11/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
PZ24 (in emungimento P&T) 0151500114	09/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	115
	10/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	24/09/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
POZZI PRIVATI								
Pozzo Nuovo Sig. Cattaneo	10/05/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	11/07/2018	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 20
	10/10/2018	non campionato (assenza proprietario)						

* Il limite proposto da ISS per MTBE nelle acque di falda è 40 µg/l (Parere ISS del 12/09/2006 n. 45848).

** CSC per le acque sotterranee sono normate dall'allegato 5 al titolo V della parte quarta del DLgs 152/2006

TABELLA 2 Riepilogo analisi effettuate sui terreni

Sito: Oleodotto 10” Sannazzaro-Rho, Comune di Morimondo (MI)
Committente: Eni SpA
Oggetto: Progetto Operativo di Bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 – FASE I

Maggio 2019

Tabella 1
Tabella riepilogativa dei risultati analitici dei terreni



Piezometro	Campione (profondità di prelievo)	Data prelievo	Benzene	Etilbenzene	Stirene	Toluene	Xilene	Solventi organici aromatici (Sommatoria organici aromatici)	Idrocarburi C<12	Idrocarburi C>12	MtBE **
			mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS
CSC *			0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	10	50	10
PIEZOMETRI UBICATI NELLA ZONA DI EFFRAZIONE											
PZ1	PZ1 (0 - 1 m)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	PZ1 (2 - 3 m)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	PZ1 (4 - 5 m)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
PZ2	PZ2 (2 - 3 m)	08/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	28,9	2300,0	<0,1
PZ3	PZ3 (0 - 1 m)	08/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	PZ3 (2 - 3 m)	08/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	PZ3 (4 - 5 m)	08/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
PZ4	PZ4 (0 - 1 m)	08/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	PZ4 (2,2 - 3,2 m)	08/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	PZ4 (4,4 - 5,4 m)	08/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
PZ6	PZ6 (0 - 1)	15/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	PZ6 (2 - 3)	15/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	PZ6 (4,3 - 5,3)	15/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
PIEZOMETRI UBICATI NELLA ZONA RISORGIVE											
PZ5	PZ5 (0 - 1 m)	13/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	PZ5 (2,5 - 3,5 m)	13/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	PZ5 (5 - 6 m)	13/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
PZ7	PZ7 (0 - 1 m)	19/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	PZ7 (2,5 - 3,5 m)	19/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	PZ7 (5,2 - 6,2)	19/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	77,7	1116,6	0,2
PZ8	PZ8 (0 - 1 m)	19/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	PZ8 (2,5 - 3,5 m)	19/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	PZ8 (5,2 - 6,2)	19/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	8,8	165,9	0,3
PZ9	PZ9 (0 - 1 m)	02/11/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1	<5	<0,10
	PZ9 (2,5 - 3,5 m)	02/11/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1	<5	<0,10
	PZ9 (5,2 - 6,2)	02/11/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1	19,3	<0,10
PZ10	PZ9 (0 - 1 m)	29/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1	<5	<0,1
	PZ9 (2,5 - 3,5 m)	29/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1	<5	<0,1
	PZ9 (5,2 - 6,2)	29/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1	<5	<0,1
PZ11	PZ5 (0 - 1 m)	28/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1	<5	<0,1
	PZ5 (2,5 - 3,5 m)	28/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1	<5	<0,1
	PZ5 (5 - 6 m)	28/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1	<5	<0,1

* CSC per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale sono normate dalla colonna A dell'Allegato 5 al titolo V della parte quarta del DLgs 152/2006

** Il limite proposto da ISS per MTBE nei terreni per suoli ad uso verde pubblico privato e residenziale è 10 mg/kg (Parere ISS del 2001 n. 57058 IA/12).

Tabella 1
Tabella riepilogativa dei risultati analitici dei terreni



Punto di prelievo	Campione (profondità di prelievo)	Data prelievo	Benzene	Etilbenzene	Stirene	Toluene	Xilene	Solventi organici aromatici (Sommatografia organici aromatici)	Idrocarburi C<12	Idrocarburi C>12	MTBE **
			mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS
CSC *			0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	10	50	10
SCAVI											
S1PA (parete)	S1PA1 (0 -1)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	S1PA1 (1 - 2,8)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	189,8	2170,0	0,6
S1PB (parete)	S1PB (0 - 1)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	3,8	822,7	<0,1
	S1PB (1 - 2,8)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	140,4	1660,0	<0,1
S1PC (parete)	S1PC1 (0 - 1)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	S1PC1 (1 - 2,8)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
S1PD (parete)	S1PD (0 -1)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	S1PD (1 - 2,8)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	390,7	7,9	<0,1
S1PFA (fondo)	S1PFA1 (-2,8)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	188,6	5490,0	1,5
	S1PFA2 (-2,8)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	242,8	<5,0	7,8
SAGGI											
Saggi	Saggio 1 (-2 m)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	Saggio 2 (-2 m)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	Saggio 3 (-2 m)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
FOSSO / CANALETTA											
Fosso	campione fosso 1 (1,2 m)	05/10/2015	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	6,49	< 10	4,71
	campione fosso 2 (1,8 m)	05/10/2015	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 5	< 10	0,21
Canaletta 1 tratto 1	SC1PA1	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	63,6	<0,1
	SC1PB1	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	1240	0,2
	SC1F1 (-1,8 m)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	66,8	3532	<0,1
Canaletta 1 tratto 2	SC1PA2	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	64,5	6375	0,1
	SC1PB2	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	81,2	3217,3	0,3
	SC1F2 (-1,8 m)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	76,3	2934,9	0,1
Canaletta 1 tratto 3	SC1PA3	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	59,3	<0,1
	SC1PB3	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	0,1
	SC1F3 (-1,8 m)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
Canaletta 1 tratto 4	SC1PA4	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	SC1PB4	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	0,2
	SC1PF4 (-1,8 m)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
Canaletta 1 tratto 5	SC1PA5	08/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	SC1PB5	08/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	SC1F5 (-1,8 m)	08/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
Canaletta 2 tratto 1	SC2PA	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	0,1
	SC2PB	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	<1,0	<5,0	<0,1
	SC2FA (-1 m)	06/10/2015	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,10	36,6	<5,0	0,2

* CSC per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale sono normate dalla Colonna A dell'Allegato 5 al titolo V della parte quarta del DLgs 152/2006

** Il limite proposto da ISS per MTBE nei terreni per suoli ad uso verde pubblico privato e residenziale è 10 mg/kg (Parere ISS del 2001 n. 57058 IA/12).

Tabella 1
Tabella riepilogativa dei risultati analitici dei terreni



Piezometro	Campione (profondità di prelievo)	Data prelievo	Benzene	Etilbenzene	Stirene	Toluene	Xilene	Solventi organici aromatici (Sommatoria organici aromatici)	Idrocarburi C<12	Idrocarburi C>12	MBE **
			mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS
CSC *			0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	10	50	10
PZ12	PZ12 (0 - 1 m)	15/06/2016	<0,0056	<0,0056	<0,0056	<0,0056	<0,03	<0,05	<1,1	18,2	<0,0056
	PZ12 (2,5 - 3,5 m)	15/06/2016	<0,0043	<0,0043	<0,0043	<0,0043	<0,03	<0,05	<0,87	<8	<0,0043
	PZ12 (5,5 - 6,5 m)	15/06/2016	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,03	<0,05	<1	18,7	<0,0050
PZ13	PZ13 (2,5 - 3,5 m)	14/06/2016	<0,0053	<0,0053	<0,0053	<0,0053	<0,03	<0,05	<1,1	8,1	<0,0053
	PZ13 (5,0 - 6,0 m)	15/06/2016	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,03	<0,05	<0,89	<8,4	<0,0044
PZ14	PZ14 (0 - 1 m)	14/06/2016	<0,0065	<0,0065	<0,0065	<0,0065	<0,03	<0,05	<1,3	20	<0,0065
	PZ14 (2,5 - 3,5 m)	14/06/2016	<0,0053	<0,0053	<0,0053	<0,0053	<0,03	<0,05	<1,1	11,9	<0,0053
	PZ14 (5,0 - 6,0 m)	15/06/2016	<0,0048	<0,0048	<0,0048	<0,0048	0,112	0,112	103	1130	<0,0048
PZ15	PZ15 (0 - 1 m)	20/06/2016	<0,0043	<0,0043	<0,0043	0,0049	<0,03	<0,05	<0,85	9,1	<0,0043
	PZ15 (2,0 - 3,0 m)	20/06/2016	<0,0051	<0,0051	<0,0051	0,0059	<0,03	<0,05	<1	<8,3	<0,0051
	PZ15 (4,0 - 5,0 m)	20/06/2016	<0,0042	<0,0042	<0,0042	0,0047	<0,03	<0,05	<0,83	<8,1	<0,0042
PZ16	PZ16 (0 - 1 m)	20/06/2016	<0,0063	<0,0063	<0,0063	0,0077	<0,03	0,077	<1,3	23,6	<0,0063
	PZ16 (2,0 - 3,0 m)	20/06/2016	<0,0053	<0,0053	<0,0053	0,0062	<0,03	<0,05	<1,1	<8,4	<0,0053
	PZ16 (4,0 - 5,0 m)	20/06/2016	<0,0043	<0,0043	<0,0043	0,0053	<0,03	<0,05	<0,87	<8,4	<0,0047
BH1	BH1 (0 - 1 m)	16/06/2016	<0,0047	<0,0047	<0,0047	<0,0047	<0,03	<0,05	<0,95	11,5	<0,0047
	BH1 (2 - 3 m)	16/06/2016	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,03	<0,05	<1	11	<0,0050
	BH1 (4 - 5 m)***	16/06/2016	<0,0047	<0,0047	<0,0047	<0,0047	<0,03	<0,05	<0,94	<8,6	<0,0047
BH2	BH1 (4 - 5 m)	16/06/2016	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	<0,1	<1	<40	<0,02
	BH2 (0 - 1 m)***	16/06/2016	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,03	<0,05	<1,3	11,8	<0,0063
	BH2 (0 - 1 m)	16/06/2016	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	<0,1	<1	<40	<0,02
	BH2 (2 - 3 m)	16/06/2016	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,03	<0,05	<0,88	8,5	<0,0044
	BH2 (4 - 5 m)	16/06/2016	<0,0049	<0,0049	<0,0049	<0,0049	<0,03	<0,05	<0,97	<8,1	<0,0049
BH3	BH3 (0 - 1 m)**	16/06/2016	<0,0062	<0,0062	<0,0062	<0,0062	<0,03	<0,05	<1,2	36	<0,0062
	BH3 (0 - 1 m)	16/06/2016	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	<0,1	<1	<40	<0,02
	BH3 (2 - 3 m)	16/06/2016	<0,0048	<0,0048	<0,0048	<0,0048	<0,03	<0,05	44	1030	<0,0048
	BH3 (3,5 - 4,5 m)***	16/06/2016	<0,0049	<0,0049	<0,0049	<0,0049	<0,03	<0,05	<0,99	51	<0,0049
	BH3 (3,5 - 4,5 m)	16/06/2016	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	<0,1	<1	<40	<0,02
BH4	BH4 (0 - 1 m)	16/06/2016	<0,0055	<0,0055	<0,0055	<0,0055	<0,03	<0,05	<1,1	<8,5	<0,0055
	BH4 (2 - 3 m)***	16/06/2016	<0,0052	<0,0052	<0,0052	<0,0052			<1	<8,1	<0,0052
	BH4 (2 - 3 m)	16/06/2016	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	<0,1	<1	<40	<0,02
	BH4 (3,5 - 4,5 m)***	16/06/2016	<0,0053	0,0085	<0,0053	<0,0053	2,41	2,5	117	1690	<0,0053
	BH4 (3,5 - 4,5 m)	16/06/2016	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	<0,1	<1	<40	<0,02
BH5	BH5 (0 - 1 m)	16/06/2016	<0,0048	0,014	<0,0048	0,0258	0,97	1,04	65	142	0,034
	BH5 (2 - 3 m)	16/06/2016	<0,0058	<0,0058	<0,0058	<0,0058	<0,03	<0,05	<1,2	21,9	<0,0058
	BH5 (3,5 - 4,5 m)***	16/06/2016	<0,0058	0,18	<0,0058	0,039	24,5	26,7	330	3750	<0,0058
PZ17	BH5 (3,5 - 4,5 m)	16/06/2016	<0,02	0,21	<0,02	0,15	-	2,2	183	1497	<0,02
	PZ17 (0 - 1 m)	20/04/2016	<0,0061	<0,0061	<0,0061	<0,0061	<0,03	<0,05	<1,2	11,6	<0,0061
PZ18	PZ17 (1 - 2 m)	20/04/2016	<0,0061	<0,0061	<0,0061	<0,0061	<0,03	<0,05	<1,2	15,7	<0,0061
	PZ18 (0 - 1 m)	20/04/2016	<0,0057	<0,0057	<0,0057	<0,0057	<0,03	<0,05	<1,1	8,6	<0,0057
PZ19	PZ18 (1 - 2 m)	20/04/2016	<0,0059	<0,0059	<0,0059	<0,0059	<0,03	<0,05	<1,2	<9	<0,0059
	PZ19 (0 - 1 m)	19/04/2016	<0,0057	<0,0057	<0,0057	<0,0057	<0,03	<0,05	<1,1	9,1	<0,0057
PZ20	PZ19 (1 - 2 m)	19/04/2016	<0,0080	<0,0080	<0,0080	<0,0080	<0,03	<0,05	<1,6	23,2	<0,0080
	PZ20 (0 - 1 m)	21/04/2016	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,0063	<0,03	<0,05	<1,3	<8,8	<0,0063
PZ21	PZ20 (1 - 2 m)	21/04/2016	<0,0048	<0,0048	<0,0048	<0,0048	<0,03	<0,05	<0,95	<8,8	<0,0048
	PZ 21 (0 - 0,6 m)	27/04/2016	<0,0067	<0,0067	<0,0067	<0,0067	<0,03	<0,05	<1,3	46,5	<0,0067
	PZ 21 (0,6 - 1,6 m)	27/04/2016	<0,0068	0,116	<0,0068	0,237	0,75	1,1	50	277	0,0167
PZ22	PZ 21 (1,6 - 2,6 m)	27/04/2016	<0,0043	<0,0043	<0,0043	<0,0043	0,045	0,05	14,2	114	<0,0043
	PZ 22 (0 - 0,6 m)	28/04/2016	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,03	<0,05	<2,7	52	<0,014
	PZ 22 (0,6 - 1,6 m)	28/04/2016	<0,0056	<0,0056	<0,0056	<0,0056	<0,03	<0,05	<1,1	17,6	0,0076
PZ23	PZ 22 (1,6 - 2,6 m)	28/04/2016	<0,0082	<0,0082	<0,0082	<0,0082	<0,03	<0,05	<1,6	19,1	<0,0082
	PZ 23 (0 - 1,0 m)	27/04/2016	<0,0055	<0,0055	<0,0055	<0,0055	<0,03	<0,05	<1,1	12,1	<0,0055
	PZ 23 (1,0 - 2,0 m)	27/04/2016	<0,0047	<0,0047	<0,0047	<0,0047	<0,03	<0,05	<0,95	<8,1	<0,0047
PZ24	PZ 23 (2,0 - 3,0 m)	27/04/2016	<0,0049	<0,0049	<0,0049	<0,0049	<0,03	<0,05	<0,97	8,2	<0,0049
	PZ 24 (0 - 1,0 m)	28/04/2016	<0,0053	<0,0053	<0,0053	<0,0053	<0,03	<0,05	<1,1	43,9	<0,0053
	PZ 24 (2,0 - 3,0 m)	28/04/2016	<0,0043	<0,0043	<0,0043	<0,0043	<0,03	<0,05	<0,87	8,3	<0,0043
	PZ 24 (4,0 - 5,0 m)	28/04/2016	<0,0040	0,229	<0,0040	0,18	5,1	5,5	92	1020	<0,0040

risultati ARPA

* CSC per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale sono normate dalla Colonna A dell'Allegato 5 al titolo V della parte quarta del DLgs 152/2006
** Il limite proposto da ISS per MTBE nei terreni per suoli ad uso verde pubblico privato e residenziale è 10 mg/kg (Parere ISS del 2001 n. 57058 IA/12).
*** Campione prelevato in contraddittorio con ARPA

Tabella 1
Tabella riepilogativa dei risultati analitici dei terreni



Punto di prelievo	Campione (profondità di prelievo)	Data prelievo	BENZENE	TOLUENE	ETILBENZENE	XILENI TOTALI	STIRENE	SOMMATORIA ORGANICI AROMATICI (ETILBENZENE, STIRENE, TOLUENE, XILENE)	M+P XILENE (DA CALCOLO)	O-XILENE	IDROCARBURI C>12	IDROCARBURI LEGGERI C<=12	MTBE **
			mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS	mg/kg SS
CSC *			0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	-	-	50	10	10
TERRENO SUPERFICIALE													
BH6	BH6 (0-1)***	22/11/2017	0,03	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
BH7	BH7 (0-1)***	22/11/2017	0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
BH8	BH8 (0-0,6)	21/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
	BH8 (0,6-1)***	21/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	12,9	< 1,0	< 0,1
	BH8 (0,5-1)	21/11/2017	<0,02	<0,02	<0,02	-	<0,02	<0,1	<0,04	<0,02	<40	<1	<0,02
BH9	BH9 (0-1)***	21/11/2017	0,03	0,36	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,36	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
BH11	BH11 (0-1)	22/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	122	< 1,0	< 0,1
BH12	BH12 (0-1)	22/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
S3	S3 (0-0,6)	20/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
	S3 (0,6-1)	20/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
S4	S4 (0-0,6)	20/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	39,6	< 1,0	< 0,1
	S4 (0,6-1)	20/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
S5	S5 (0-0,6)	20/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	26	< 1,0	< 0,1
	S5 (0,6-1)	20/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
S6	S6 (0-0,5)	20/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	28,8	< 1,0	< 0,1
S7	S7 (0-1)	20/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	25,7	< 1,0	< 0,1
S8	S8 (0-0,6)	20/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	35,7	< 1,0	< 0,1
	S8 (0,6-1)	20/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	159	< 1,0	< 0,1
S9	S9 (0-0,4)	20/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
S10	S10 (0-0,5)	20/11/2017	0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
S11	S11 (0-0,6)	20/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	27	< 1,0	< 0,1
S12	S12 (0-0,6)	22/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
TERRENO PROFONDO													
S7	S7 (1-1,5)	20/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	19,5	< 1,0	< 0,1
S8	S8 (1-1,5)	20/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	21,5	< 1,0	< 0,1
BH6	BH6 (2-3)***	22/11/2017	0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
	BH6 (3,5-4,5)***	22/11/2017	0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
	BH6 (3,5-4,5)	22/11/2017	-	-	-	-	-	-	-	-	<40	-	-
BH7	BH7 (2-3)***	22/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
	BH7 (3,5-4,5)***	22/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
	BH7 (3,5-4,5)	22/11/2017	-	-	-	-	-	-	-	-	<40	-	-
BH8	BH8 (2-3)***	21/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	31,1	< 1,0	< 0,1
	BH8 (2-3)	21/11/2017	<0,02	<0,02	<0,02	-	<0,02	<0,1	<0,04	<0,02	<40	<1	<0,02
	BH8 bis (3,5-4,5)***	21/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	64	< 1,0	< 0,1
	BH8 bis (3,5-4,5)	21/11/2017	<0,02	<0,02	<0,02	-	<0,02	<0,1	<0,04	<0,02	<40	<1	<0,02
BH9	BH9 (2-3)***	21/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
	BH9 (3,5-4,5)***	21/11/2017	0,03	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
	BH9 (3,5-4,5)	21/11/2017	-	-	-	-	-	-	-	-	<40	-	-
BH10	BH10 (0,8 - 1,8)	22/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
	BH10 (3-4)	22/11/2017	0,02	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
	BH10 (5,2-6,2)***	22/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1
	BH10 (5,2-6,2)	22/11/2017	-	-	-	-	-	-	-	-	<40	-	-
BH12	BH12 (2-3)	22/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	8,5	< 1,0	< 0,1
	BH12 (3,5-4,5)	22/11/2017	< 0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,08	< 0,05	< 5,0	< 1,0	< 0,1

* CSC per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale sono normate dalla Colonna A dell'Allegato 5 al titolo V della parte quarta del DLgs 152/2006

** Il limite proposto da ISS per MTBE nei terreni per suoli ad uso verde pubblico privato e residenziale è 10 mg/kg (Parere ISS del 2001 n. 57058 IA/12).

*** Campione prelevato in contraddittorio con ARPA

Tabella 3 - Screening matrix delle tecnologie proposte																						
												<div><div>The iT Group</div><div>Clear Intelligence</div></div>										
AREA	SORGENTE	MATRICE	granulometria/ permeabilità	estensione (m2)	profondità (m da p.c.)	volume (m3)	contaminate/concentrazione massima registrata	obiettivi di bonifica	percentuale da abbattere	note/criticità	Tecnologie	screening matrix (punteggio da 1 a 5)										TOTALE
												Fattibilità tecnica	Stato della tecnologia	Disponibilità dei fornitori	Applicabilità/Fattibilità alla matrice ambientale contaminata in esame	Applicabilità ai contaminanti in sito	Accettabilità da parte delle PPAA	Tempo di bonifica	O&M costs e Capital investments	Rapporto Costi/benefici	Sostenibilità	
EFFRAZIONE	2S	Suolo	sabbioso-ghiaioso	208	1	90-170	C>12 [6.375 mg/kg]	1.893,44 mg/kg	70%	area agricola/canale irriguo	Dig&Dump (con ripristino canale a bonifica completa)	5	5	5	5	5	5	5	5	4	1	45
											Landfarming	5	5	5	2	3	4	2	3	3	4	36
											Bioventing (Biorisanamento)	1	5	5	1	3	1	3	2	1	4	26
											Soil flushing	1	5	5	1	3	1	3	3	1	4	27
											Phytoremediation	5	5	5	5	4	5	1	5	5	5	45
	2P	sottosuolo	sabbioso-ghiaioso	365	variabile tra 1 e 5	421	C>12 [5.490 mg/kg]	936,91 mg/kg	83%	area agricola/canale irriguo	Dig&Dump	2	5	5	3	5	2	5	1	1	1	30
							C<12 [390 mg/kg]	56,22 mg/kg	86%		Bioventing (Biorisanamento)	5	5	5	5	5	5	3	4	4	4	45
							Xileni [24,5 mg/kg]		19%		Soil flushing (con acque di reimmissione+surfactanti)	4	5	5	5	5	4	4	4	4	5	45
											Phytoremediation	5	5	5	5	5	5	2	5	5	5	47
	2A	acque sotterranee	1,2*10-3 m/s	-	5,5	-	prodotto surnatante	1.764,1 µg/l (per Benzene)	-	area agricola/canale irriguo	P&T (con reimmissione in falda)	5	5	5	5	5	5	5	3	3	4	45
											barriera permeabile reattiva	3	3	3	3	3	2	1	3	2	4	27
											Monitoraggio Attenuazione naturale	5	5	5	5	2	2	1	5	5	5	40
											AS/Bs (applicabilità limitata per presenza prodotto surnatante)	5	5	5	5	2	5	4	3	3	3	40
MONTE RISORGIVE	2P	sottosuolo	sabbioso-ghiaioso-limoso	3.400	da 5 a 6,2	3.400	C>12 [1.130 mg/kg]	936,91 mg/kg	17%	area agricola/canale irriguo	Dig&Dump	1	5	5	2	5	1	5	4	1	1	30
							C<12 [103 mg/kg]	56,22 mg/kg	45%		Bioventing (Biorisanamento)	5	5	5	5	5	5	3	4	4	4	45
							Phytoremediation	5	5		5	5	5	5	1	5	5	5	46			
RISORGIVE (BOSCO)	1P	sottosuolo	sabbioso-ghiaiaia	1.700	da 4 a 5	1.700	Xileni [5,10 mg/kg]	3,41 mg/kg	33%	area boschiva/versante acclive	Dig&Dump	1	5	5	2	5	1	5	4	1	1	30
											Bioventing (Biorisanamento) (ove possibile)	5	5	5	5	5	5	3	3	2	4	42
											Phytoremediation (ove possibile)	5	5	5	5	5	5	2	5	5	5	47
	1A	acque sotterranee	fra 1*10-4 m/s e 7*10-5 m/s			-	prodotto surnatante	546,67 µg/l (per p-Xilene)	-	area boschiva	emungimento (P&T) (ove possibile)	5	5	5	5	5	4	2	3	3	3	40
											AS/Bs	1	5	5	1	1	2	2	3	1	3	24
											barriera permeabile reattiva (ove possibile)	2	3	3	3	4	2	2	3	4	4	30
											barriere microbiologiche (ove possibile)	2	1	4	2	4	2	2	3	2	5	27
											Phytoremediation (ove possibile)	5	5	5	5	5	5	1	5	5	5	46

TABELLA 4 Computo Metrico

Sito: Oleodotto 10” Sannazzaro-Rho, Comune di Morimondo (MI)
Committente: Eni SpA
Oggetto: Progetto Operativo di Bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 – FASE I

Maggio 2019


Tabella 4 - Computo metrico								
Documento:		Progetto Operativo di Bonifica						
Sito:		Oleodotto 10” Sannazzaro-Rho, Comune di Morimondo (MI)						
AREA	ATTVITA'	Item	DESCRIZIONE	QUANTITA'	U.M.	IMPORTO UNITARIO	IMPORTO TOTALE	
Area effrazione	Bonifica suolo superficiale	1	Accantieramento	1	forfait	€ 5.000,00	€ 5.000,00	
		2	Scavo, carico terreno, sistemazione terreno di riempimento	5	gg	€ 2.000,00	€ 10.000,00	
		3	Trasporto e smaltimento terreno di scavo (non pericoloso)	280	t	€ 120,00	€ 33.600,00	
		4	Laboratorio mobile per caratterizzazione rifiuti	3	gg	€ 1.800,00	€ 5.400,00	
		5	Attività di campionamento ed analisi per collaudo fondo scavo e pareti	1	forfait	€ 5.000,00	€ 5.000,00	
		6	Fornitura e posa materiale granulare sottosuolo profondo	30	mc	€ 45,00	€ 5.000,00	
		7	Fornitura e posa terreno vegetale per ritombamento scavo	100	mc	€ 55,00	€ 5.000,00	
		8	Posa e sistemazione terreno per ritombamento	3	gg	€ 1.000,00	€ 3.000,00	
		9	Modellazione e sistemazione canale irriguo	1	forfait	€ 1.000,00	€ 1.000,00	
	Indagini integrative	10	Indagine mediante LIF e/o altra metodica compresi eventuali approfondimenti	1	forfait	€ 15.000,00	€ 15.000,00	
	Test Pilota	11	Test pilota Bioventing (compresa installazione campo prova)	1	forfait	€ 15.000,00	€ 15.000,00	
		12	Test pilota Soil Flushing (compresa installazione campo prova)	1	forfait	€ 20.000,00	€ 20.000,00	
		13	Test pilota Soil Flushing + surfactanti (compresa installazione campo prova)	1	forfait	€ 10.000,00	€ 10.000,00	
	Bonifica acque sotterranee	14	Realizzazione pozzi di reimmissione da 8" di diametro	2	cad	€ 8.000,00	€ 16.000,00	
		15	Fornitura ed installazione impianto reimmissione	1	forfait	€ 25.000,00	€ 25.000,00	
		16	Revamping ed adeguamento impianto di P&T	1	forfait	€ 10.000,00	€ 10.000,00	
		17	Gestione e manutenzioni impianto di P&T e di reimmissione	16	mese	€ 1.500,00	€ 24.000,00	
		18	Verifiche analitiche impianto P&T e reimmissione	96	cad	€ 100,00	€ 9.600,00	
		19	Monitoraggi acque di falda	35	cad	€ 200,00	€ 7.000,00	
	Gestione rifiuti	20	Gestione rifiuti prodotti dalle attività di bonifica, indagini ed esecuzione test	1	forfait	€ 3.000,00	€ 3.000,00	
	PROGETTO FASE II		38	STIMA - Fase II impianto di BV per Hot spot e gestione per 12 mesi	1	forfait	€ 40.000,00	€ 40.000,00
			21	Totale Parziale				
Area Monte Risorgive	Indagini integrative	22	Indagine mediante LIF e/o altra metodica compresi eventuali approfondimenti	1	forfait	€ 30.000,00	€ 30.000,00	
		23	Realizzazione nuovi piezometri Pz25 e Pz26 e relativi campionamenti terreni	2	cad	€ 3.000,00	€ 6.000,00	
	Bonifica acque sotterranee	24	Monitoraggi acque di falda	40	cad	€ 200,00	€ 8.000,00	
		25	Gestione e manutenzioni barriera "Monte Risorgive"	16	mese	€ 1.000,00	€ 16.000,00	
		26	Gestione rifiuti derivanti dalle attività di bonifica mediante P&T	1	forfait	€ 4.000,00	€ 4.000,00	
	PROGETTO FASE II		38	STIMA - impianto di BV per Hot spot e gestione per 12 mesi	1	forfait	€ 65.000,00	€ 65.000,00
		27	Totale Parziale					€ 129.000,00
Area Risorgive-Bosco	Bonifica suolo profondo e acque sotterranee	28	Monitoraggi acque di falda	41	cad	€ 100,00	€ 4.100,00	
		29	Monitoraggi acque superficiali	72	cad	€ 100,00	€ 7.200,00	
		30	Installazione pompa emungimento in Pz21	1	forfait	€ 8.000,00	€ 8.000,00	
		31	Gestione e manutenzioni ordinaria/straordinaria emungimento Pz21	16	mese	€ 300,00	€ 4.800,00	
		32	Gestione e manutenzione SAMIS	12	mese	€ 8.000,00	€ 96.000,00	
		32BIS	posa Panne in attesa attecchimento Fitoremedio	12	mese	€ 3.000,00	€ 36.000,00	
		33	Fitorimediazione:	1				
			In area PZ21, in corrispondenza dell'incolto, quale coadiuvante della bonifica: Piantumazione a pioppi ed ontani	1	forfait	€ 20.000,00	€ 20.000,00	
			STIMA Fase II - Sorgente Alta: Impianto di fitodepurazione a Phragmites australis	1	forfait	€ 60.000,00	€ 60.000,00	
		34	Gestione impianti fitorimediazione	1	forfait	€ 20.000,00	€ 20.000,00	
		35	Gestione panne oleoassorbenti lungo i corsi d'acqua pre-fitorimediazione	1	forfait	€ 30.000,00	€ 30.000,00	
		36	Gestione rifiuti prodotti dalle attività	1	forfait	€ 15.000,00	€ 15.000,00	
		37	Compensazione con piantumazione e pulizia del Bosco	1	forfait	€ 60.000,00	€ 60.000,00	
		38	Monitoraggi della componenete Ecologica	1	forfait	€ 120.000,00	€ 120.000,00	
		PROGETTO FASE II		37	STIMA - impianto di BV per Hot spot 24 e gestione per 12 mesi	1	forfait	€ 25.000,00
Generale	Management/supervisioni	39	Attività di gestione bonifica, supervisioni di campo e redazione rapporti tecnici di monitoraggio	1	forfait	€ 160.000,00	€ 160.000,00	
	Oneri PPAA	40	Oneri PPAA (analisi Arpa, Oneri istruttori ecc.)	1	forfait	€ 20.000,00	€ 20.000,00	
	Fornitura corrente elettrica	41	Stima consumo corrente elettrica ed oneri di trasporto e sistema per tutta la durata della bonifica	1	forfait	€ 30.000,00	€ 30.000,00	
	Direzione lavori	42	Oneri per direzione lavori	1	forfait	€ 20.000,00	€ 20.000,00	
	Varie ed eventuali	43	Interventi straordinari ed imprevisti	1	forfait	€ 10.000,00	€ 10.000,00	
		44	Totale Parziale					€ 746.100,00
		45	TOTALE					€ 1.142.700,00

TABELLA 5 Cronoprogramma

Sito: Oleodotto 10” Sannazzaro-Rho, Comune di Morimondo (MI)
Committente: Eni SpA
Oggetto: Progetto Operativo di Bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 – FASE I

Maggio 2019

Tabella 5 - Cronoprogramma delle attività																
ATTIVITA' PREVISTE	ATTIVITA' DI BONIFICA															
	MESI															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
FASE 1																
Area Effrazione																
Indagini Integrative LIF (Sottosuolo/Acque sotterranee)																
Scavi e Smaltimento (Sorgente 2S Insaturo Superficiale)																
Test Pilota BV e SF (Sorgente 2P Insaturo Profondo)																
P&T + Reimmissione (Acque Sotterranee)																
Area Monte Risorgive																
Indagini Integrative LIF (Sottosuolo/Acque sotterranee)																
P&T																
Area Risorgive																
Indagini Integrative LIF (Sottosuolo/Acque sotterranee)																
P&T in PZ21 + Reimmissione (Acque Sotterranee)																
Fitorisanamento																

NOTE:

- Si stima di procedere con l'inizio delle attività di Bonifica entro n. 3 mesi dall'approvazione del relativo Progetto.
- A seguito del recepimento delle indagini integrative sarà redatto il Progetto di Bonifica di Fase 2; le relative tempistiche andranno ad integrarsi col presente cronoprogramma

TAVOLE

TAVOLA 1	Planimetria generale del sito con ubicazione dei punti di monitoraggio/campionamento (acque sotterranee e superficiali)
TAVOLA 1A	Planimetria del sito con ubicazione piezometri su stralcio di mappa catastale
TAVOLA 1B1	Planimetria del sito con definizione del sito potenzialmente contaminato e dei mappali di riferimento – Suolo superficiale – Area Effrazione
TAVOLA 1B2	Planimetria del sito con definizione del sito potenzialmente contaminato e dei mappali di riferimento – Suolo profondo – Area Effrazione
TAVOLA 1C	Planimetria del sito con definizione del sito potenzialmente contaminato e dei mappali di riferimento – Suolo profondo – Monte risorgive
TAVOLA 1D	Planimetria del sito con definizione del sito potenzialmente contaminato e dei mappali di riferimento – Suolo profondo – Area risorgive bosco
TAVOLA 1E	Planimetria del sito con ubicazione piezometri su stralcio di mappa catastale
TAVOLA 2 A	Carta piezometrica del maggio 2018
TAVOLA 2B	Carte piezometrica del luglio 2018
TAVOLA 2C	Carte piezometrica del settembre 2018
TAVOLA 2D	Carte piezometrica del dicembre 2018
TAVOLA 2E	Carte piezometrica del marzo 2019
TAVOLA 3A1	Poligoni di Thiessen suolo insaturo superficiale - Area Effrazione
TAVOLA 3A2	Area Sorgente suolo insaturo superficiale - Area Effrazione
TAVOLA 3B	Areale di scavo proposto, suolo insaturo superficiale – Area effrazione
TAVOLA 3C	Ubicazione punti di collaudo proposti dello scavo del terreno insaturo superficiale presso Area Effrazione
TAVOLA 4A1	Poligoni di Thiessen sottosuolo insaturo profondo - Area Effrazione
TAVOLA 4A2	Areale da sottoporre a bonifica sottosuolo insaturo profondo – Area Effrazione
TAVOLA 5	Ubicazione indagini integrative Area Effrazione maglia 5x5 m
TAVOLA 6	Barriera idraulica ed ubicazione pozzi di reimmissione - Area Effrazione
TAVOLA 6A	Layout impianto di P&T stato attuale
TAVOLA 6B	Stralcio P&ID della barriera idraulica stato attuale
TAVOLA 7	Layout preliminare dell'impianto di reimmissione

Sito: Oleodotto 10" Sannazzaro-Rho, Comune di Morimondo (MI)

Committente: Eni SpA

Oggetto: Progetto Operativo di Bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 – FASE I

Maggio 2019

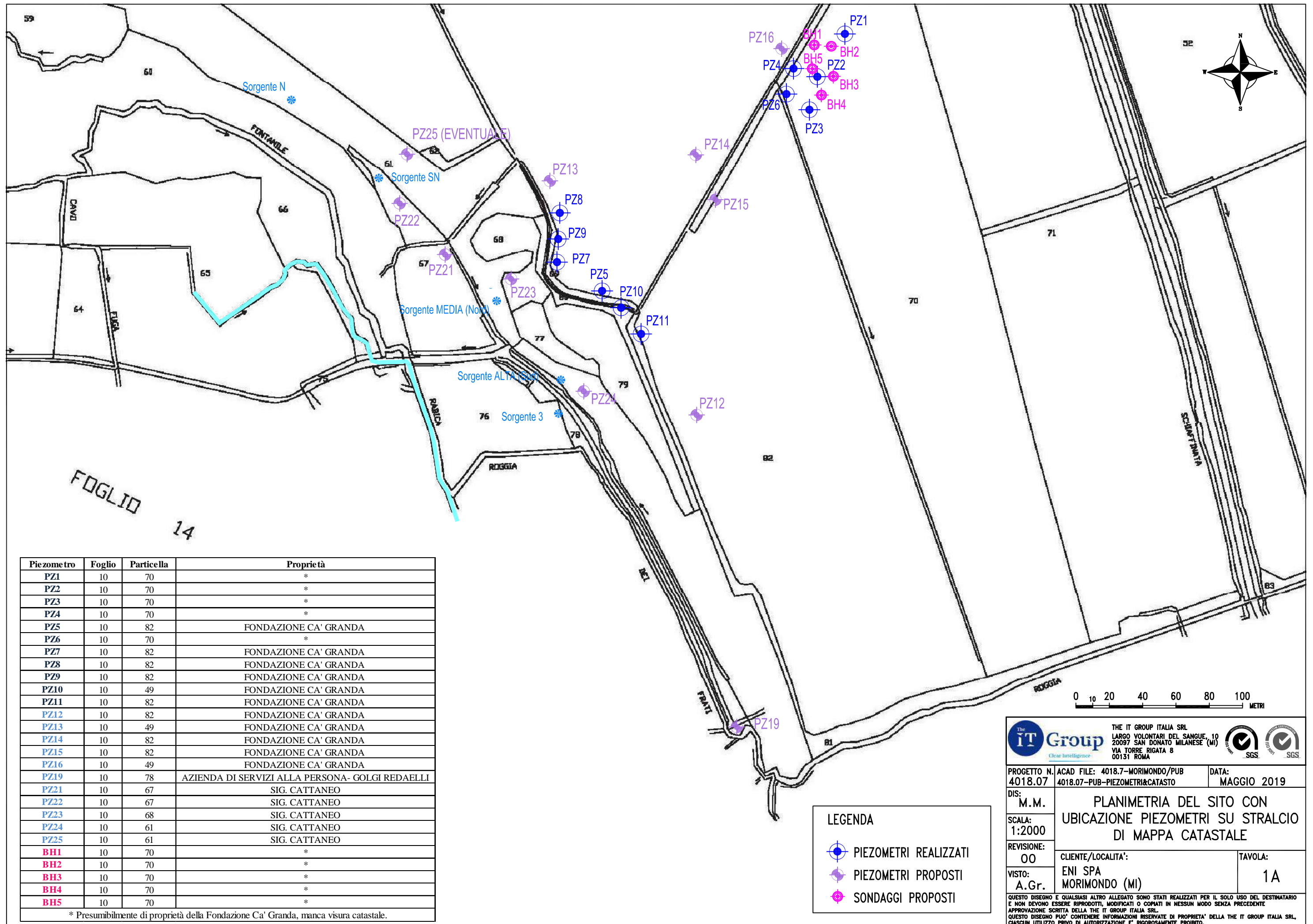
TAVOLA 8	P&ID preliminare dell'impianto di reimmissione
TAVOLA 9A	Ubicazione campo prova test pilota SF
TAVOLA 9B	Ubicazione campo prova test pilota BV
TAVOLA 10	Ubicazione indagini integrative Area Monte Risorgive maglia 10x10 m
TAVOLA 11A1	Poligoni di Thiessen sottosuolo insaturo profondo presso Area Monte Risorgive e Risorgive
TAVOLA 11A2	Areale di contaminazione sottosuolo insaturo profondo presso Area Monte Risorgive
TAVOLA 12A	Poligoni di Thiessen sottosuolo insaturo superficiale presso Area Risorgive
TAVOLA 12B	Areale di contaminazione sottosuolo insaturo profondo presso Area Risorgive
TAVOLA 13	Schema Processo di Fitorisanamento
TAVOLA 14	Fitorisanamento/Compensazione – Area Risorgive
TAVOLA 15	Fitorisanamento con piantumazione Pioppi/Ontani
TAVOLA 16	Fitorisanamento con Phragmites
TAVOLA 17	Attività compensativa Piantumazione
TAVOLA 18	Schema di impianto (1 ha) Pioppi/Ontani

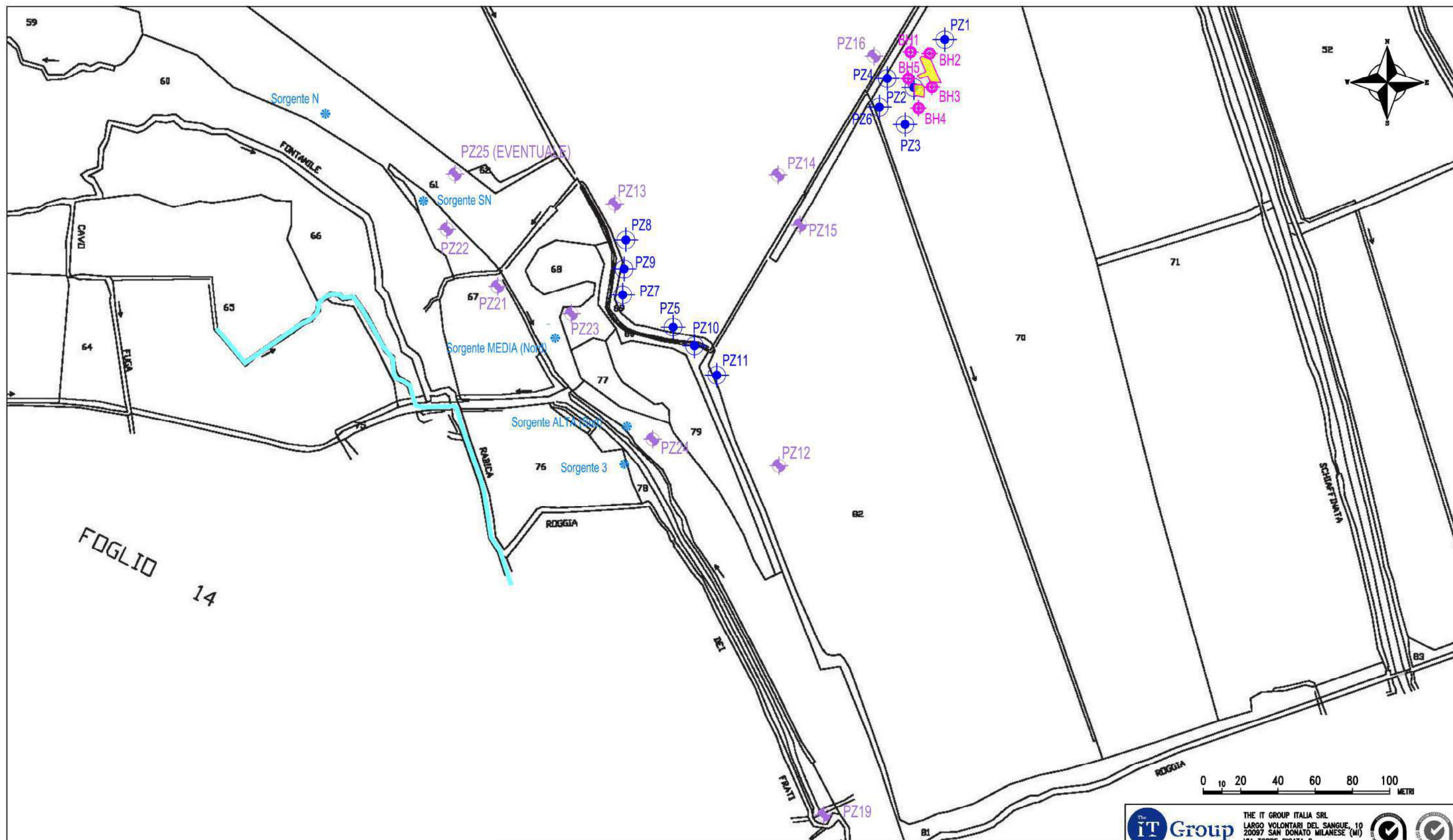
Sito: Oleodotto 10" Sannazzaro-Rho, Comune di Morimondo (MI)

Committente: Eni SpA

Oggetto: Progetto Operativo di Bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 – FASE I

Maggio 2019





LEGENDA

- PIEZOMETRI REALIZZATI
- PIEZOMETRI PROPOSTI
- SONDAGGI PROPOSTI

- AREALE SORGENTE DI CONTAMINAZIONE - 1S
- AREALE SORGENTE DI CONTAMINAZIONE - 1P

AREALE SORGENTE 1A

SITO POTENZIALMENTE CONTAMINATO :

SUPERFICIE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE TERRENI (TOTALE) 117 mq

MAPPALI DI RIFERIMENTO DA FOGLIO 14
DEL COMUNE DI MORIMONDO (MI) :

SUPERFICIE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE TERRENI (mappale 70) 117 mq

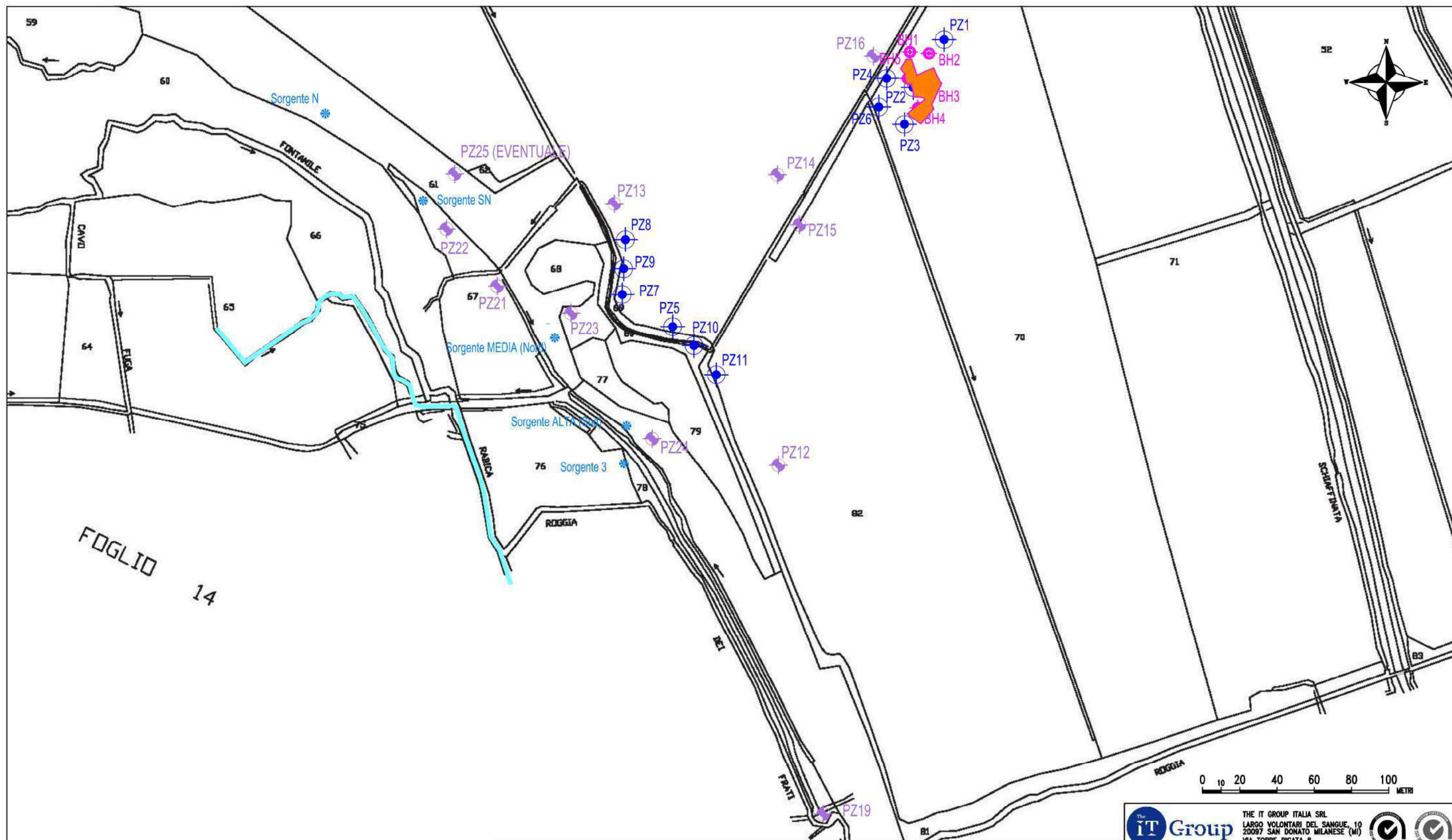


THE IT GROUP ITALIA SRL
LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
VIA TORRE RIGATA 8
00131 ROMA



PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.7-MORIMONDO/PUB 4018.07-PUB-SUPERFICIALE EFFRAZIONE	DATA: MAGGIO 2019
DIS: M.M.	PLANIMETRIA DEL SITO CON DEFINIZIONE DEL SITO POTENZIALMENTE CONTAMINATO E DEI MAPPALI DI RIFERIMENTO - SUOLO SUPERFICIALE - AREA EFFRAZIONE	
SCALA: 1:2000		
REVISIONE: 00	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA MORIMONDO (MI)	TAVOLA: 1B1
VISTO: A.Gr.		

QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.



LEGENDA

- PIEZOMETRI REALIZZATI
- PIEZOMETRI PROPOSTI
- SONDAGGI PROPOSTI

AREALE SORGENTE DI CONTAMINAZIONE - 1S

AREALE SORGENTE DI CONTAMINAZIONE - 1P

AREALE SORGENTE 1A

SITO POTENZIALMENTE CONTAMINATO :

SUPERFICIE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE TERRENI (TOTALE) 366 mq

MAPPALI DI RIFERIMENTO DA FOGLIO 14
DEL COMUNE DI MORIMONDO (MI) :

SUPERFICIE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE TERRENI (mappale 70) 366 mq



THE IT GROUP ITALIA SRL
LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
VIA TORRE RIGATA 8
00131 ROMA



PROGETTO N. 4018.07
ACAD FILE: 4018.7-MORIMONDO/PUB
4018.07-PUB-PROFONDO EFFRAZIONE

DATA:
MAGGIO 2019

DIS:
M.M.

SCALA:
1:2000

REVISIONE:
00

VISTO:
A.Gr.

PLANIMETRIA DEL SITO CON DEFINIZIONE
DEL SITO POTENZIALMENTE CONTAMINATO E
DEI MAPPALI DI RIFERIMENTO -
SUOLO PROFONDO - AREA EFFRAZIONE

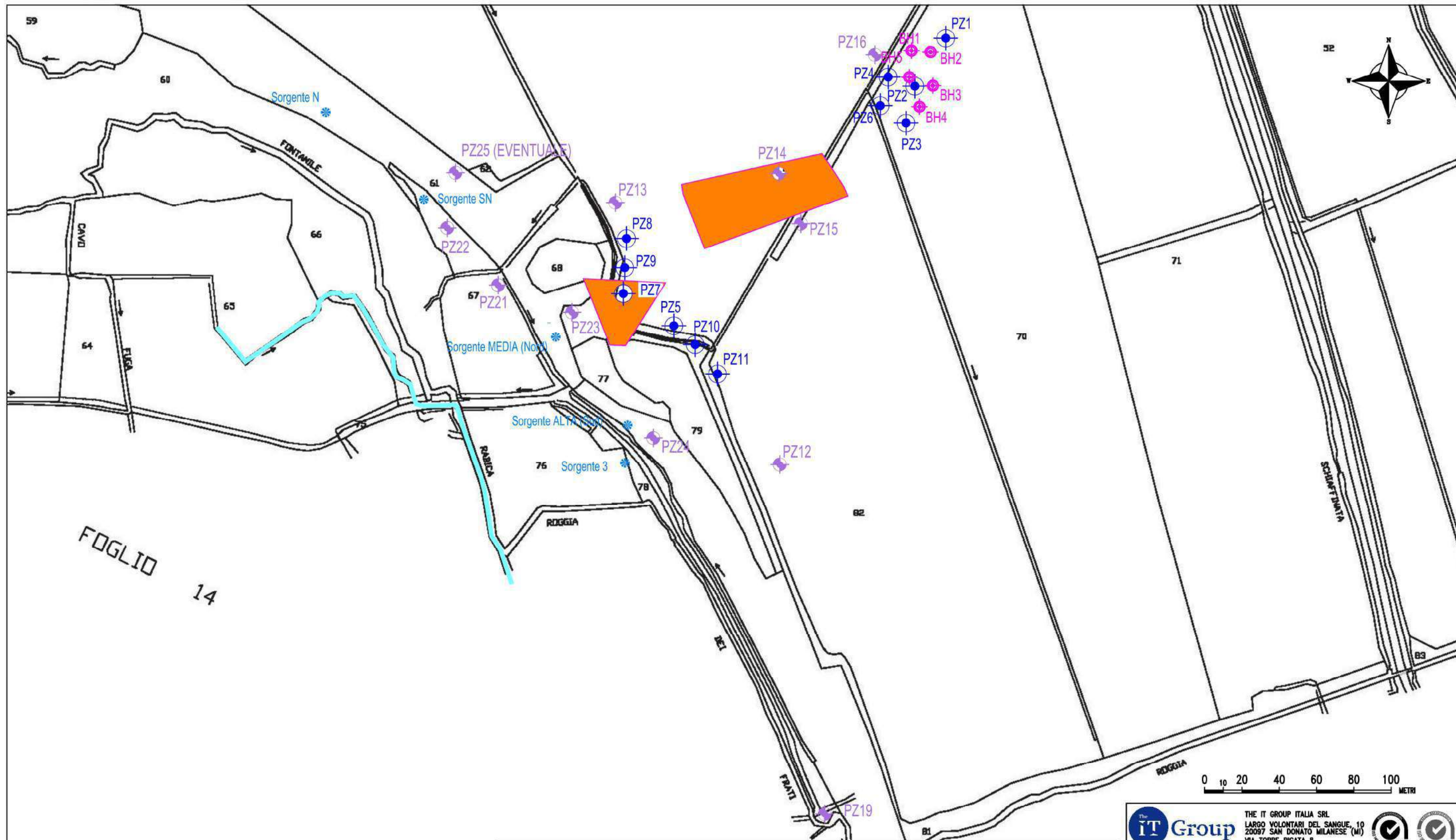
CLIENTE/LOCALITA':

ENI SPA
MORIMONDO (MI)

TAVOLA:

1B2

QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.



LEGENDA

- PIEZOMETRI REALIZZATI
- PIEZOMETRI PROPOSTI
- SONDAGGI PROPOSTI

- AREALE SORGENTE DI CONTAMINAZIONE - 1S
- AREALE SORGENTE DI CONTAMINAZIONE - 1P

AREALE SORGENTE 1A

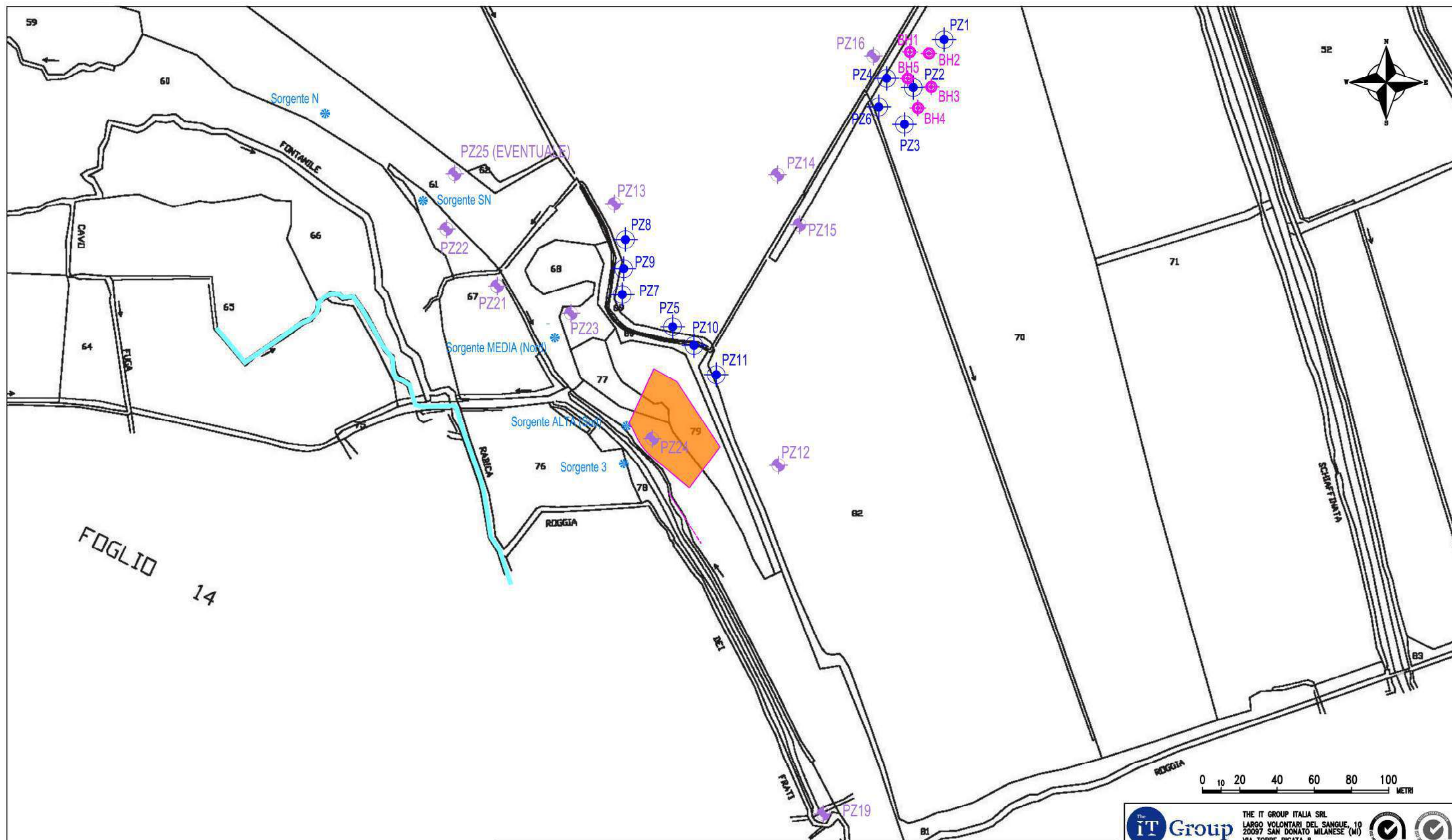
SITO POTENZIALMENTE CONTAMINATO :

SUPERFICIE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE TERRENI (TOTALE) 3443 mq

MAPPALI DI RIFERIMENTO DA FOGLIO 14
DEL COMUNE DI MORIMONDO (MI) :

82
SUPERFICIE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE TERRENI (mappale 82) 2886 mq
SUPERFICIE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE TERRENI (mappale 69) 313 mq
SUPERFICIE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE TERRENI (mappale 79) 54 mq
SUPERFICIE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE TERRENI (mappale 68) 158 mq
SUPERFICIE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE TERRENI (mappale 61) 32 mq

 IT Group <i>Clear Intelligence</i>		THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RIGATA 8 00131 ROMA		 SGS	 SGS
PROGETTO N. 4018.07		ACAD FILE: 4018.7-MORIMONDO/PUB 4018.07-PUB-PROFONDO MTE RISORGIVE		DATA: MAGGIO 2019	
DIS: M.M.		PLANIMETRIA DEL SITO CON DEFINIZIONE DEL SITO POTENZIALMENTE CONTAMINATO E DEI MAPPALI DI RIFERIMENTO - SUOLO PROFONDO - MONTE RISORGIVE			
SCALA: 1:2000					
REVISIONE: 00		CLIENTE/LOCALITA':		TAVOLA:	
VISTO: A.Gr.		ENI SPA MORIMONDO (MI)		1C	
<small>QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.</small>					



LEGENDA

- PIEZOMETRI REALIZZATI
- PIEZOMETRI PROPOSTI
- SONDAGGI PROPOSTI

- AREALE SORGENTE DI CONTAMINAZIONE - 1S
- AREALE SORGENTE DI CONTAMINAZIONE - 1P

AREALE SORGENTE 1A

SITO POTENZIALMENTE CONTAMINATO :

SUPERFICIE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE TERRENI (TOTALE) 1671 mq

79 MAPPALI DI RIFERIMENTO DA FOGLIO 14
DEL COMUNE DI MORIMONDO (MI) :

SUPERFICIE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE TERRENI (mappale 79) 835 mq
SUPERFICIE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE TERRENI (mappale 77) 150 mq
SUPERFICIE DI POTENZIALE CONTAMINAZIONE TERRENI (mappale 61) 686 mq

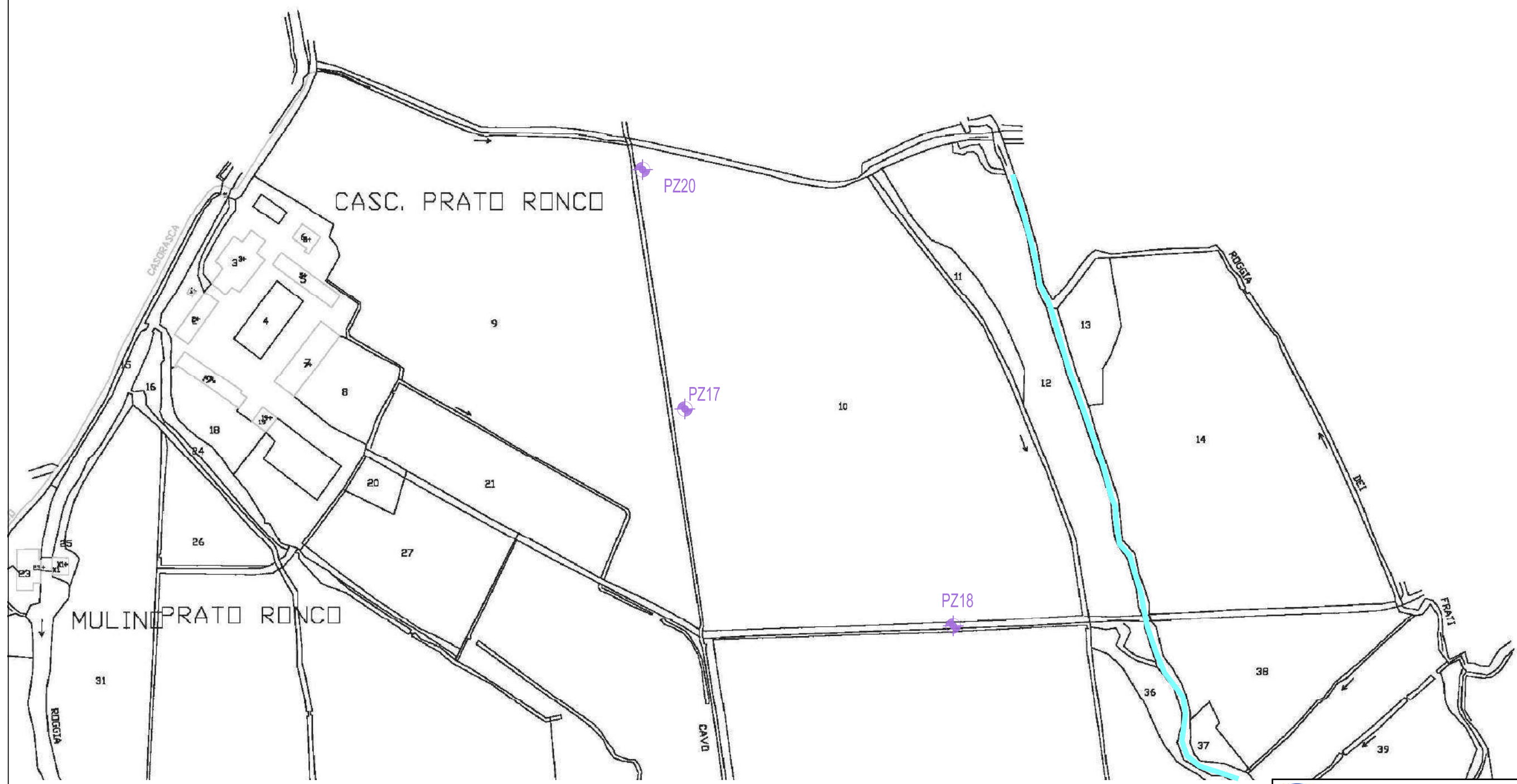


THE IT GROUP ITALIA SRL
LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
VIA TORRE RIGATA 8
00131 ROMA



PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.7-MORIMONDO/PUB 4018.07-PUB-RISORGIVE BOSCO	DATA: MAGGIO 2019
DIS: M.M.	PLANIMETRIA DEL SITO CON DEFINIZIONE DEL SITO POTENZIALMENTE CONTAMINATO E DEI MAPPALI DI RIFERIMENTO - SUOLO PROFONDO - AREA RISORGIVE BOSCO	
SCALA: 1:2000		
REVISIONE: 00	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA MORIMONDO (MI)	TAVOLA: 1D
VISTO: A.Gr.		

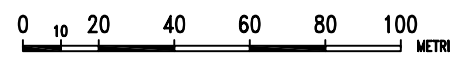
QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.



LEGENDA

 PIEZOMETRI PROPOSTI

Piezometro	Foglio	Particella	Proprietà
PZ17	14	10	AZIENDA DI SERVIZI ALLA PERSONA- GOLGI REDAELLI
PZ18	14	10	AZIENDA DI SERVIZI ALLA PERSONA- GOLGI REDAELLI
PZ20	14	10	AZIENDA DI SERVIZI ALLA PERSONA- GOLGI REDAELLI



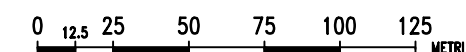
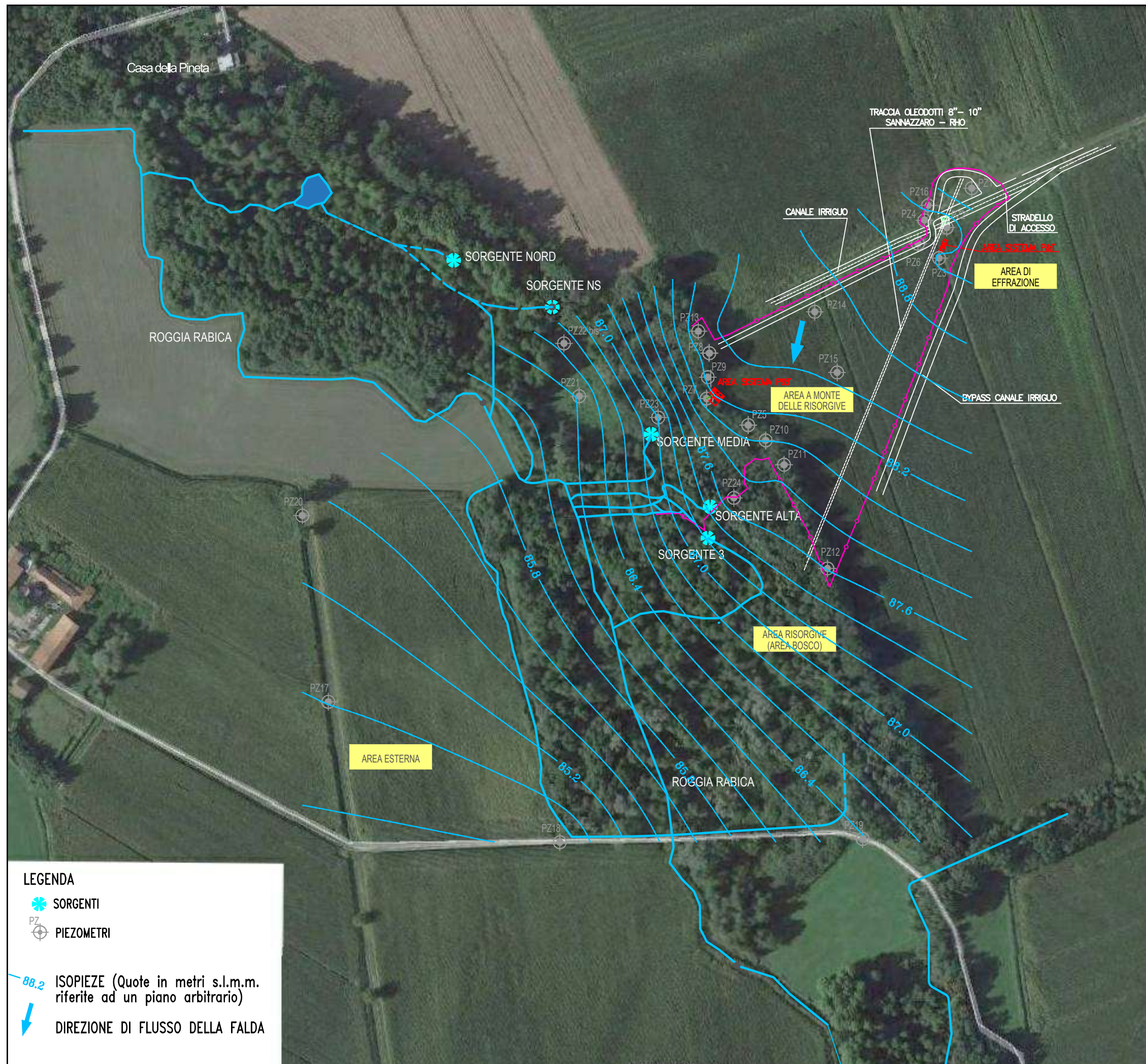


THE IT GROUP ITALIA SRL
LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
VIA TORRE RIGATA 8
00131 ROMA

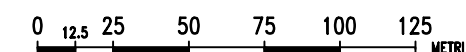
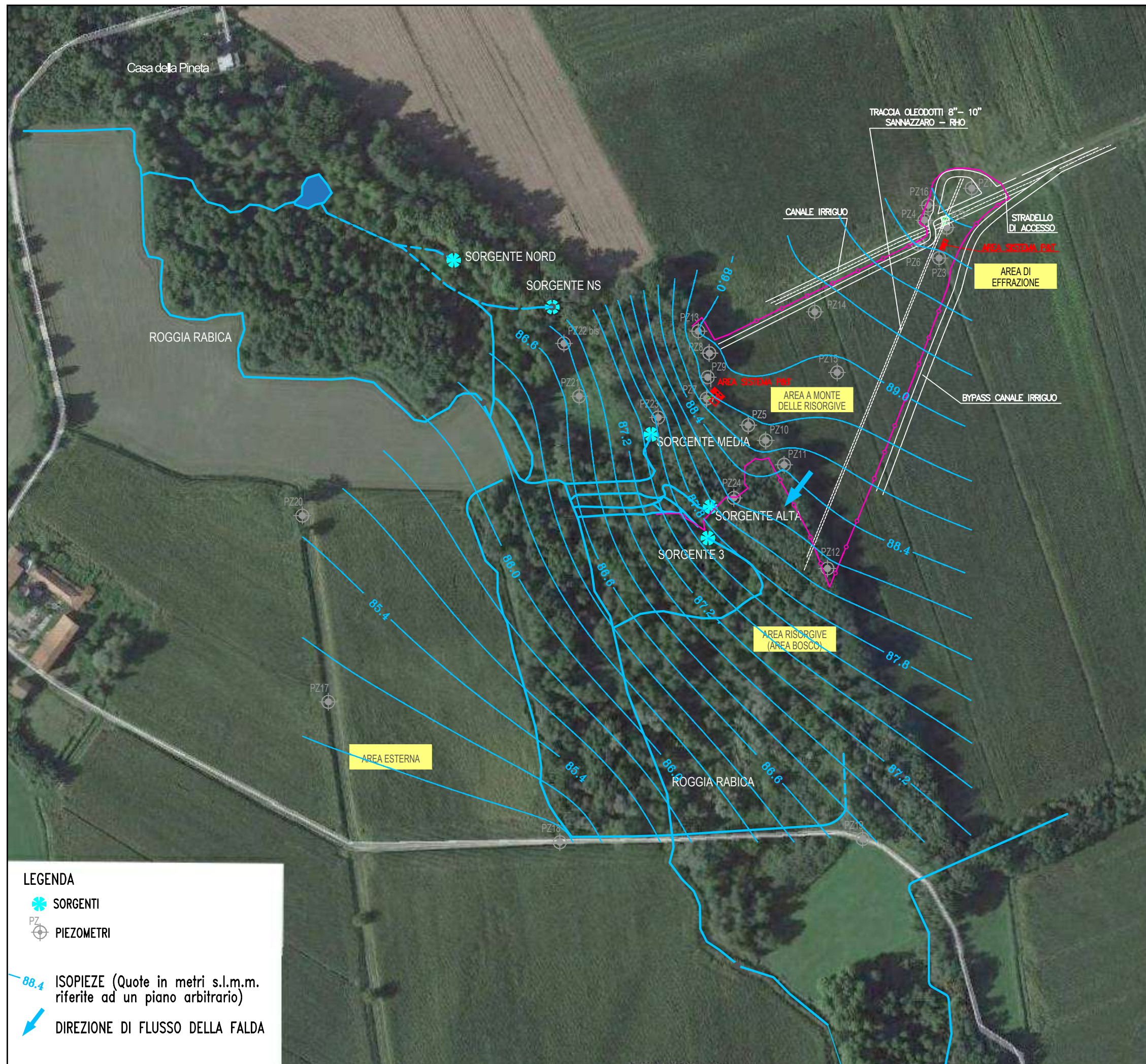


PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.7-MORIMONDO/PUB 4018.07-PUB-PIEZOMETRI&CATASTO	DATA: MAGGIO 2019
DIS: M.M.	PLANIMETRIA DEL SITO CON UBICAZIONE PIEZOMETRI SU STRALCIO DI MAPPA CATASTALE	
SCALA: 1:2000		
REVISIONE: 00	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA MORIMONDO (MI)	TAVOLA: 1E
VISTO: A.Gr.		

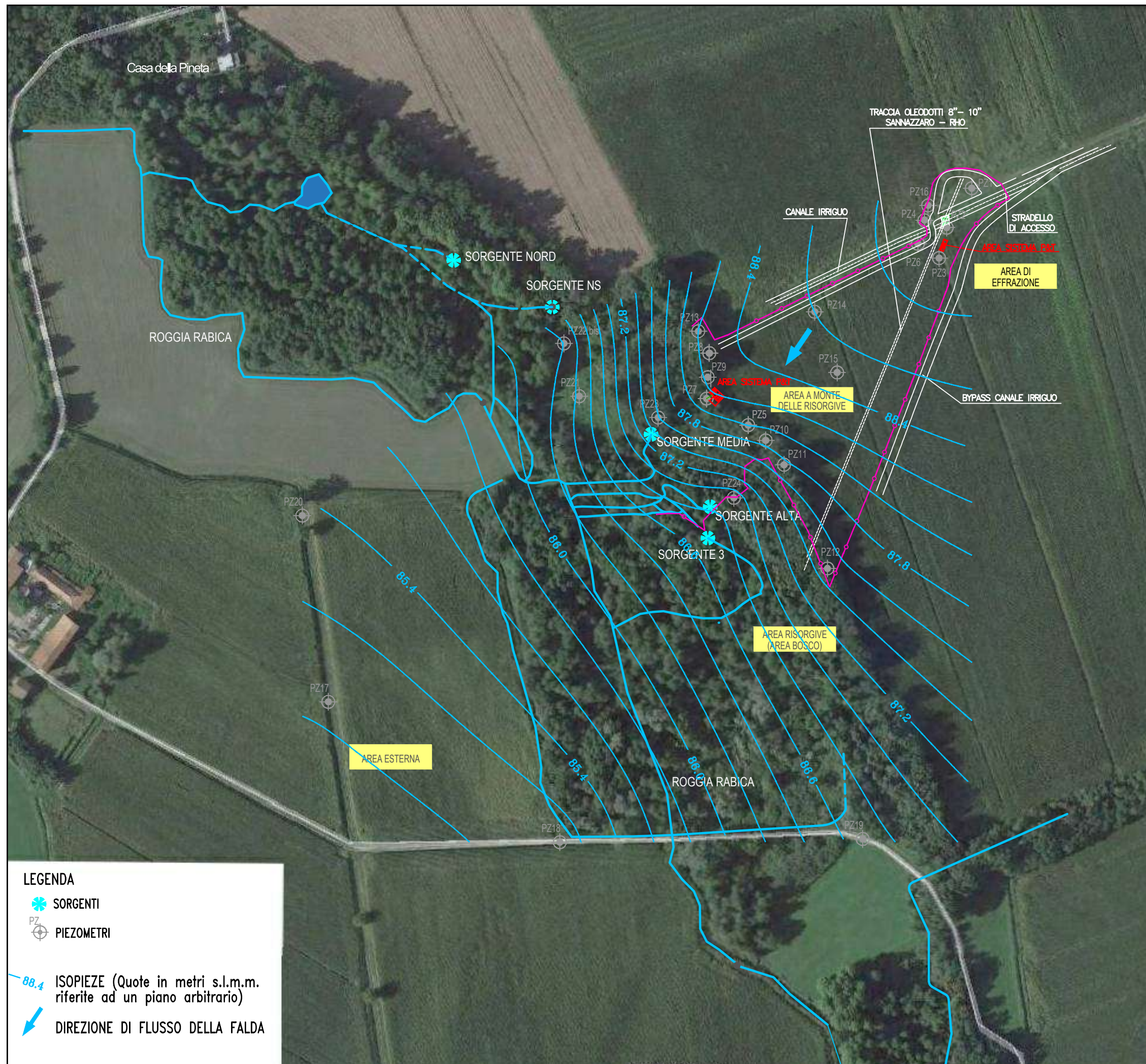
QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.



		THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RIGATA 8 00131 ROMA			
PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB 4018.07-POB-PIEZO MAG18	DATA: MAGGIO 2019			
DIS: M.M.	CARTA PIEZOMETRICA DEL MAGGIO 2018				
SCALA: 1:2500					
REVISIONE: 00					
VISTO: E.N.					
CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)		TAVOLA: 2a			
<small>QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.</small>					



		THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RIGATA 8 00131 ROMA			
PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB 4018.07-POB-PIEZO LUG18	DATA: MAGGIO 2019			
DIS: M.M.	CARTA PIEZOMETRICA DEL LUGLIO 2018				
SCALA: 1:2500					
REVISIONE: 00	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)		TAVOLA: 2b		
<small>QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.</small>					



LEGENDA

- SORGENTI
- PIEZOMETRI

ISOPIEZE (Quote in metri s.l.m.m. riferite ad un piano arbitrario)

DIREZIONE DI FLUSSO DELLA FALDA



0 12.5 25 50 75 100 125 METRI

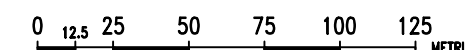
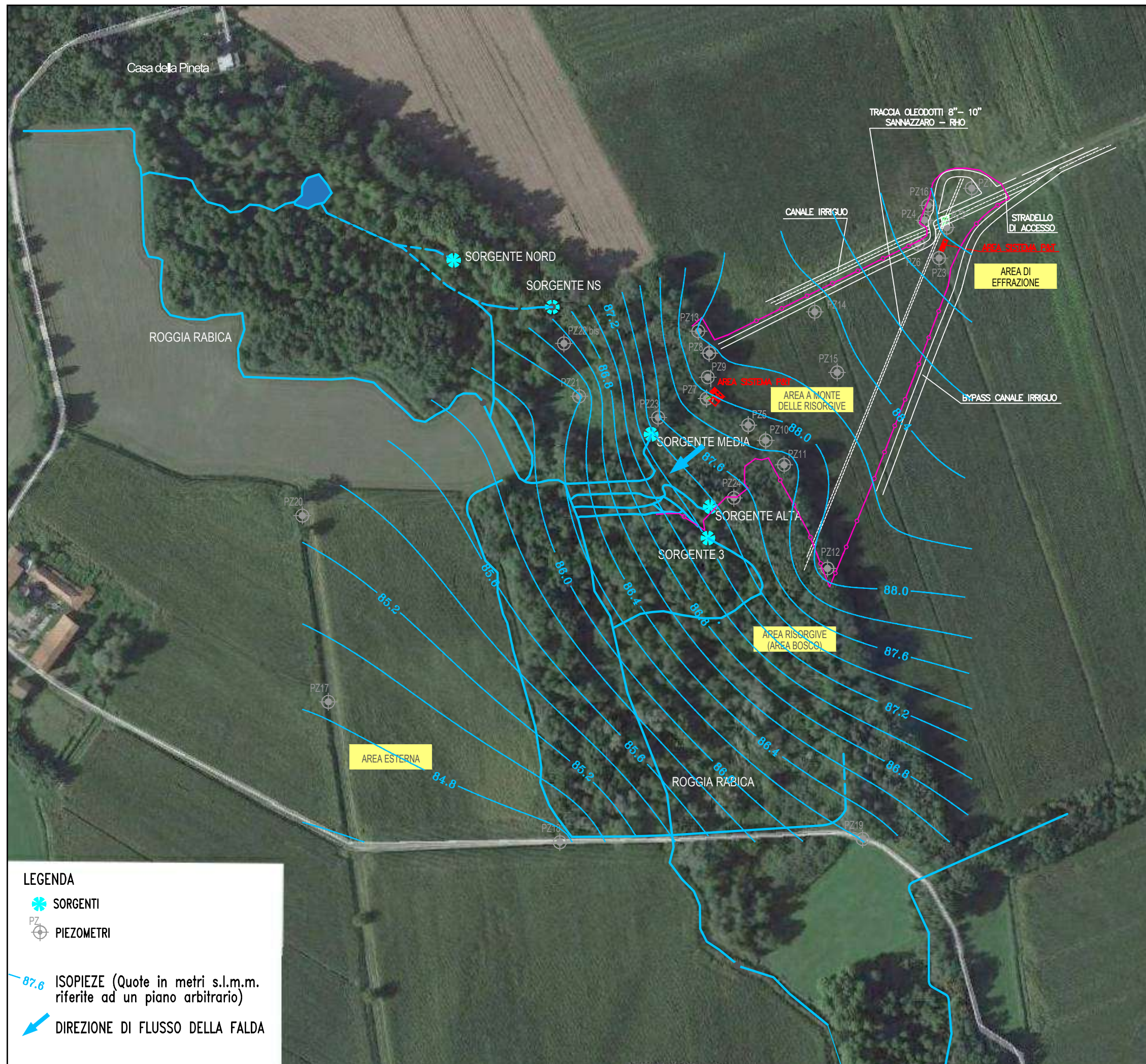


THE IT GROUP ITALIA SRL
LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
VIA TORRE RIGATA 8
00131 ROMA



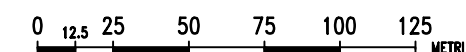
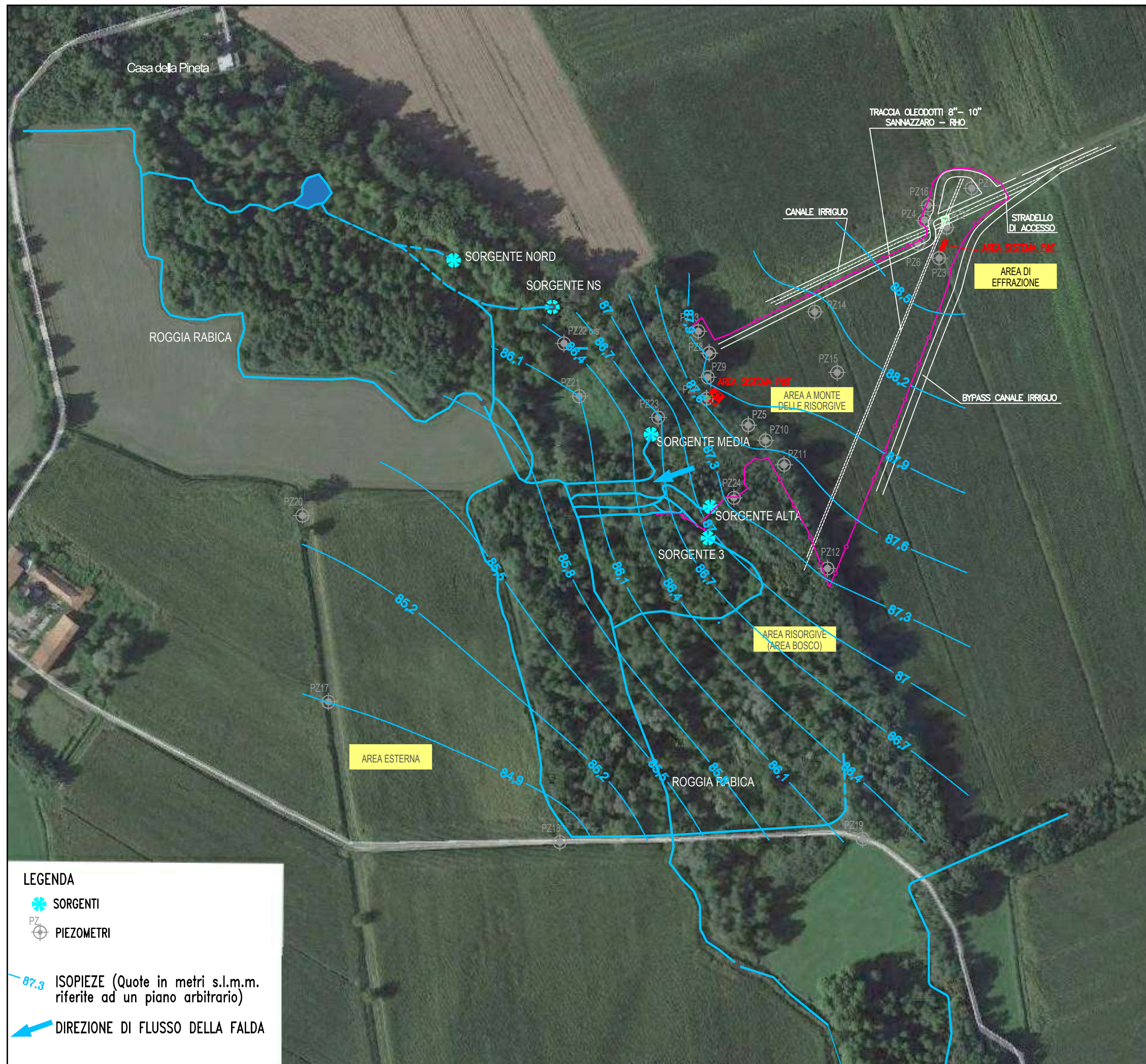
PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB	DATA: MAGGIO 2019
DIS: M.M.	4018.07-POB-PIEZO SET18	
SCALA: 1:2500	CARTA PIEZOMETRICA DEL SETTEMBRE 2018	
REVISIONE: 00	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)	TAVOLA: 2c
VISTO: E.N.		

QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.



- LEGENDA**
- SORGENTI
 - PIEZOMETRI
 - ISOPIEZE (Quote in metri s.l.m.m. riferite ad un piano arbitrario)
 - DIREZIONE DI FLUSSO DELLA FALDA

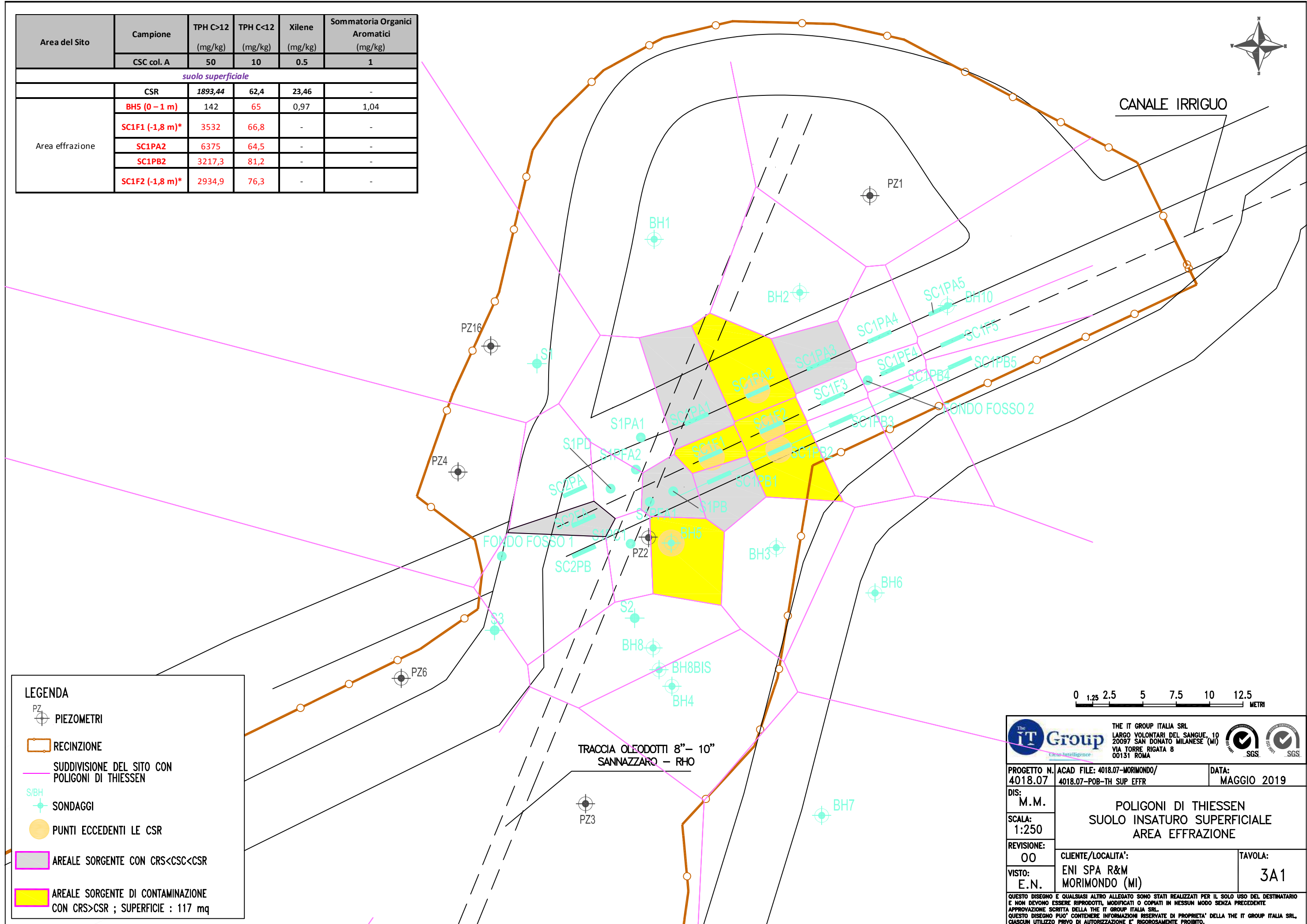
 		THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RIGATA 8 00131 ROMA		 
PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB 4018.07-POB-PIEZO DIC18			DATA: MAGGIO 2019
DIS: M.M.	CARTA PIEZOMETRICA DEL DICEMBRE 2018			
SCALA: 1:2500				
REVISIONE: 00	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)			TAVOLA: 2d
VISTO: E.N.				
QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.				



- LEGENDA**
- SORGENTI
 - PIEZOMETRI
 - ISOPIEZE (Quote in metri s.l.m.m. riferite ad un piano arbitrario)
 - DIREZIONE DI FLUSSO DELLA FALDA

		THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RIGATA 8 00131 ROMA			
PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB 4018.07-POB-PIEZO MAR19	DATA: MAGGIO 2019			
DIS: M.M.	CARTA PIEZOMETRICA DEL MARZO 2019				
SCALA: 1:2500					
REVISIONE: 00					
VISTO: E.N.					
CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)		TAVOLA: 2e			
<small>QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.</small>					

Area del Sito	Campione	TPH C>12 (mg/kg)	TPH C<12 (mg/kg)	Xilene (mg/kg)	Sommatoria Organici Aromatici (mg/kg)
	CSC col. A	50	10	0.5	1
suolo superficiale					
Area effrazione	CSR	1893,44	62,4	23,46	-
	BH5 (0 – 1 m)	142	65	0,97	1,04
	SC1F1 (-1,8 m)*	3532	66,8	-	-
	SC1PA2	6375	64,5	-	-
	SC1PB2	3217,3	81,2	-	-
	SC1F2 (-1,8 m)*	2934,9	76,3	-	-



THE IT GROUP ITALIA SRL
LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
VIA TORRE RIGATA 8
00131 ROMA

SGS

PROGETTO N. 4018.07
DIS: M.M.
SCALA: 1:250
REVISIONE: 00
VISTO: E.N.

ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/
4018.07-POB-TH SUP EFFR

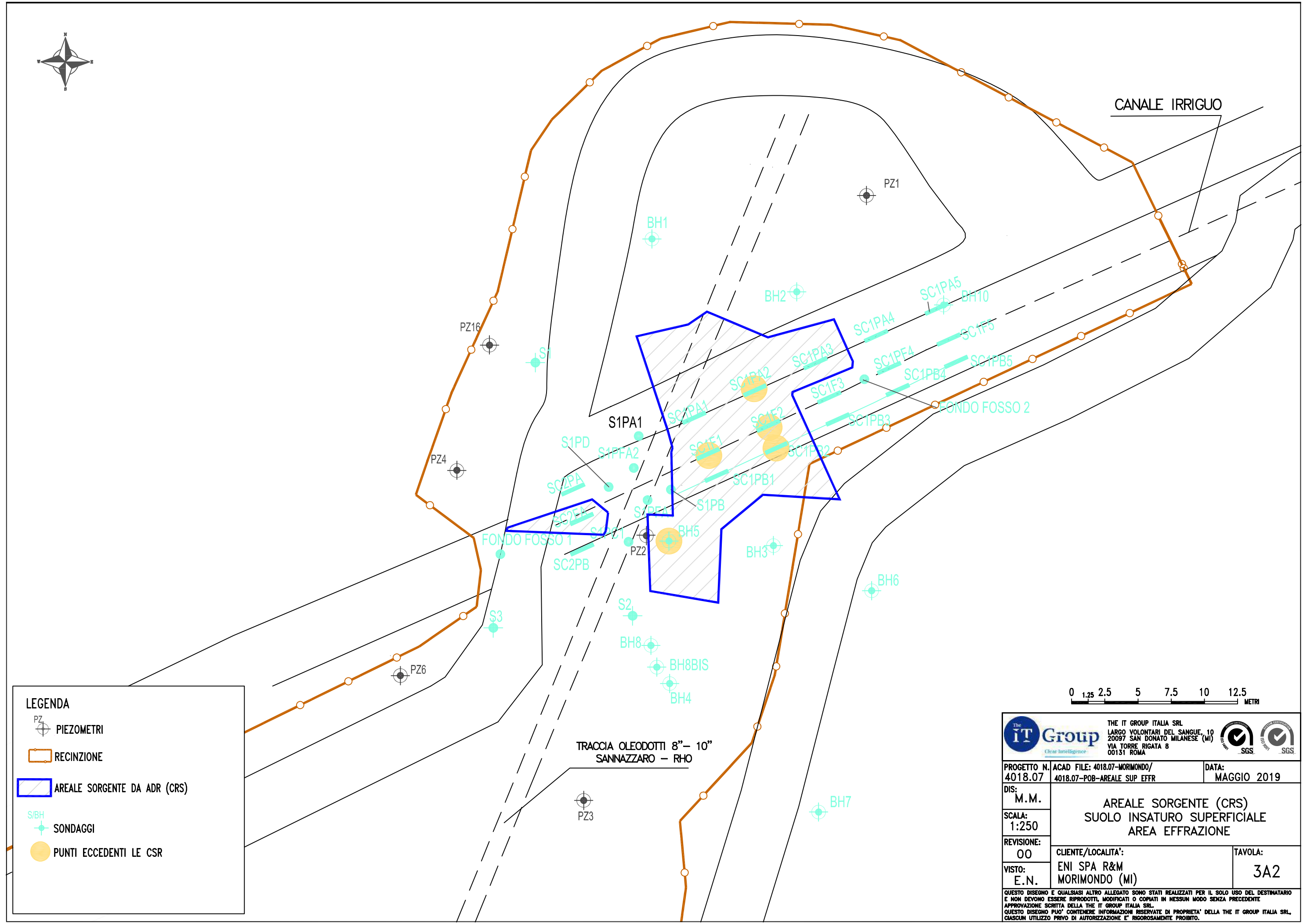
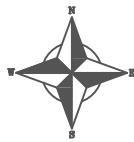
DATA: MAGGIO 2019

POLIGONI DI THIESSEN
SUOLO INSATURO SUPERFICIALE
AREA EFFRAZIONE

CLIENTE/LOCALITA':
ENI SPA R&M
MORIMONDO (MI)

TAVOLA:
3A1

QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.



LEGENDA

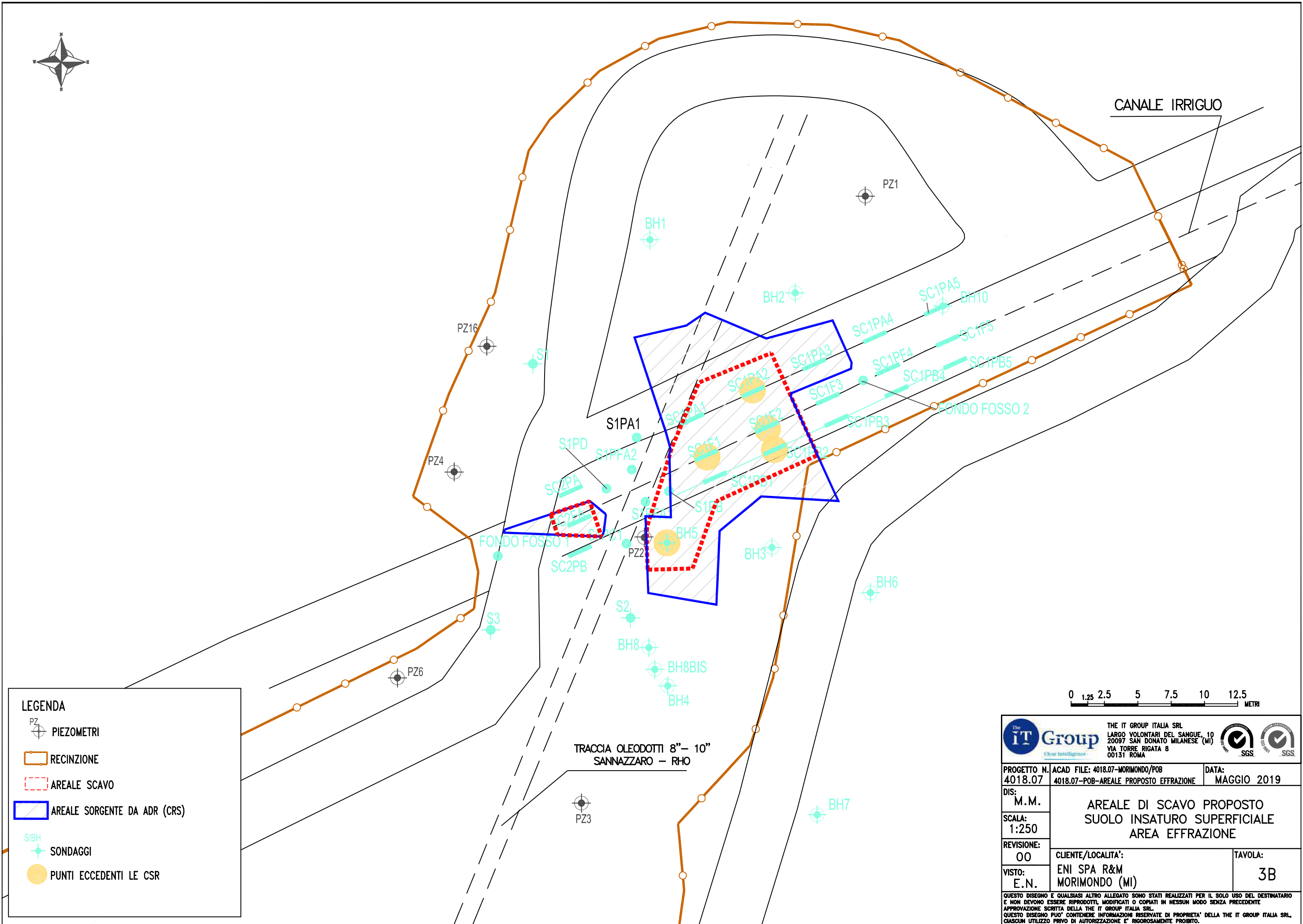
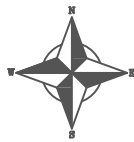
- PIEZOMETRI
- RECINZIONE
- AREALE SORGENTE DA ADR (CRS)
- S/BH SONDAGGI
- PUNTI ECCEDENTI LE CSR

0 1.25 2.5 5 7.5 10 12.5 METRI

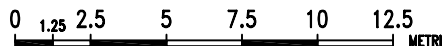
THE IT GROUP ITALIA SRL
LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
VIA TORRE RIGATA 8
00131 ROMA

PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/ 4018.07-POB-AREALE SUP EFFR	DATA: MAGGIO 2019
DIS: M.M.	AREALE SORGENTE (CRS) SUOLO INSATURO SUPERFICIALE AREA EFFRAZIONE	
SCALA: 1:250		
REVISIONE: 00	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)	TAVOLA: 3A2
VISTO: E.N.		

QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.



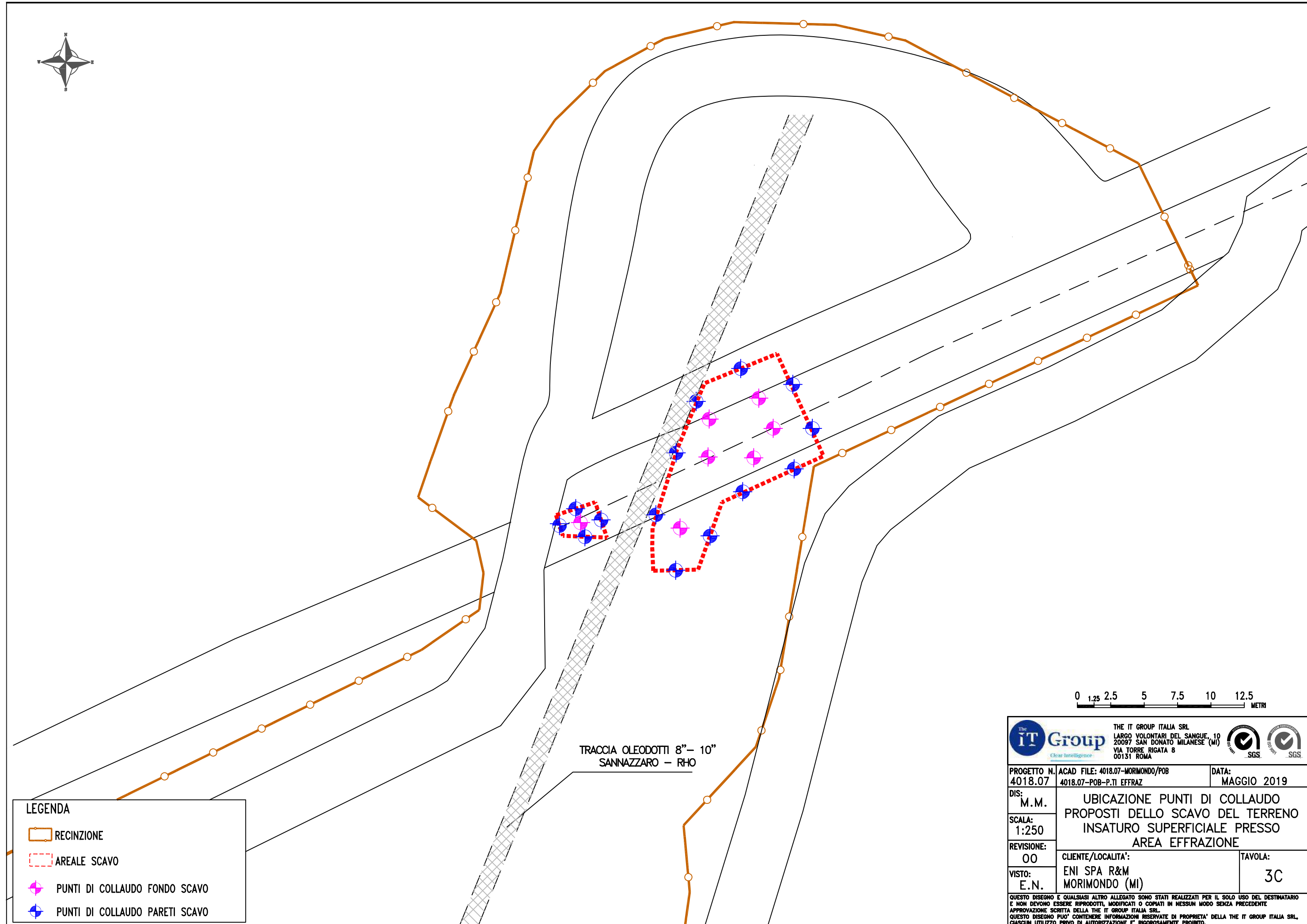
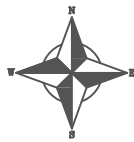
- LEGENDA**
- PIEZOMETRI
 - AREALE SCAVO
 - AREALE SORGENTE DA ADR (CRS)
 - SONDAGGI
 - PUNTI ECCEDENTI LE CSR



THE IT GROUP ITALIA SRL
LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
VIA TORRE RIGATA 8
00131 ROMA

PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB 4018.07-POB-AREALE PROPOSTO EFFRAZIONE	DATA: MAGGIO 2019
DIS: M.M.	AREALE DI SCAVO PROPOSTO SUOLO INSATURO SUPERFICIALE AREA EFFRAZIONE	
SCALA: 1:250		
REVISIONE: 00	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)	TAVOLA: 3B
VISTO: E.N.		

QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.



LEGENDA

- RECINZIONE
- AREALE SCAVO
- PUNTI DI COLLAUDO FONDO SCAVO
- PUNTI DI COLLAUDO PARETI SCAVO

0 1.25 2.5 5 7.5 10 12.5 METRI



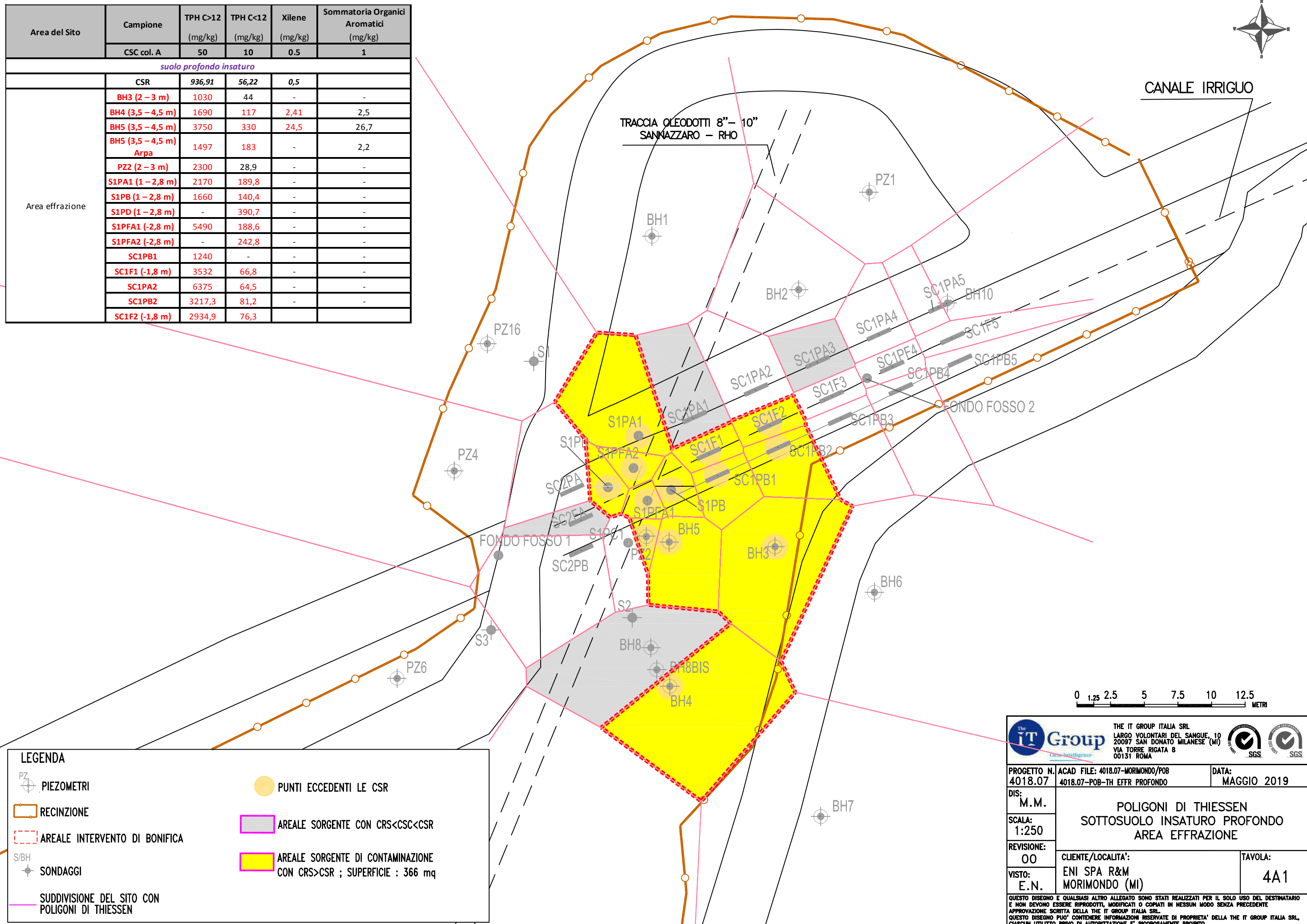
THE IT GROUP ITALIA SRL
LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
VIA TORRE RIGATA 8
00131 ROMA



PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB 4018.07-POB-P.TI EFFRAZ	DATA: MAGGIO 2019
DIS: M.M.	UBICAZIONE PUNTI DI COLLAUDO PROPOSTI DELLO SCAVO DEL TERRENO INSATURO SUPERFICIALE PRESSO AREA EFFRAZIONE	
SCALA: 1:250		
REVISIONE: 00	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)	TAVOLA: 3C
VISTO: E.N.		

QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.

Area del Sito	Campione	TPH C>12 (mg/kg)	TPH C<12 (mg/kg)	Xilene (mg/kg)	Sommatoria Organici Aromatici (mg/kg)
	CSC col. A	50	10	0.5	1
suolo profondo insaturo					
	CSR	936,91	56,22	0,5	
Area effrazione	BH3 (2 - 3 m)	1030	44	-	-
	BH4 (3,5 - 4,5 m)	1690	117	2,41	2,5
	BH5 (3,5 - 4,5 m)	3750	330	24,5	26,7
	BH5 (3,5 - 4,5 m) Arpa	1497	183	-	2,2
	PZ2 (2 - 3 m)	2300	28,9	-	-
	S1PA1 (1 - 2,8 m)	2170	189,8	-	-
	S1PB (1 - 2,8 m)	1660	140,4	-	-
	S1PD (1 - 2,8 m)	-	390,7	-	-
	S1PFA1 (-2,8 m)	5490	188,6	-	-
	S1PFA2 (-2,8 m)	-	242,8	-	-
	SC1PB1	1240	-	-	-
	SC1F1 (-1,8 m)	3532	66,8	-	-
	SC1PA2	6375	64,5	-	-
	SC1PB2	3217,3	81,2	-	-
	SC1F2 (-1,8 m)	2934,9	76,3		



LEGENDA

PZ

PIEZOMETRI

RECINZIONE

AREALE INTERVENTO DI BONIFICA

S/BH

SONDAGGI

SUDDIVISIONE DEL SITO CON
POLIGONI DI THIESSEN

PUNTI ECCEDENTI LE CSR

AREALE SORGENTE CON CRS<CSR<CSR

AREALE SORGENTE DI CONTAMINAZIONE
CON CRS>CSR ; SUPERFICIE : 366 mq

The IT Group

Circle Intelligence

THE IT GROUP ITALIA SRL
LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
VIA TORRE RIGATA 8
00131 ROMA

SGS

SGS

PROGETTO N. 4018.07

ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB

DATA: MAGGIO 2019

DIS: M.M.

POLIGONI DI THIESSEN
SOTTOSUOLO INSATURO PROFONDO
AREA EFFRAZIONE

SCALA: 1:250

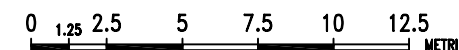
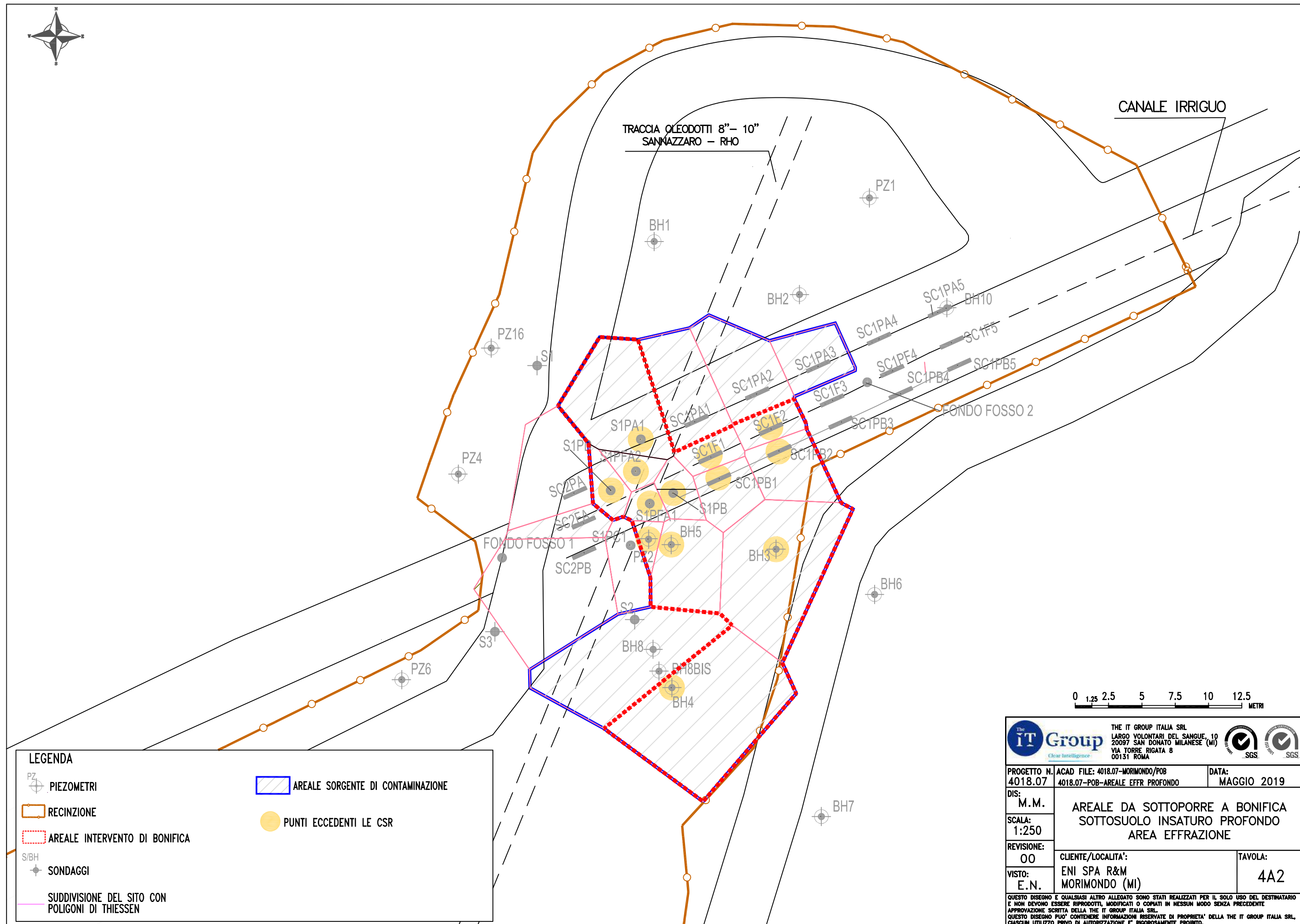
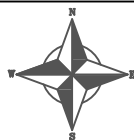
CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)

TAVOLA: 4A1

REVISIONE: 00

VISTO: E.N.

QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.



LEGENDA

PZ
PIEZOMETRI

RECINZIONE

AREALE INTERVENTO DI BONIFICA

S/BH
SONDAGGI

SUDDIVISIONE DEL SITO CON
POLIGONI DI THIESSEN

AREALE SORGENTE DI CONTAMINAZIONE

PUNTI ECCEDENTI LE CSR

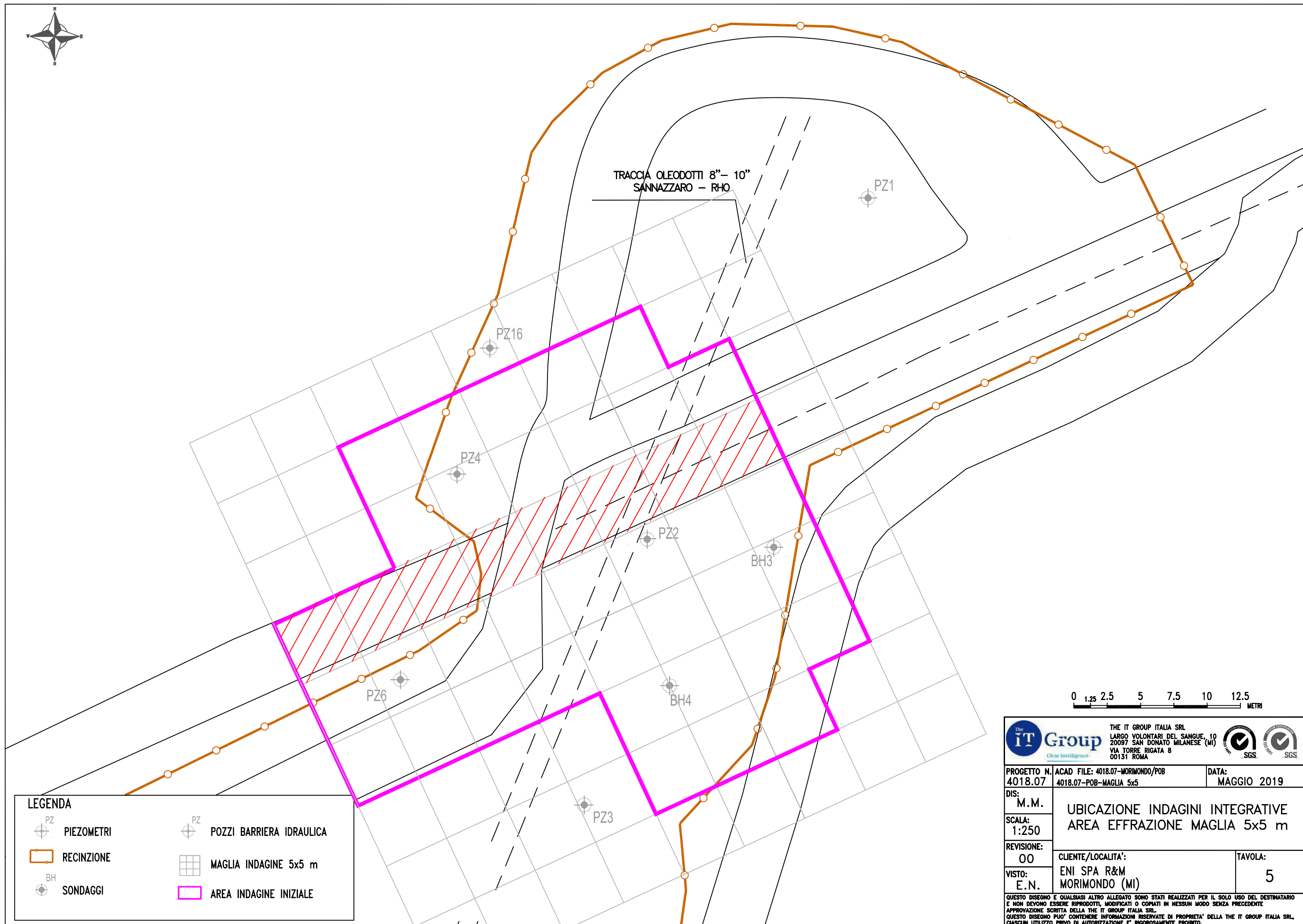


THE IT GROUP ITALIA SRL
LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
VIA TORRE RIGATA 8
00131 ROMA



PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB 4018.07-POB-AREALE EFFR PROFONDO	DATA: MAGGIO 2019
DIS: M.M.	AREALE DA SOTTOPORRE A BONIFICA SOTTOSUOLO INSATURO PROFONDO AREA EFFRAZIONE	
SCALA: 1:250		
REVISIONE: 00	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)	TAVOLA: 4A2
VISTO: E.N.		

QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.



LEGENDA

PZ

PIEZOMETRI

RECINZIONE

BH

SONDAGGI

PZ

POZZI BARRIERA IDRAULICA

MAGLIA INDAGINE 5x5 m

AREA INDAGINE INIZIALE

The IT Group

Clear Intelligence

THE IT GROUP ITALIA SRL

LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10

20097 SAN DONATO MILANESE (MI)

VIA TORRE RIGATA 8

00131 ROMA

SGS

SGS

PROGETTO N.
4018.07

ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB
4018.07-POB-MAGLIA 5x5

DATA:
MAGGIO 2019

DIS:
M.M.

SCALA:
1:250

REVISIONE:
00

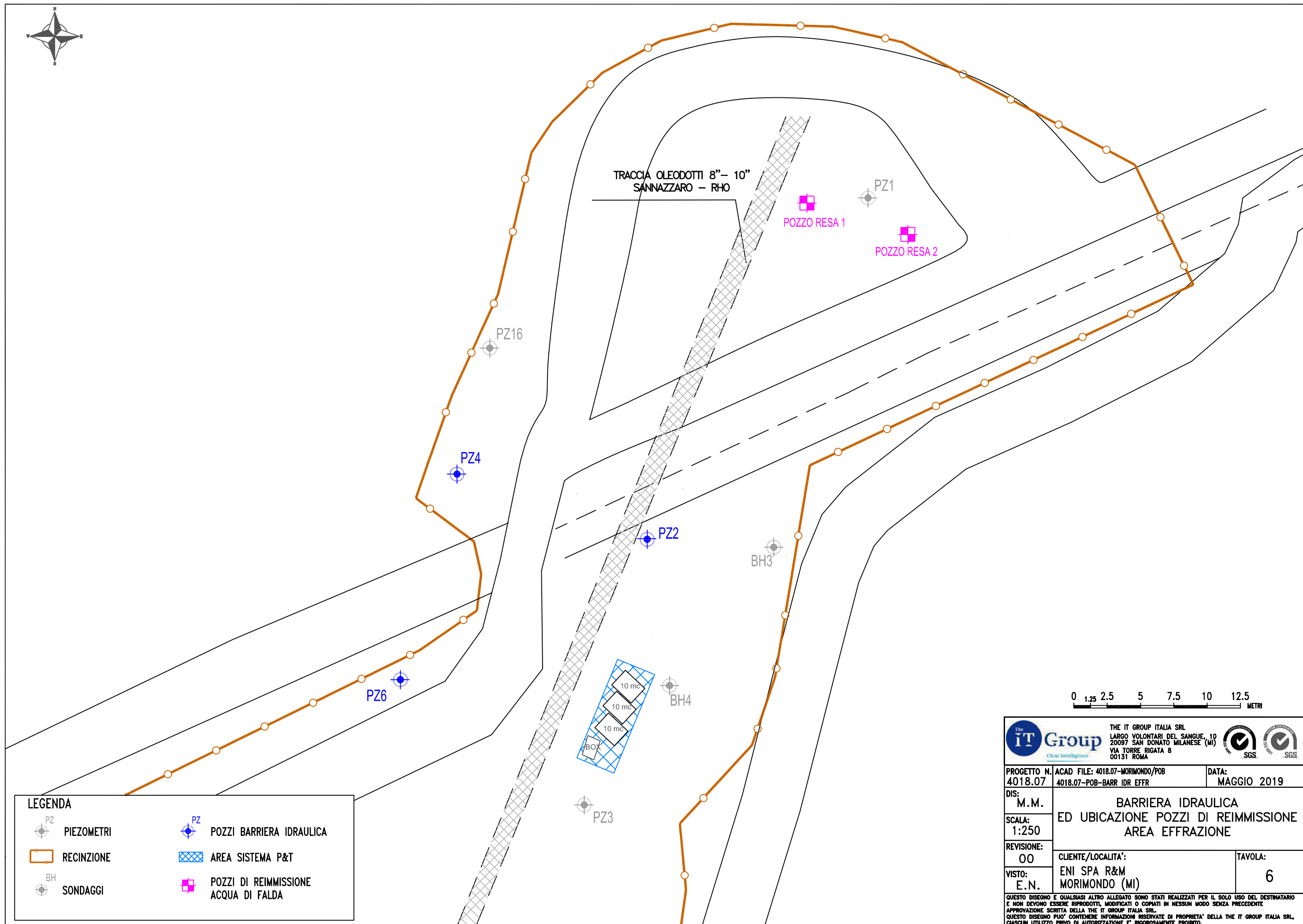
VISTO:
E.N.

UBICAZIONE INDAGINI INTEGRATIVE
AREA EFFRAZIONE MAGLIA 5x5 m

CLIENTE/LOCALITA':
ENI SPA R&M
MORIMONDO (MI)

TAVOLA:
5

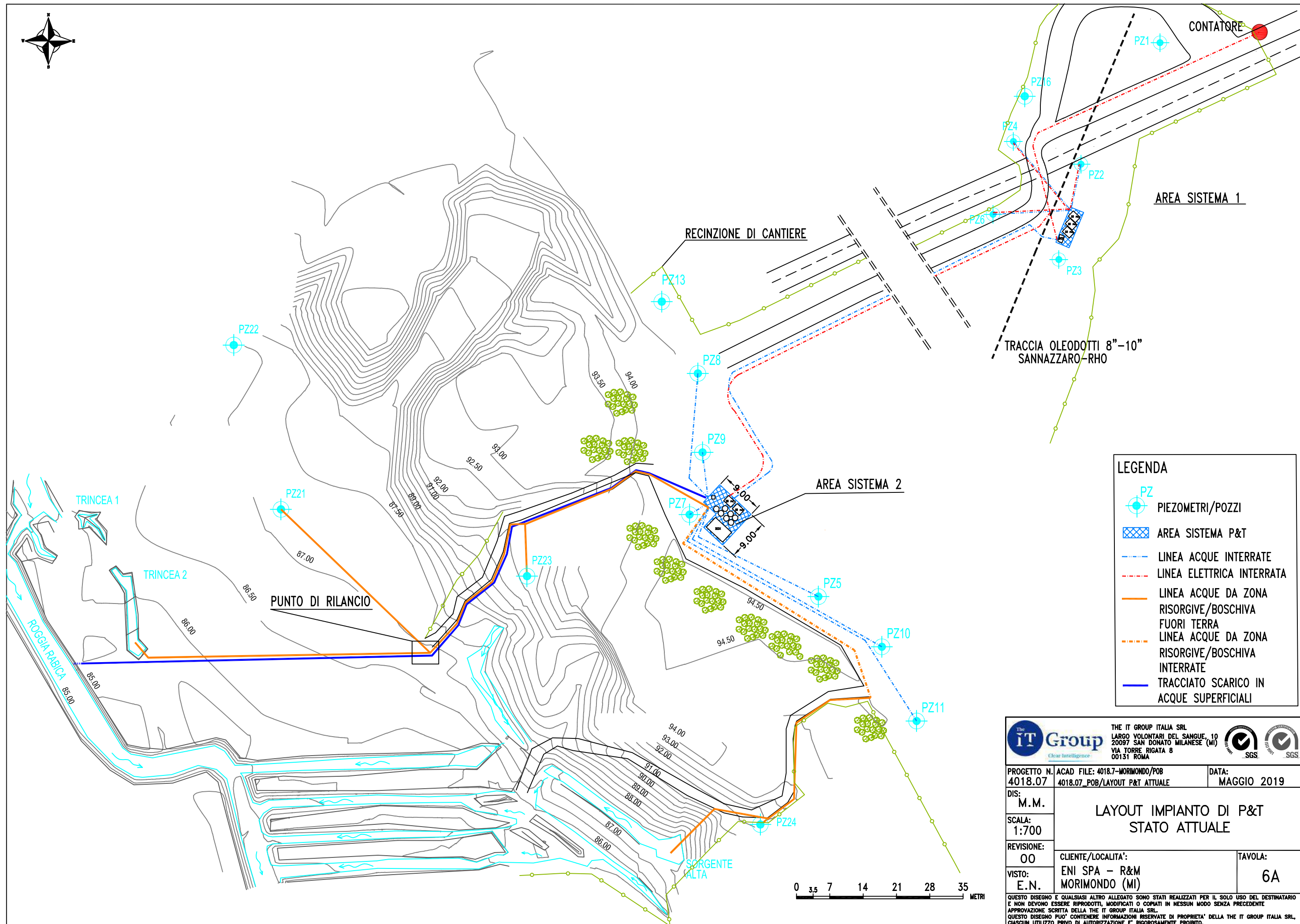
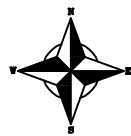
QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO
E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE
APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.



LEGENDA

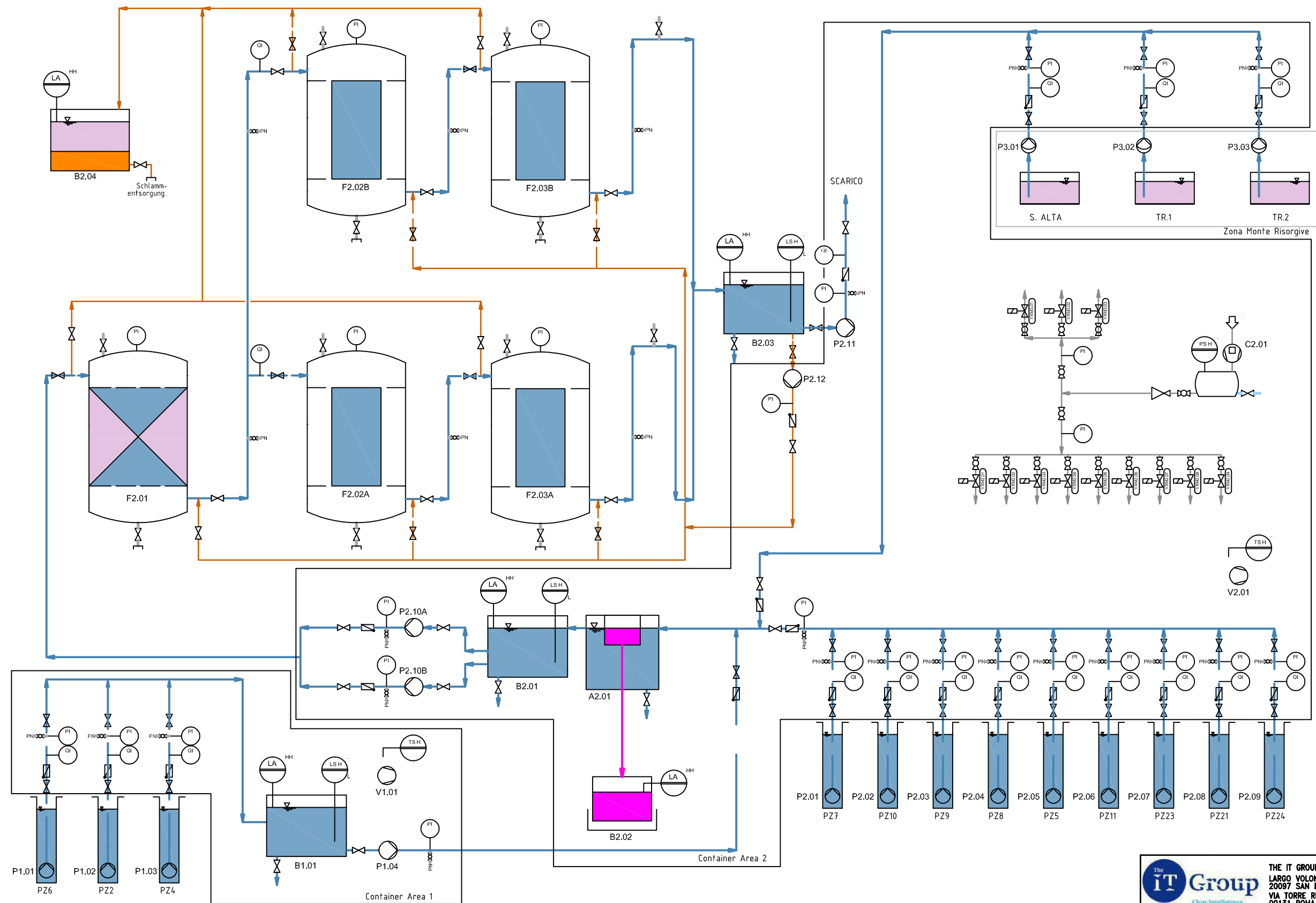
PZ	PZ
PIEZOMETRI	POZZI BARRIERA IDRAULICA
RECINZIONE	AREA SISTEMA P&T
BH	POZZI DI REIMMISSIONE ACQUA DI FALDA
SONDAGGI	

		THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RIGATA 8 00131 ROMA			
PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB	DATA: MAGGIO 2019			
DIS: M.M.	BARRIERA IDRAULICA ED UBICAZIONE POZZI DI REIMMISSIONE AREA EFFRAZIONE				
SCALA: 1:250	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)				TAVOLA: 6
REVISIONE: 00					
VISTO: E.N.					
<small>QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.</small>					

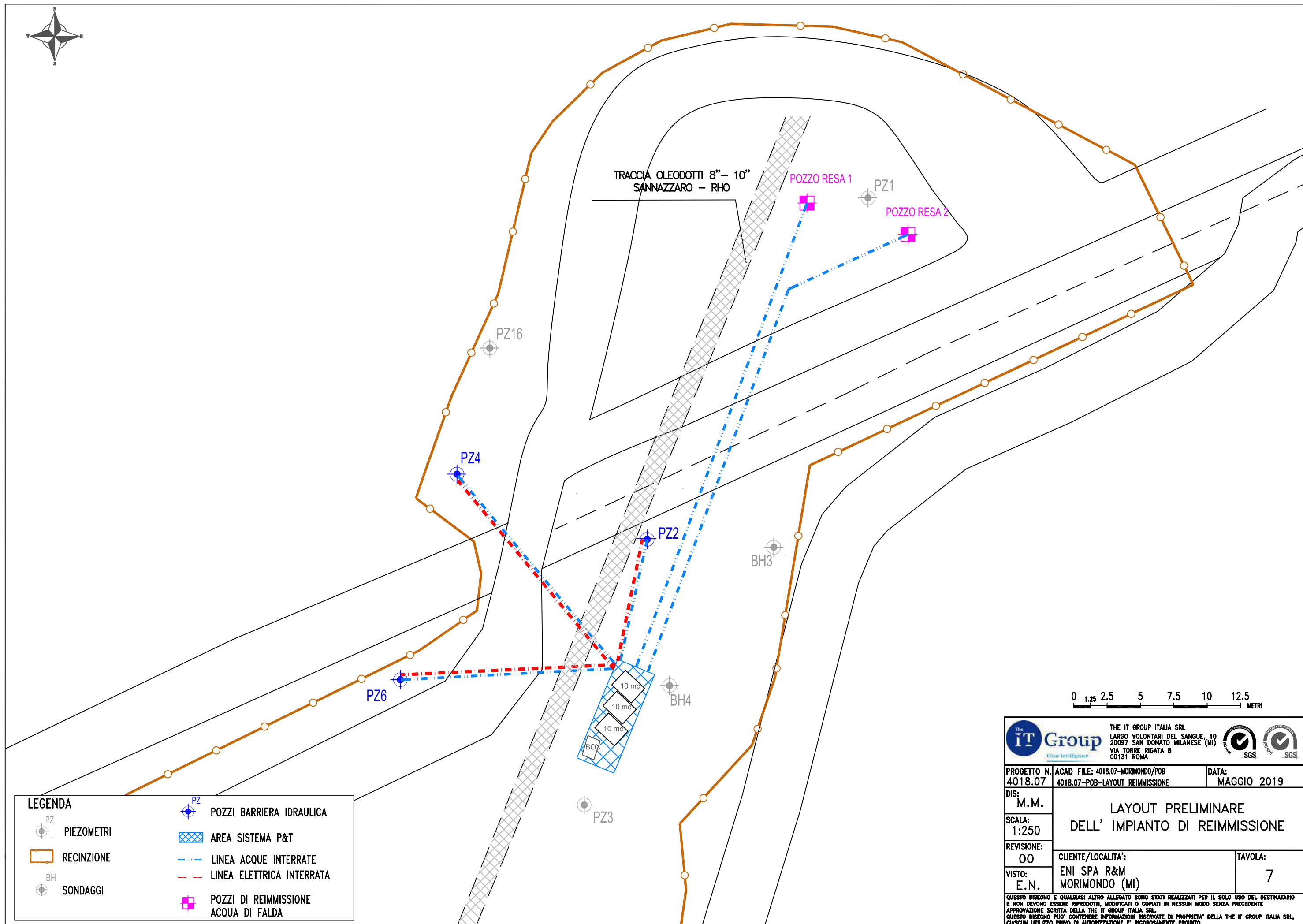


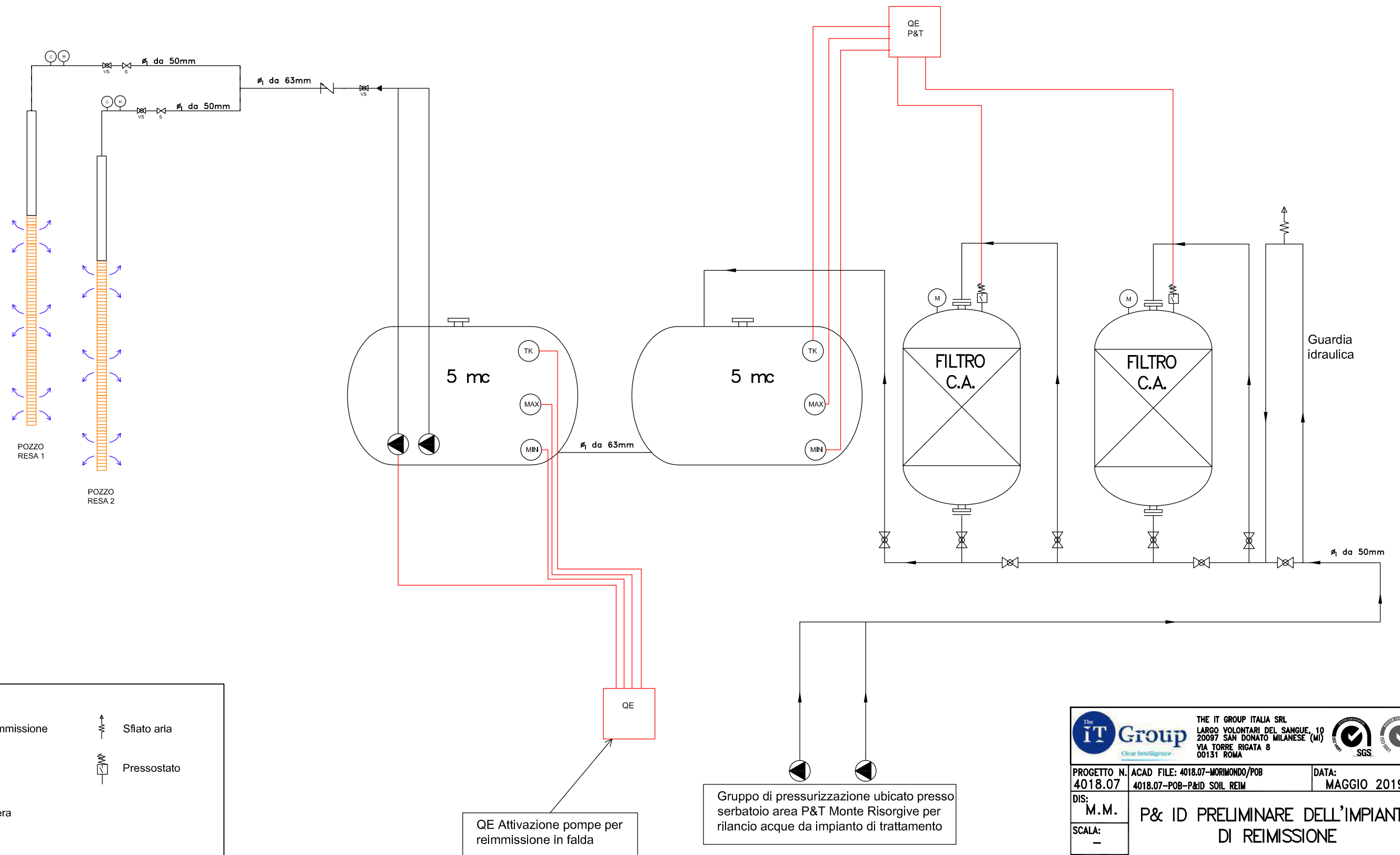
		THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RIGATA 8 00131 ROMA			
PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.7-MORMONDO/POB	DATA: MAGGIO 2019			
DIS: M.M.	LAYOUT IMPIANTO DI P&T STATO ATTUALE				
SCALA: 1:700	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA - R&M MORIMONDO (MI)				TAVOLA: 6A
REVISIONE: 00					
VISTO: E.N.					

QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.



 The IT Group Clear intelligence		THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RIGATA 8 00131 ROMA		 	
PROGETTO N. 4018.07		ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB 4018.07-POB-P&ID BARR IDR		DATA: MAGGIO 2019	
DIS: M.M.		STRALCIO P&ID DELLA BARRIERA IDRAULICA STATO ATTUALE			
SCALA: —					
REVISIONE: 00					
VISTO: A.G.					
		CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)		FIGURA: 6B	
QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.					

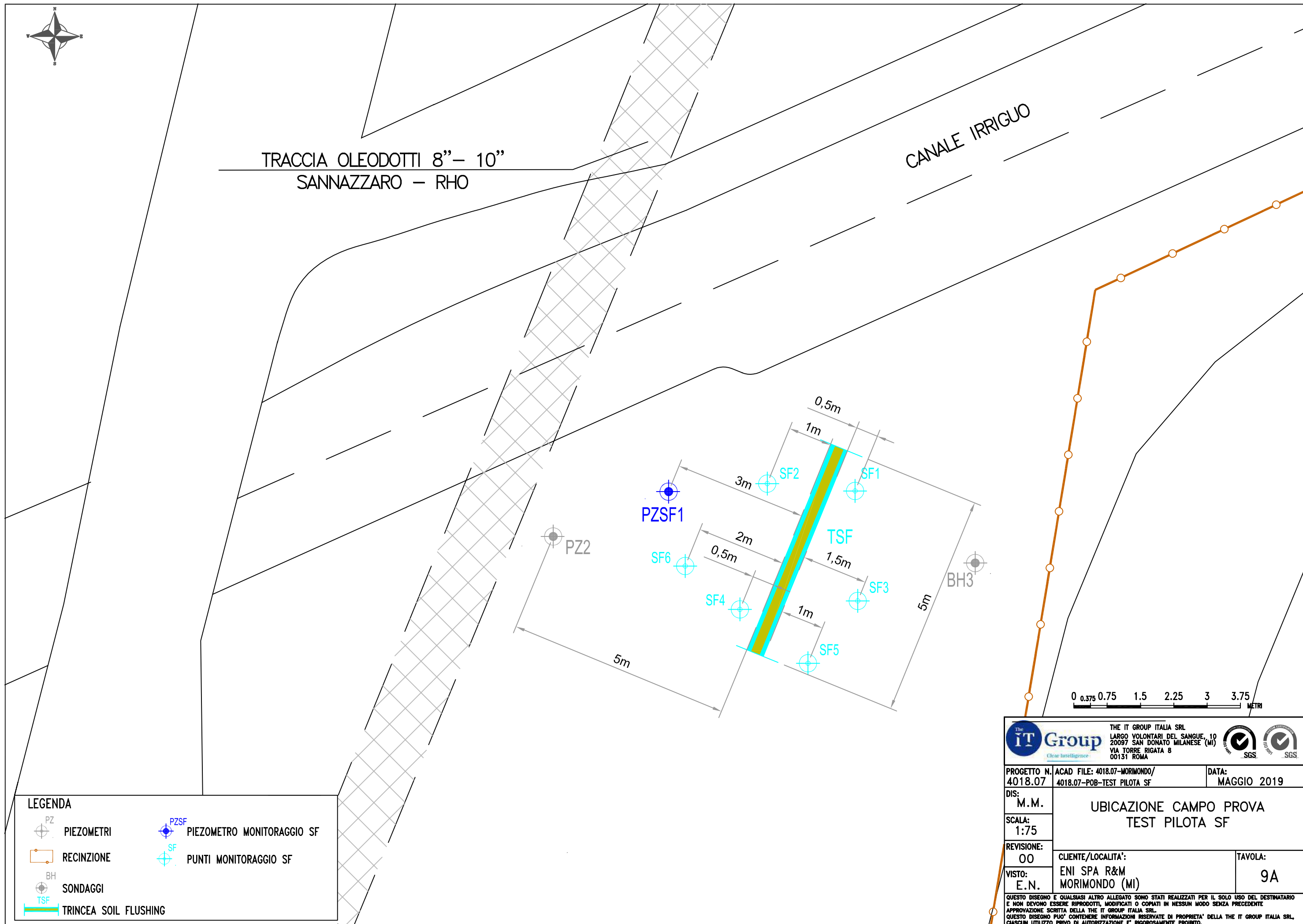




LEGENDA

- Pozzo di reimmissione
- Contaltri
- Manometro
- Valvola a Sfera
- Saracinesca
- Pompa sommergibile/centrifuga
- Controllo livello
- Serbatoio di accumulo
- Sfiato aria
- Pressostato

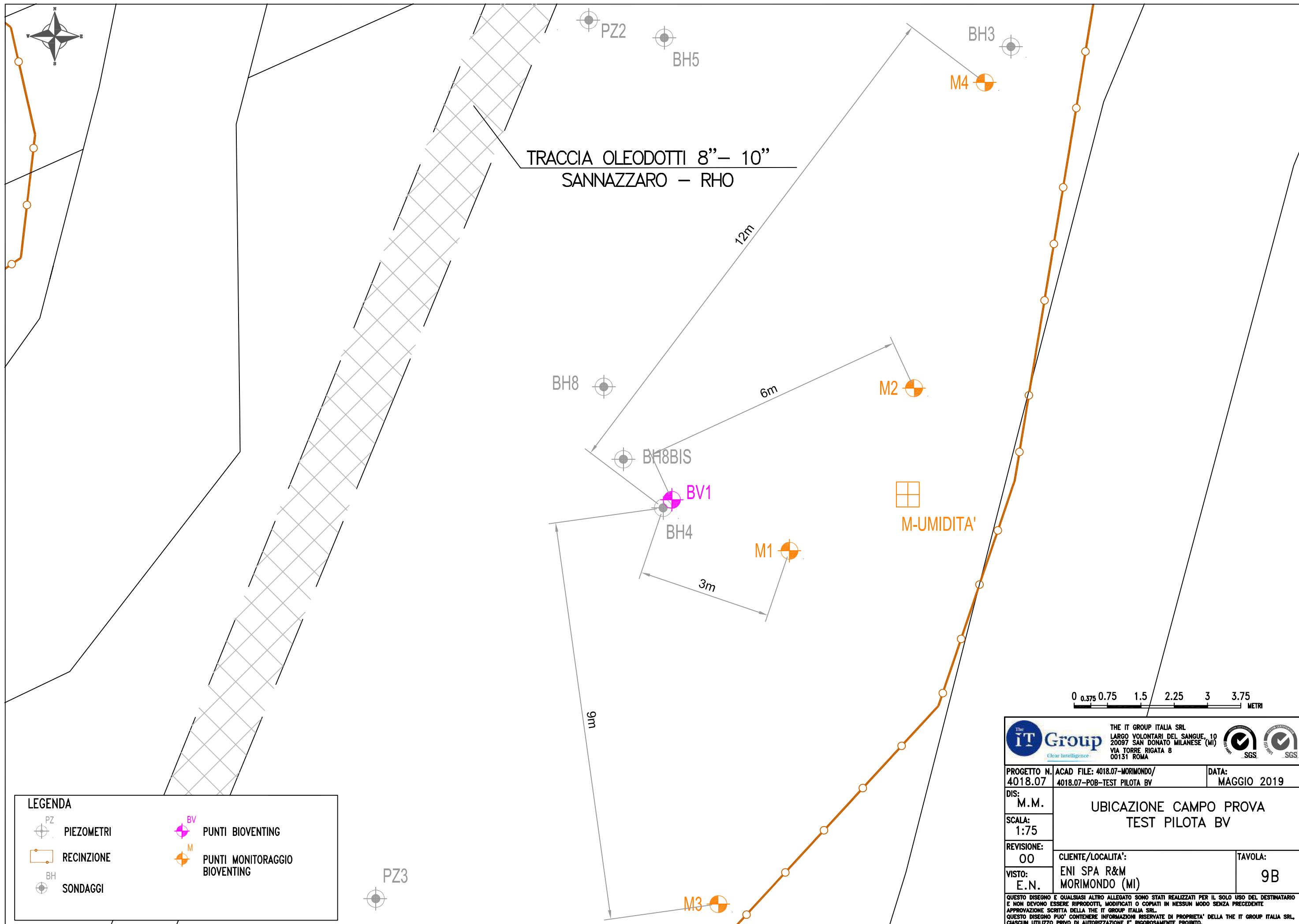
<p>THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RIGATA 8 00131 ROMA</p>		
PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB	DATA: MAGGIO 2019
DIS: M.M.	P& ID PRELIMINARE DELL'IMPIANTO DI REIMMISSIONE	
SCALA: -		
REVISIONE: 00		
VISTO: A.G.	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)	FIGURA: 8
<p>QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.</p> <p>QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.</p>		



LEGENDA

	PIEZOMETRI		PIEZOMETRO MONITORAGGIO SF
	RECINZIONE		PUNTI MONITORAGGIO SF
	SONDAGGI		
	TRINCEA SOIL FLUSHING		

		THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RIGATA 8 00131 ROMA			
PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/ 4018.07-POB-TEST PILOTA SF			DATA: MAGGIO 2019	
DIS: M.M.	UBICAZIONE CAMPO PROVA TEST PILOTA SF				
SCALA: 1:75					
REVISIONE: 00	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)			TAVOLA: 9A	
VISTO: E.N.					
<small>QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.</small>					



LEGENDA

PZ

PIEZOMETRI

RECINZIONE

BH

SONDAGGI

BV

PUNTI BIOVENTING

M

PUNTI MONITORAGGIO BIOVENTING

The IT Group

Clear Intelligence

THE IT GROUP ITALIA SRL

LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10

20097 SAN DONATO MILANESE (MI)

VIA TORRE RIGATA 8

00131 ROMA

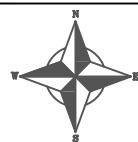
SGS

SGS

PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/ 4018.07-POB-TEST PILOTA BV	DATA: MAGGIO 2019
DIS: M.M.	UBICAZIONE CAMPO PROVA TEST PILOTA BV	
SCALA: 1:75		
REVISIONE: 00	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)	TAVOLA: 9B
VISTO: E.N.		

QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.

QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.



SORGENTE N

 SORGENTE NORD

NS VALLE

SORGENTE NS

RRA Monte_b

Trincea 1

Trincea 2A

Trincea 2B

Trincea 2C

S MEDIA

SORGENTE MEDIA

S ALTA (A)












SORGENTE ALTA

SOP

SORGENTE 3

S3 (A)

LEGENDA

-  SORGENTI
-  PIEZOMETRI
-  RECINZIONE
-  SONDAGGI
-  ISOIPSE
-  AREA SISTEMA P&T
-  AREALE SORGENTE DI CONTAMINAZIONE ADR
-  PUNTI ECCEDENTI LE CSR
-  MAGLIA INDAGINE 10x10 m
-  AREA INDAGINE INIZIALE
-  INDAGINI PUNTUALI
-  EVENTUALI NUOVI PIEZOMETRI PROPOSTI (A SEGUITO ESITI LIF)

0 5 10 20 30 40 50 METRI



THE IT GROUP ITALIA SRL
LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
VIA TORRE RIGATA 8
00131 ROMA



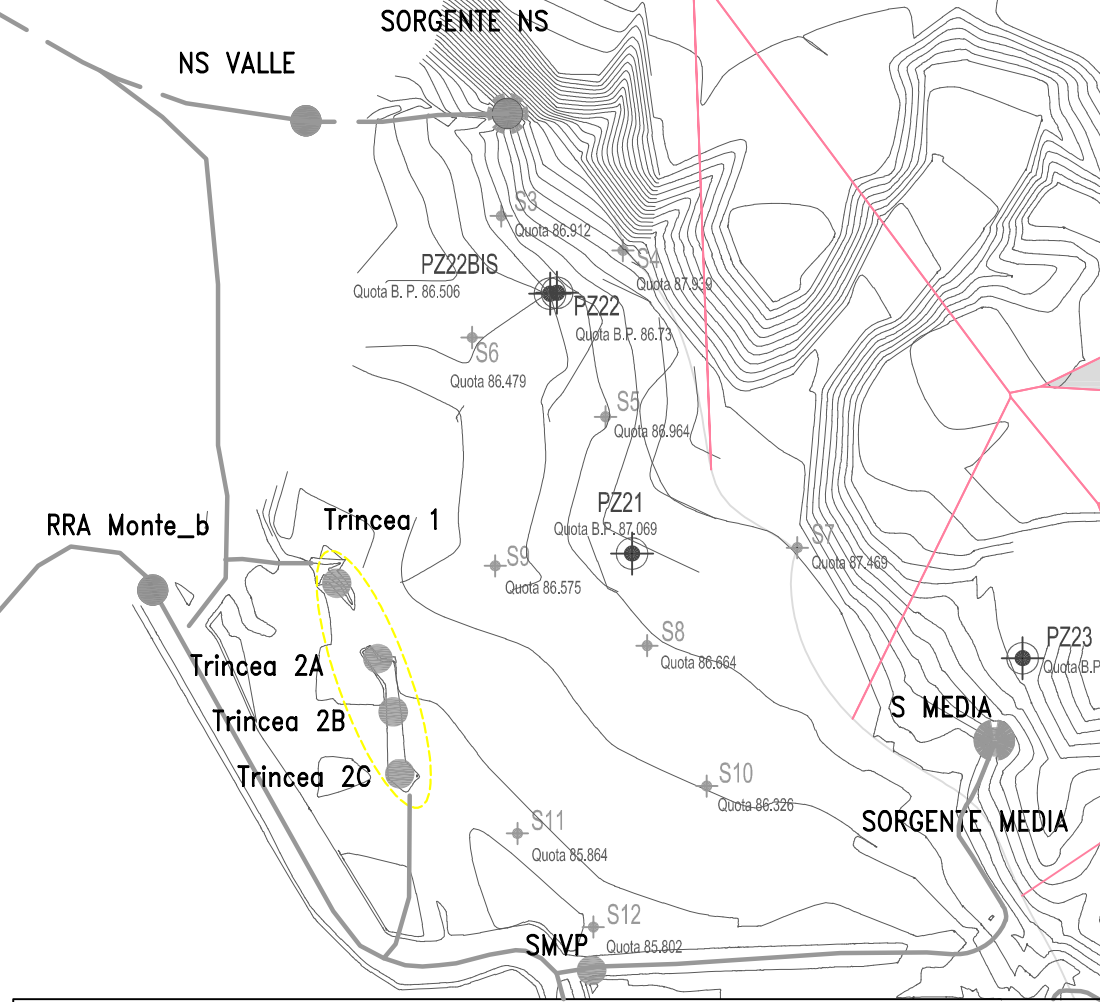
PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB 4018.07-POB-MAGLIA 10x10	DATA: MAGGIO 2019
DIS: M.M.	UBICAZIONE INDAGINI INTEGRATIVE AREA MONTE RISORGIVE – RISORGIVE MAGLIA 10x10 m	
SCALA: 1:1000		
REVISIONE: OO	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)	TAVOLA: 10
VISTO: E.N.		

QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.

PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB 4018.07-POB-MAGLIA 10x10	DATA: MAGGIO 2019
DIS: M.M.	UBICAZIONE INDAGINI INTEGRATIVE AREA MONTE RISORGIVE – RISORGIVE MAGLIA 10x10 m	
SCALA: 1:1000		
REVISIONE: OO	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)	TAVOLA: 10
VISTO: E.N.		

Area del Sito	Campione	TPH C>12 (mg/kg)	TPH C<12 (mg/kg)	Xilene (mg/kg)	Sommatoria Organici Aromatici (mg/kg)
	CSC col. A	50	10	0.5	1
suolo profondo insaturo					
	CSR	936,91	56,22	0,5	
Area Monte risorgive	PZ14 (5 - 6 m)	1130	103	-	-
	PZ7 (5,2 - 6,2 m)	1116,6	77,7	-	-
	CSR	1020	87	3,41	
Area Risorgive	PZ24 (4 - 5 m)	1020	92	5,1	5,5

SORGENTE NORD
SORGENTE N



LEGENDA	
	SORGENTI
	PIEZOMETRI
	PUNTI CAMPIONAMENTO ACQUE SUPERFICIALI
	RECINZIONE
	RUSCELLAMENTI/CORSI D'ACQUA
	SONDAGGI
	ISOIPSE
	ISOPEZZA -1m b.p.
	AREA SISTEMA P&T
	SUDDIVISIONE DEL SITO CON POLIGONI DI THIESSEN
	PUNTI ECCEDENTI LE CSR
	AREALE SORGENTE CON CRS<CSR
	AREALE SORGENTE DI CONTAMINAZIONE CON CRS>CSR - MONTE RISORGIVE SUPERFICIE : 3410 mq
	AREALE SORGENTE DI CONTAMINAZIONE CON CRS>CSR - RISORGIVE SUPERFICIE : 1672 mq

PROGETTO N. 4018.07
DIS: M.M.
SCALA: 1:1000
REVISIONE: 00
VISTO: E.N.

ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB
4018.07-POB-TH PROF RISORG

DATA: MAGGIO 2019

POLIGONI DI THIESSEN
SOTTOSUOLO INSATURO PROFONDO
AREA MONTE RISORGIVE E RISORGIVE

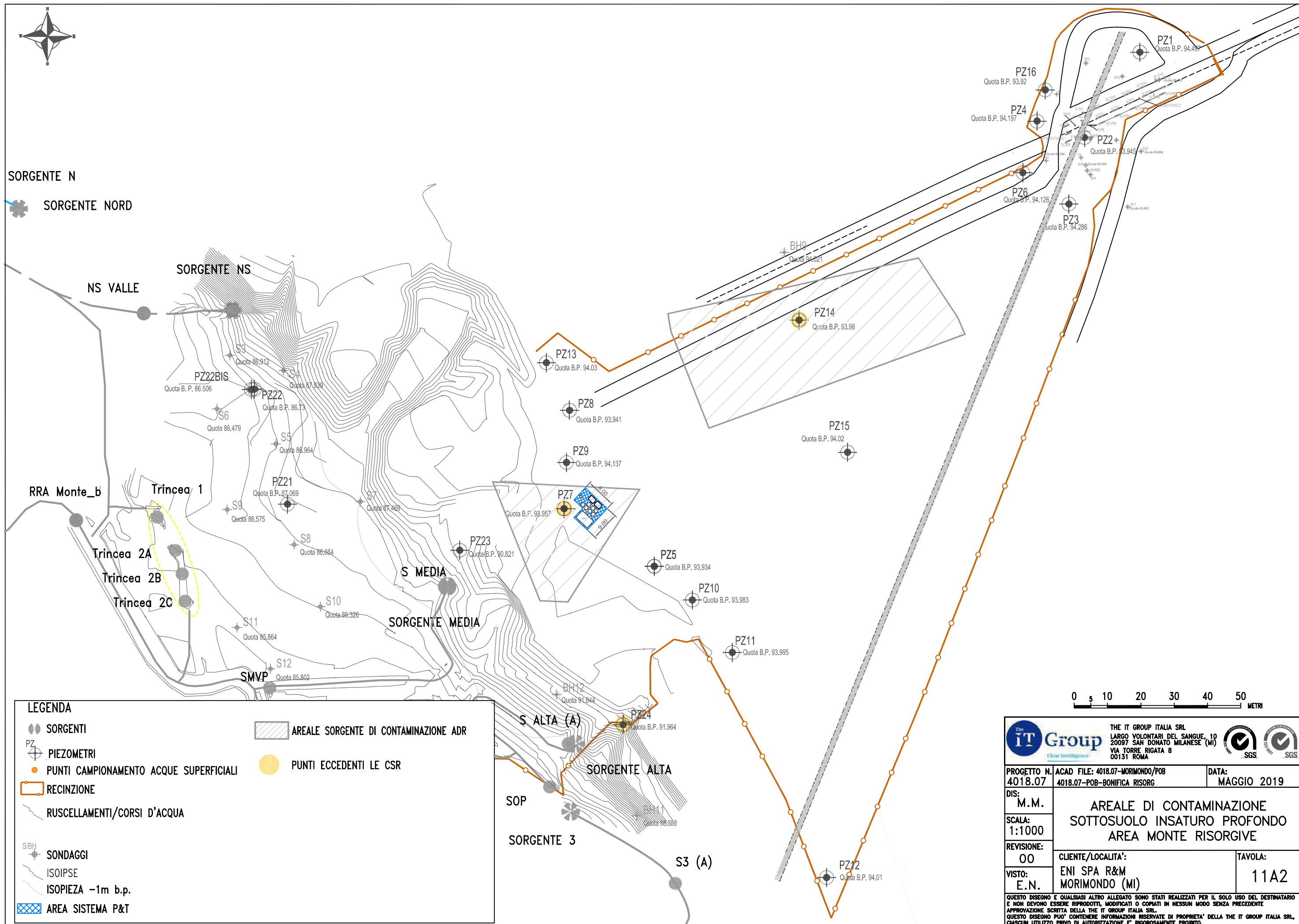
CLIENTE/LOCALITA':
ENI SPA R&M
MORIMONDO (MI)

TAVOLA:
11A1

THE IT GROUP ITALIA SRL
LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
VIA TORRE RIGATA 8
00131 ROMA

SGS

QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.

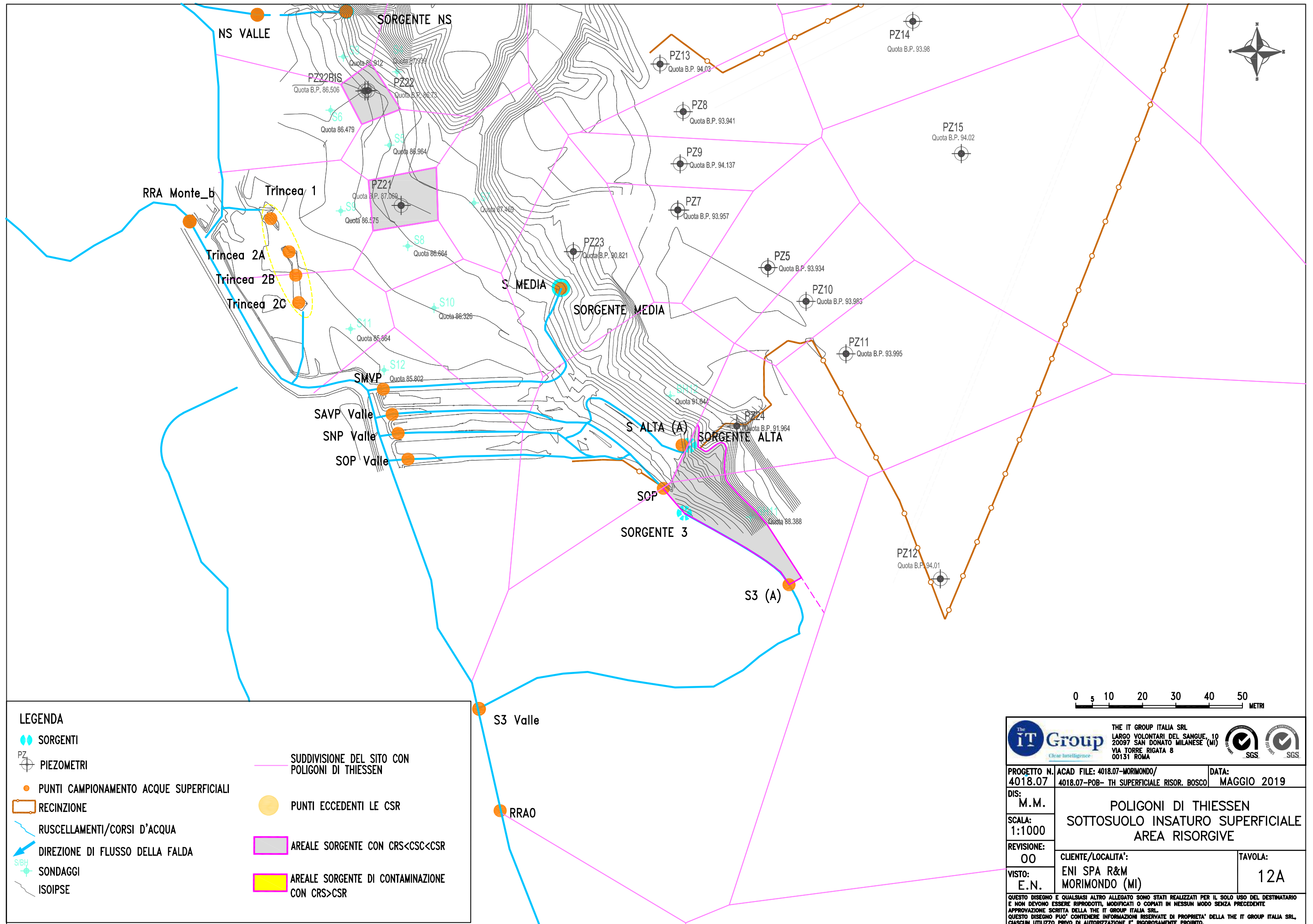


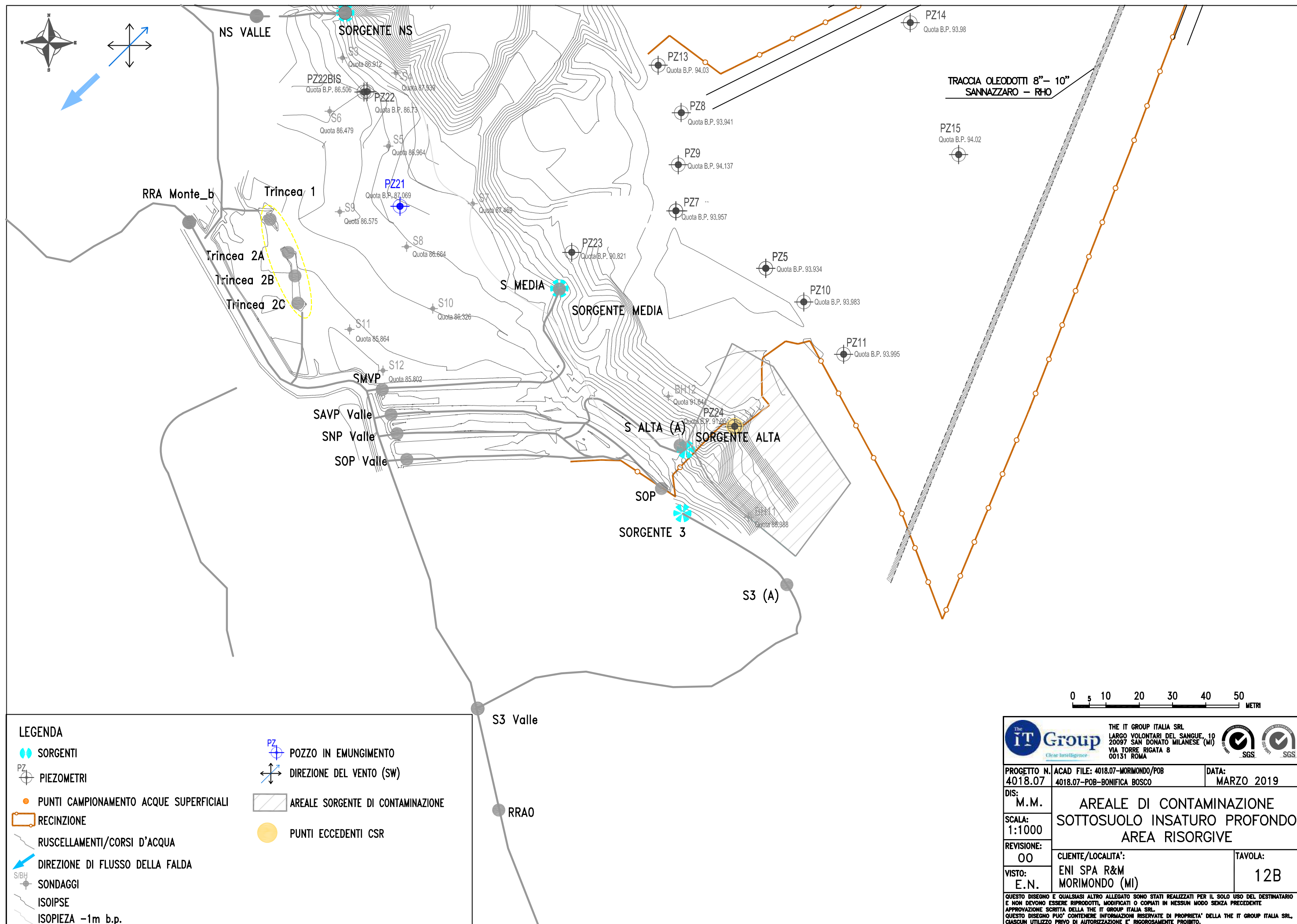
LEGENDA

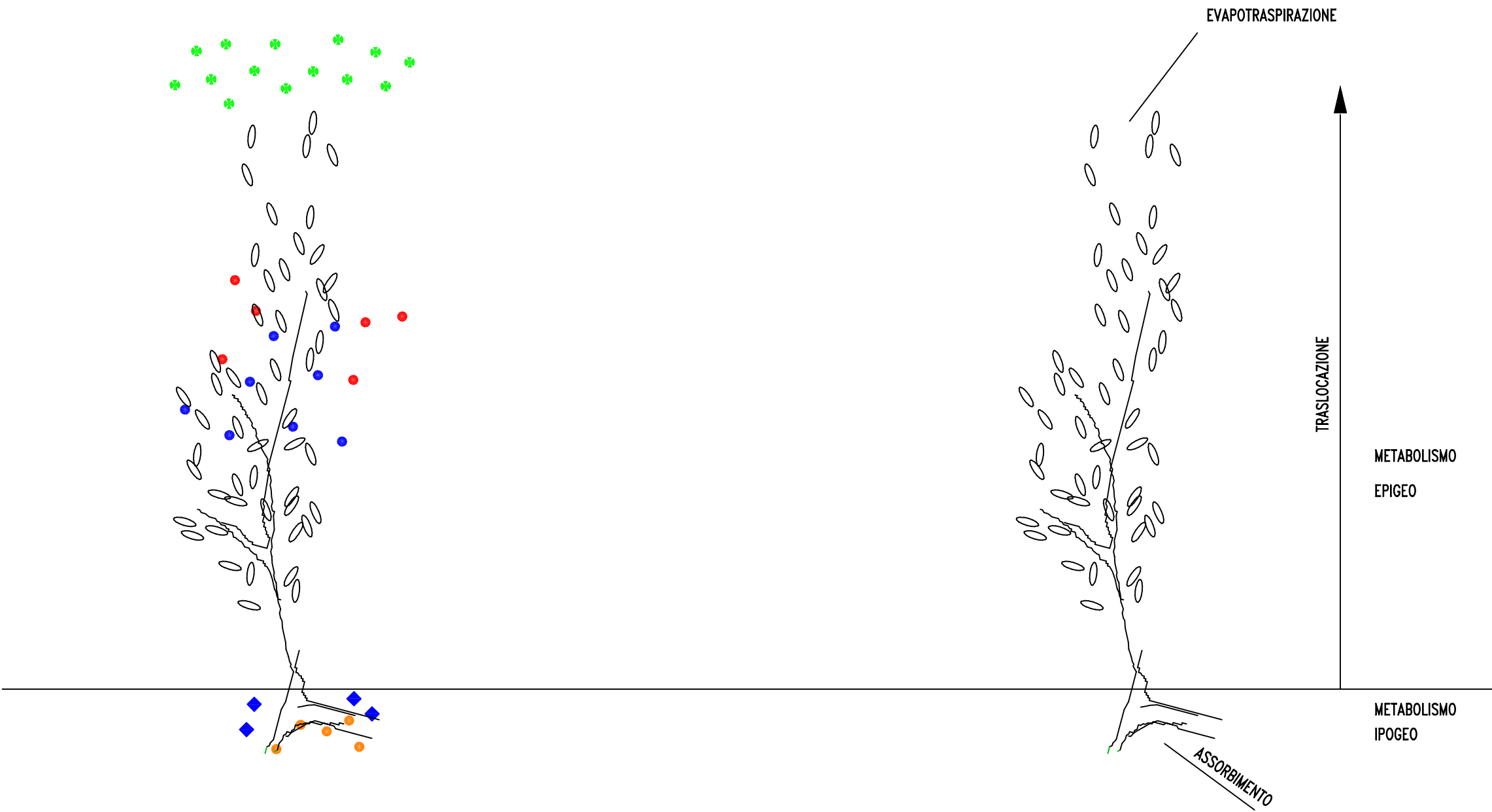
- SORGENTI
- PIEZOMETRI
- PUNTI CAMPIONAMENTO ACQUE SUPERFICIALI
- RECINZIONE
- RUSCELLAMENTI/CORSI D'ACQUA
- SONDAGGI
- ISOIPSE
- ISOPIEZA -1m b.p.
- AREA SISTEMA P&T
- AREALE SORGENTE DI CONTAMINAZIONE ADR
- PUNTI ECCEDENTI LE CSR

		THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RIGATA 8 00131 ROMA			
PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/POB	DATA: MAGGIO 2019			
DIS: M.M.	AREALE DI CONTAMINAZIONE SOTTOSUOLO INSATURO PROFONDO AREA MONTE RISORGIVE				
SCALA: 1:1000	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)				TAVOLA: 11A2
REVISIONE: 00					
VISTO: E.N.					

QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.



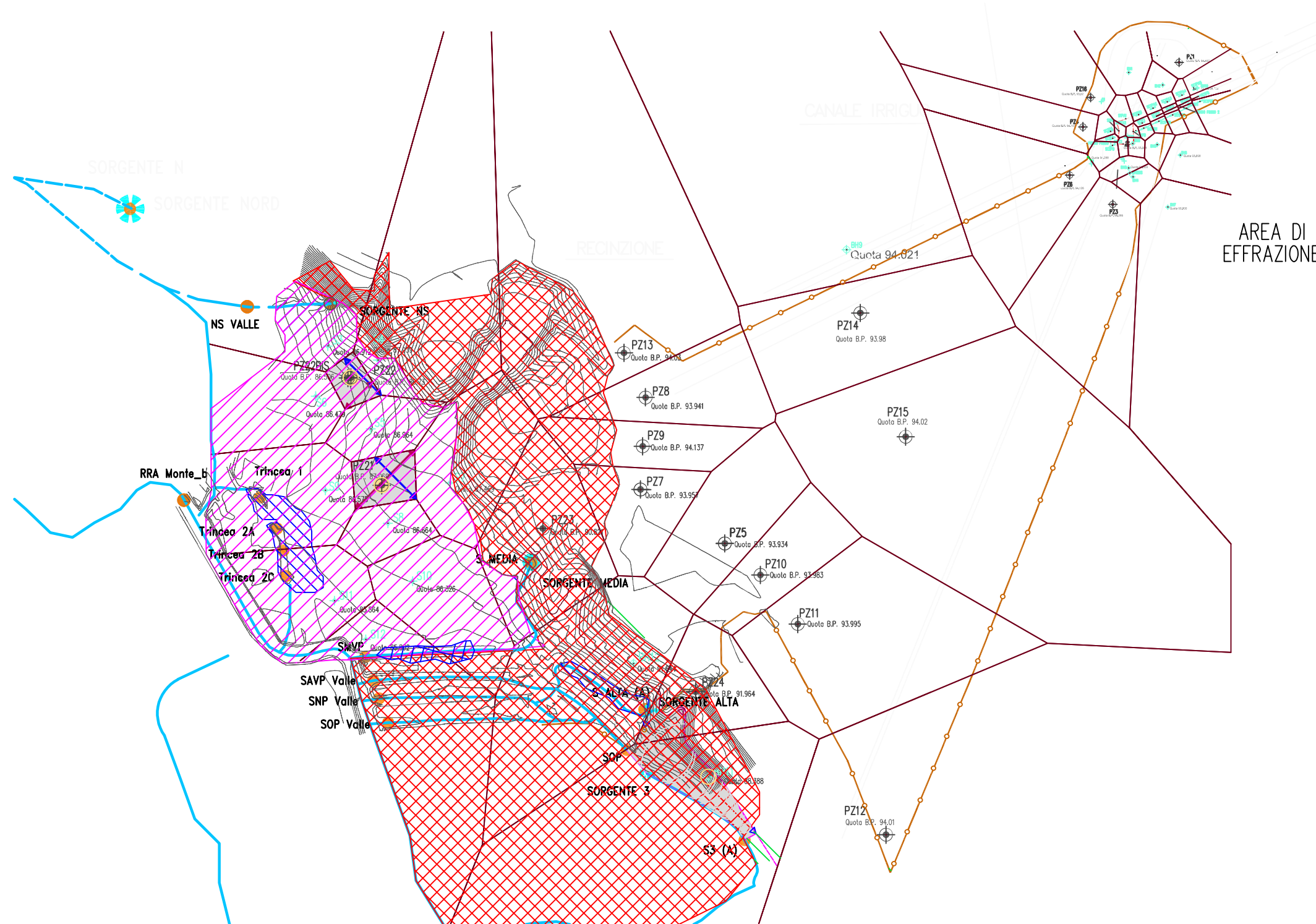




LEGENDA

- * FITOVOLATILIZZAZIONE
- ◆ FITODEGRADAZIONE
- FITOESTRAZIONE
- FITOSTABILIZZAZIONE

<div><div><div>The IT Group</div><div>Clear Intelligence</div></div><div><div>THE IT GROUP ITALIA SRL</div><div>LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10</div><div>20097 SAN DONATO MILANESE (MI)</div><div>VIA TORRE RIGATA 8</div><div>00131 ROMA</div></div><div><div><div><div><div></div><div>SGS</div></div><div><div></div><div>SGS</div></div></div></div></div></div>		<div><div><div>SGS</div><div>VERIFIED</div><div>100%</div></div><div><div>SGS</div><div>VERIFIED</div><div>100%</div></div></div>	
PROGETTO N. 4018.07		ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/ 4018.07-POB-RISANAMENTO	DATA: MAGGIO 2019
DIS: M.M.		SCHEMA PROCESSO DI FITORISANAMENTO	
SCALA: -			
REVISIONE: 00			
VISTO: E.N.		CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)	FIGURA: 13
<div><div>QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.</div><div>QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.</div></div>			

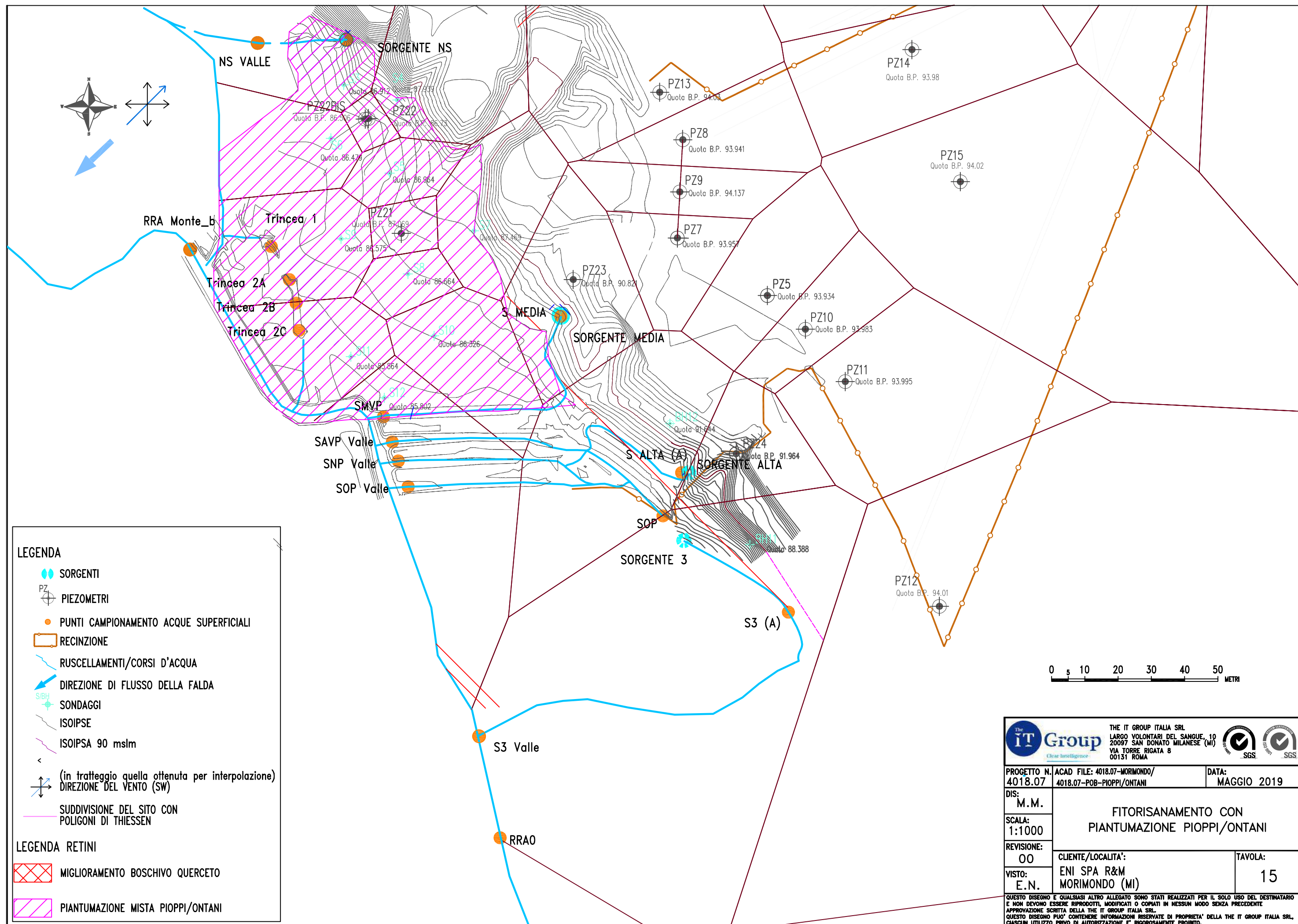


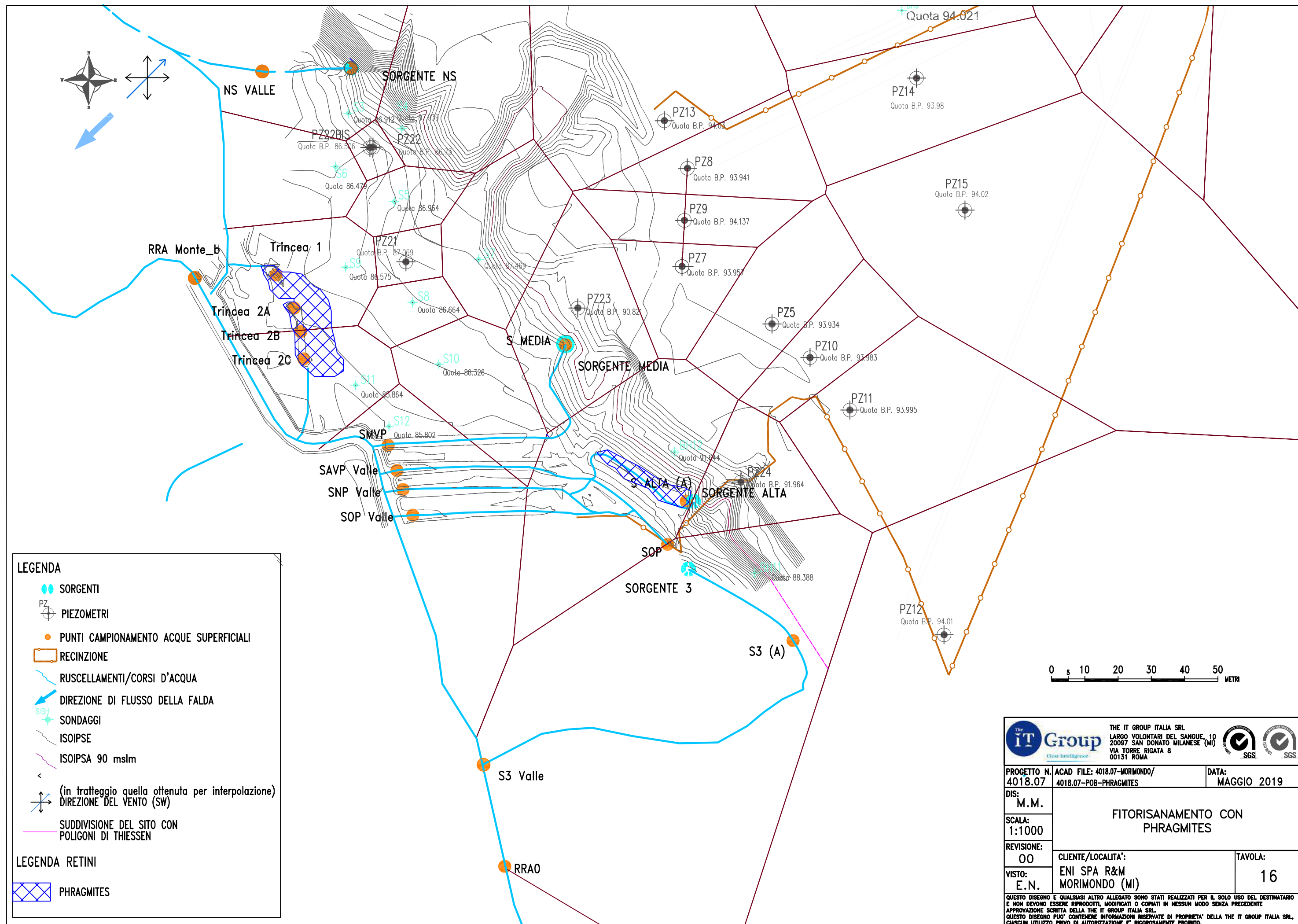
A horizontal scale bar with markings at 0, 7.5, 15, 30, 45, 60, and 75 METRI.

 The IT Group Clear Intelligence		THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20087 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RIGATA 8 00131 ROMA		 	
PROGETTO N. 4018.07		ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/ 4018.07-POB-FTTORISANAME/COMPENSAZIONE		DATA: MAGGIO 2019	
DIS: M.M.		FITORISANAMENTO/COMPENSAZIONE AREA RISORGIVE			
SCALA: 1:1500					
REVISIONE: OO					
VISTO: E.N.		CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)		TAVOLA: 14	

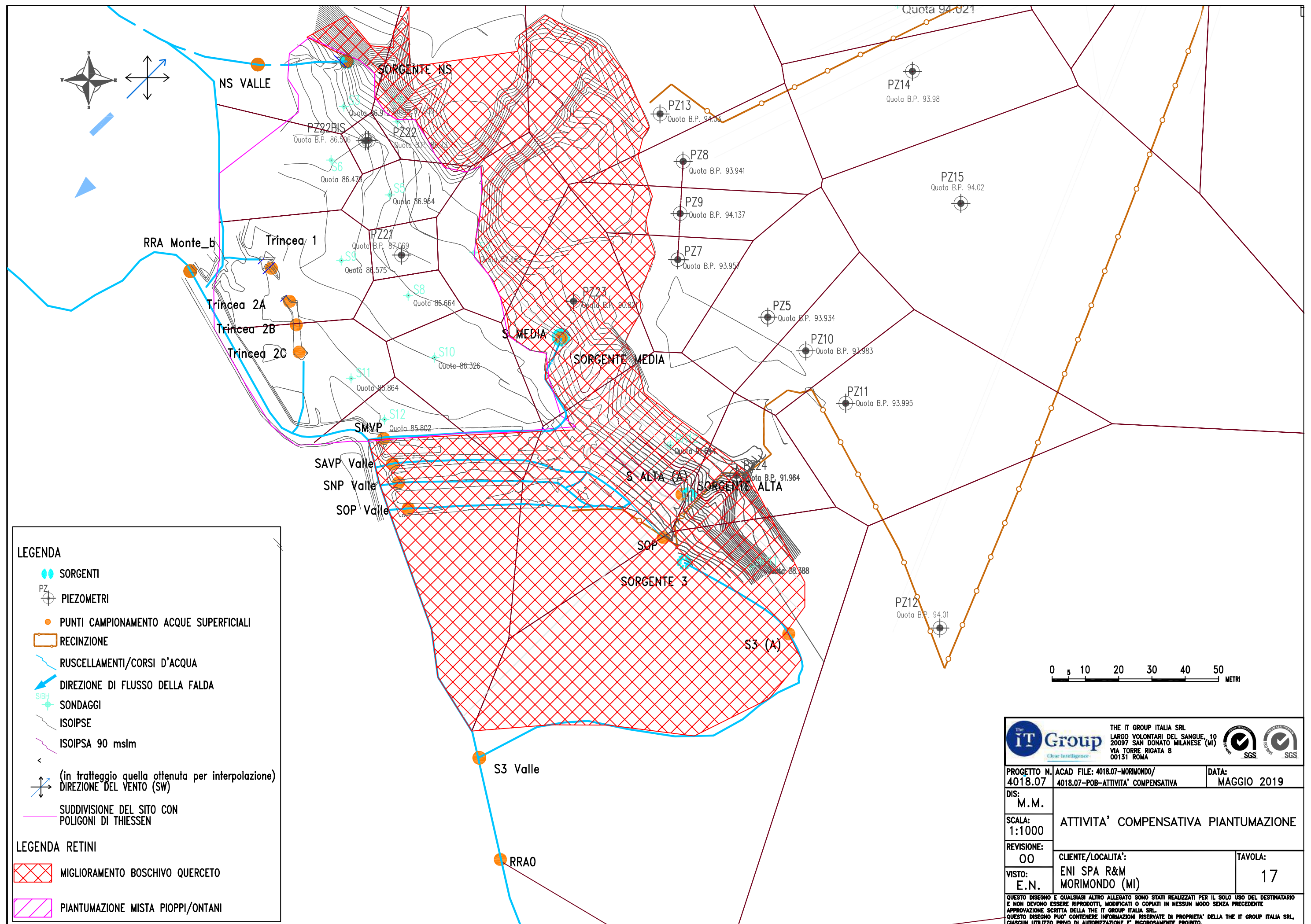
QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.

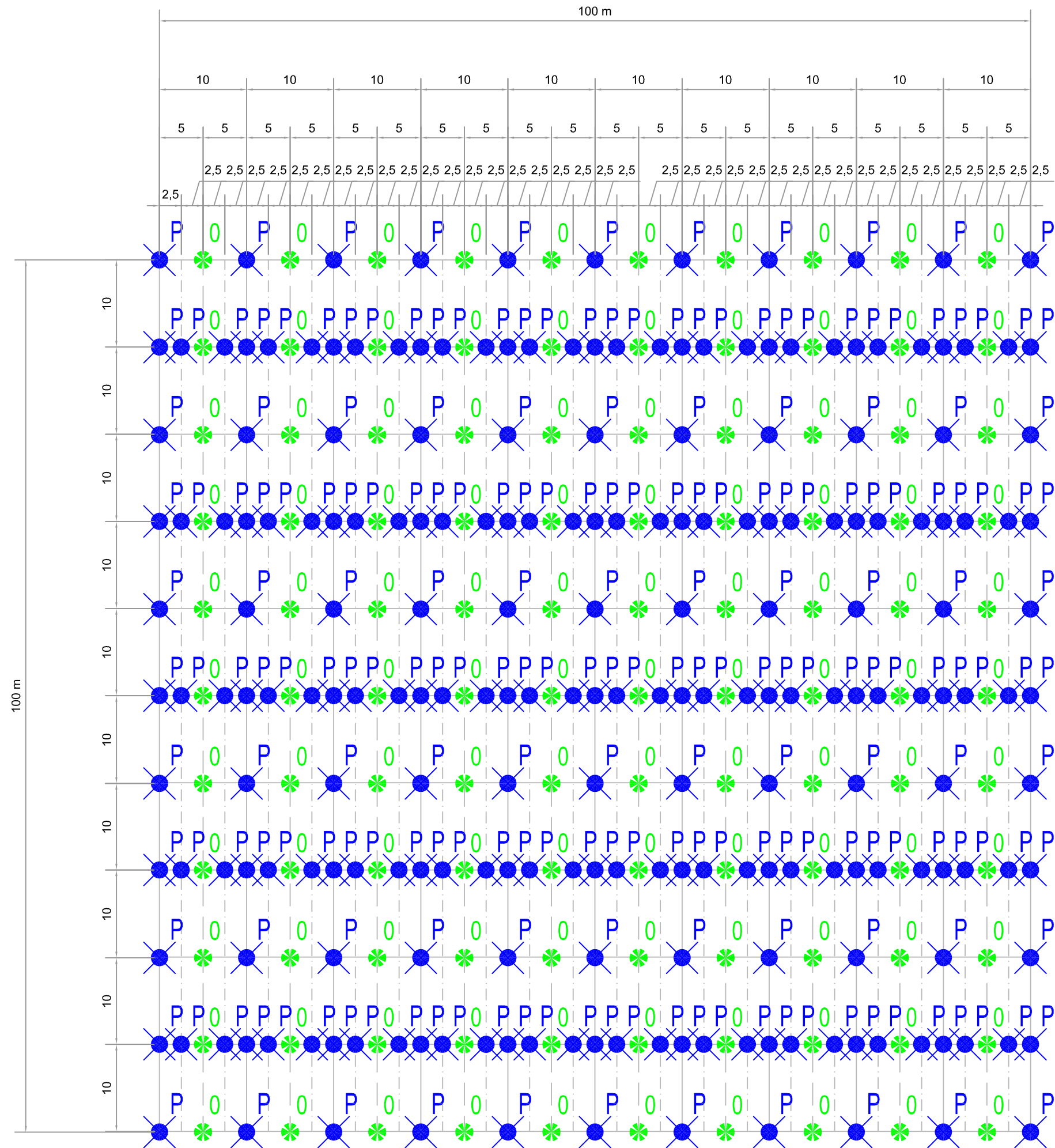
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. L'UTILIZZO PER UN'AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.





 <div>THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RIGATA 8 00131 ROMA</div>  		
PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/ 4018.07-POB-PHRAGMITES	DATA: MAGGIO 2019
DIS: M.M.	FITORISANAMENTO CON PHRAGMITES	
SCALA: 1:1000		
REVISIONE: OO	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)	TAVOLA: 16
VISTO: E.N.	QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.	

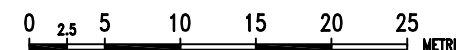







LEGENDA

0
* ONTANI

P
* PIOPPI



		THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RIGATA 8 00131 ROMA			
PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/ 4018.07-POB-IMPIANTO PIOPPI/ONTANI			DATA: MAGGIO 2019	
DIS: M.M.	SCHEMA IMPIANTO (1ha) PIOPPI/ONTANI				
SCALA: 1:500					
REVISIONE: 00	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)			TAVOLA: 18	
VISTO: E.N.					
<small>QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.</small>					

ALLEGATI

ALLEGATO A Determina del Comune di Morimondo n. 131 del 23/07/2018 di
“Approvazione della Revisione analisi di rischio sito specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06”

ALLEGATO B Schede di sicurezza Ivey-sol® 103 e Ivey-sol® 106

Sito: Oleodotto 10” Sannazzaro-Rho, Comune di Morimondo (MI)

Committente: Eni SpA

Oggetto: Progetto Operativo di Bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 – FASE I

Maggio 2019

ALLEGATO A Determina del Comune di Morimondo n. 131 del 23/07/2018 di
“Approvazione della Revisione analisi di rischio sito specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06”

Sito: Oleodotto 10” Sannazzaro-Rho, Comune di Morimondo (MI)

Committente: Eni SpA

Oggetto: Progetto Operativo di Bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 – FASE I

Maggio 2019

Da "Tecnico PEC" <ufficiotecnico.comune.morimondo@pec.regione.lombardia.it>
"ambiente@pec.regione.lombardia.it" <ambiente@pec.regione.lombardia.it>,
"protocollo@pec.cittametropolitana.mi.it" <protocollo@pec.cittametropolitana.mi.it>,
"parco.ticino@pec.regione.lombardia.it" <parco.ticino@pec.regione.lombardia.it>,
"dipartimentomilano.arpa@pec.regione.lombardia.it" <dipartimentomilano.arpa@pec.regione.lombardia.it>,
"dipartimentoprevenzione@pec.ats-milano.it" <dipartimentoprevenzione@pec.ats-milano.it>,
A "servizi.sociosanitari@pec.golgiredaelli.it" <servizi.sociosanitari@pec.golgiredaelli.it>,
"cda@pec.policlinico.mi.it" <cda@pec.policlinico.mi.it>, "sitra@pec.policlinico.mi.it"
<sitra@pec.policlinico.mi.it>, "fondazionesviluppocagrand@legalmail.it"
<fondazionesviluppocagrand@legalmail.it>, "theitgroup@pec.it" <theitgroup@pec.it>,
"rm_ref_hubnord@pec.eni.com" <rm_ref_hubnord@pec.eni.com>, "mail@pec.cattaneoweb.com"
<mail@pec.cattaneoweb.com>

Data martedì 24 luglio 2018 - 11:21

trasmissione documentazione Conferenza dei servizi del 10.07.2018

Spett.le Regione Lombardia

D.G. Ambiente, Energia e Sviluppo sostenibile

Unità Organizzativa Attività estrattive, rifiuti e bonifiche

Piazza Città di Lombardia, 1

20124 Milano

PEC: ambiente@pec.regione.lombardia.it

Alla C.A. Nicola Di Nuzzo

Spett.le Città Metropolitana di Milano

Settore Rifiuti e Bonifiche

Servizio bonifiche siti contaminati

Corso di Porta Vittoria, 27

20122 Milano

PEC: protocollo@pec.cittametropolitana.mi.it

Alla C.A. Delia Grossrubatscher

Spett.le Parco Lombardo del Ticino

U.O.4 – Territorio, Urbanistica e Siti Natura 2000

Via Isonzo, 1 - 20013 Pontevecchio di Magenta (MI)

parco.ticino@pec.regione.lombardia.it

Alla C.A. Aldo Paleari e Valentina Parco

Spett.le ARPA Lombardia

Dip. Provinciale di Milano

U. O. Suolo Bonifiche

Via Juvara, 22 20129 MILANO

PEC: dipartimentomilano.arpa@pec.regione.lombardia.it

Alla C.A. Salvatore Buscemi

Spett.le ATS Milano Città Metropolitana

U.O.C. sanità Pubblica

Corso Italia, 19 – 20122 Milano

PEC: dipartimentoprevenzione@pec.ats-milano.it

Spett.le Azienda di servizi alla Persona Golgi Redaelli

Via Olmetto, 6 20123 Milano

PEC: servizi.sociosanitari@pec.golgiredaelli.it

Egr. Sig. Davide Cattaneo

Via dei Mulini 4 – 20080 Albairate (MI)

PEC: mail@pec.cattaneoweb.com

Spett.le Fondazione IRCCS Ca' Granda –

Ospedale Maggiore Policlinico

Via F. Sforza 28 – 20122 Milano

PEC : cda@pec.policlinico.mi.it

sitra@pec.policlinico.mi.it

Spett.le Fondazione Sviluppo Ca' Granda –

Via F. Sforza 28 – 20122 Milano

PEC: fondazionesviluppocagrand@legalmail.it

Spett.le The IT Group Italia S.r.l.

Spett.le Eni Spa Divisione Refining & Marketing

PEC: theitgroup@pec.it

Via Felice Maritano 26

Alla C.A. Dott.ssa Stefania Bollani

20097 San Donato Milanese – MI-

PEC : rm_ref_hubnord@pec.eni.com

Alla C.A. Paolo Angelini

Con la presente si trasmette la determinazione n. 131 del 23.07.2018 di "Approvazione della Revisione analisi rischio sito specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06", con allegati, quali parti integranti, i verbali della Conferenza Istruttoria, Conferenza Decisoria e i Pareri.

Distinti Saluti

Arch. Sara Magnani

Ufficio Tecnico

Comune di Morimondo

Città Metropolitana di Milano

02- 94961911 int. 8

Allegato(i)

ApprovazioneRevisioneAnalisiRischio.pdf (508 Kb)



COMUNE DI MORIMONDO

REGISTRO ALBO PRETORIO

N. 368

23 LUG 2018

Comune di Morimondo

Città Metropolitana di Milano

DETERMINAZIONE N. 131 DEL 23/07/2018

OGGETTO: PROGETTO DI BONIFICA AMBIENTALE AI SENSI DEL D.LGS 152/2006
APPROVAZIONE REVISIONE ANALISI RISCHIO SITO SPECIFICA AI SENSI DEL D.LGS. 152/06

IL RESPONSABILE DELL'AREA TECNICA

RICHIAMATO:

- Il D.lgs 152/2006 che stabilisce i criteri, le procedure e le modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti contaminati.

PREMESSO CHE:

- In data 06/10/2015 prot. 2972 Eni S.p.A., in qualità di "Soggetto non responsabile", ha notificato ai sensi degli art. 245 e 249 del D.lgs 152/2006 l'avvenuta fuoriscita di idrocarburi nei pressi della località Cascina Cerina di Sopra – Comune di Morimondo a causa di avvenuta effrazione dolosa in corrispondenza dell'oleodotto interrato Sannazzaro – Rho.
- In data 15/10/2015 – prot. 3106 – Eni S.p.A. ha comunicato che, a seguito dell'attività di messa in sicurezza successiva all'avvenuta effrazione del 06/10/2015, si è riscontrato come la bonifica dell'area interessata dall'evento non sia compatibile con la procedura semplificata e pertanto ha provveduto a comunicare il passaggio alle procedure di cui all'art. 242 del Titolo V della Parte IV del D.lgs 152/2006 in qualità di "Soggetto non responsabile".
- In data 05/11/2015 – prot. 3391 – Eni S.p.A. ha provveduto a trasmettere "Piano di Caratterizzazione" ai sensi dell'art. 242 comma 3 del D.lgs 152/2006 redatto dalla Società The IT Group quale consulente ambientale.
- In data 06/02/2016 – prot. 499 – Eni S.p.A. ha proceduto a trasmettere "Aggiornamento attività di messa in sicurezza (Novembre 2015 – Gennaio 2016)" e contestualmente ha richiesto incontro tecnico con le parti interessate per valutare gli eventuali ulteriori interventi di messa in sicurezza da eseguire.
- Il Comune di Morimondo ha convocato in data 26/02/2016 Conferenza di Servizi ai sensi dell'art. 242 del D.lgs 152/2006 con gli enti competenti al fine di esprimere parere in merito al Piano di Caratterizzazione prot. 3391 del 15/11/2016 e successiva comunicazione "Aggiornamento attività di messa in sicurezza (Novembre 2015 – Gennaio 2016)" prot. 499 del 06/02/2016.
- In data 26/02/2016 si è regolarmente svolta Conferenza dei Servizi ai sensi dell'art. 242 del D.lgs 152/2006, che ha espresso il seguente parere conclusivo: La Conferenza dei Servizi approva il Piano di Caratterizzazione integrato dei piezometri aggiuntivi.



Comune di Morimondo

Città Metropolitana di Milano

- La Conferenza dei Servizi in data 28/10/2016 ha valutato l'Analisi di rischio specifica art. 242 D.Lgs. 125/2006 ed Eni in base ai pareri espressi si è impegnato a presentare il Piano di Caratterizzazione e conseguente Revisione di Analisi di rischio.
- Il Comune di Morimondo ha convocato in data 28.04.2017 la conferenza di Servizi decisoria e asincrona , con termine per gli Enti per le proprie determinazioni 17.05.2017, con la quale si è approvata l'Analisi di rischio sito specifica art. 242 D. Lgs 152/06.

CONSIDERATO CHE:

- In data 06.04.2018 prot. 1484 Eni S.p.A. ha provveduto a trasmettere "Revisione di Analisi di Rischio Sito Specifica" ai sensi del D.lgs.152/06 e del D.lgs 04/08 redatto dalla Società The IT Group quale consulente ambientale.
- Il Comune di Morimondo ha convocato in data 10/07/2018 la Conferenza di Servizi Istruttoria e Decisoria in forma simultanea ed in modalità sincrona ai sensi dell'art. 14 ter della legge 241/90 e smi, per l'approvazione della "Revisione di Analisi di Rischio Sito Specifica" ai sensi del D.Lgs 152/06.
- In data 10/07/2018 si è svolta regolarmente la Conferenza dei Servizi Istruttoria come da verbale, allegato al presente atto, quale parte integrante, che ha espresso il seguente parere conclusivo:
" La Conferenza di servizi istruttoria, preso atto dei pareri espressi dagli Enti sul documento Revisione Analisi di Rischio ai sensi del D.lgs. 152/2006 , esprime parere favorevole sull'approvazione dell'elaborato progettuale. La Conferenza di servizi istruttoria ricorda inoltre l'importanza che riveste la predisposizione del progetto operativo di bonifica dei terreni e delle acque di falda per il raggiungimento degli obiettivi definiti dall'analisi di rischio e la possibilità che le operazioni di bonifica possano permettere di raggiungere anche obiettivi di qualità più restrittivi, come richiesto dal Parco, senza che ciò precluda gli adempimenti di certificazione previsti dal D.Lgs. 152/06. "
- In data 10/07/2018 si è svolta regolarmente la Conferenza dei Servizi Decisoria come da verbale, allegato al presente atto, quale parte integrante, che ha espresso il seguente parere conclusivo: "La Conferenza di Servizi Decisoria, preso atto dei contenuti del verbale della Conferenza di Servizi istruttoria del 10/07/2018, approva il documento progettuale Revisione Analisi di Rischio ai sensi del D.lgs. 152/2006, con le condizioni e prescrizioni riportate nel verbale della Conferenza di Servizi Istruttoria"

VISTI:

- Il parere espresso dal Parco Lombardo della Valle del Ticino, in data 09/07/ 2018 prot. 3010 , allegato al presente atto quale parte integrante;
- Il parere espresso da ARPA Lombardia, in data 03/07/2018 prot. 2932 , allegato al presente atto quale parte integrante;



Comune di Morimondo

Città Metropolitana di Milano

- I verbali della Conferenza dei Servizi Istruttoria e Decisoria;
- L'art. 13 L.R. 01/02/2012.
- L'art. 14 della Legge 241/90 e s.m.i.
- Il D.Lgs 267/2000 e s.m.i.

DETERMINA

DI APPROVARE ai sensi dell'art. 14 della Legge 241/90 il documento di Revisione Analisi Rischio Specifica ai sensi del D.lgs. 152/06 e del D.Lgs. 04/08 redatto dalla Società The IT Group in qualità di consulente ambientale di Eni S.p.A. trasmesso in data 06/04/2018 – prot. 1484 relativo agli interventi previsti a seguito di fuoruscita di idrocarburi causata da manomissione dolosa dell'oleodotto Eni Sannazzaro – Rho avvenuto nei pressi della Località Cascina Cerina di sopra nel Comune di Morimondo.

DI PUBBLICARE la presente per quindici giorni consecutivi all'albo pretorio.

DI TRASMETTERE copia della presente Determinazione agli enti invitati alla Conferenza dei Servizi.

DI DARE ATTO che con la presente determinazione non si prevede impegno di spesa.

IL RESPONSABILE DELL'AREA TECNICA

Dott. Marco Marelli

Marco Marelli





COMUNE DI MORIMONDO

Città metropolitana di Milano

Area Tecnica Manutentiva - ufficiotecnico@comune.morimondo.mi.it

Tel.02/94961941-1911 fax 02/ 94961950

Conferenza dei servizi per valutazione "Revisione Analisi Rischio Sito specifica sito specifica art. 242 D.lgs 152/2006 – Effrazione di Oleodotto presso area boschiva Cascina Cerina di Sopra in Comune di Morimondo.

CONFERENZA ISTRUTTORIA

In data 10.07.2018 ore 10.40 presso la Sede Comunale sono presenti:

- Comune di Morimondo – in delega SARA MAGNANI
- Regione Lombardia – NICOLA DI NUZZO
- Città Metropolitana di Milano DELIA GROSSRUBATSCHER E BRUNO RONCHETTI
- Parco Del Ticino in delega ALDO PALEARI –VALENTINA PARCO
- ARPA Lombardia SALVATORE BUSCEMI
- Sig. Davide Cattaneo – PROPRIETARIO TERRENO
- Eni PAOLO ANGELINI
- The IT Group STEFANIA BOLLANI ED ELISA NERI (CONSULENTI ENI)
- Società Golder LORENZO PIZZINGRILLI (CONSULENTI ENI)

Sono pervenuti i seguenti pareri, allegati che costituiscono parte integrante del presente verbale:

- ARPA Lombardia – prot. 2932 del 03/07/2018
- Parco del Ticino – prot. 3010 del 09/07/2018

E' pervenuta nota della Prefettura di Milano, – prot. 2776 del 21.06.2018 allegata che costituisce parte integrante del presente verbale

Verbalizza Arch. Sara Magnani –

Dopo una breve illustrazione dei contenuti del documento "Revisione Analisi di rischio sito specifico", vengono espressi dagli Enti i pareri in merito all'elaborato progettuale.

ARPA dà lettura della propria valutazione tecnica, di cui alla nota prot. 2932 del 03/07/2018, che costituirà parte integrante del presente verbale. ARPA sottolinea, altresì, l'importanza che riveste la definizione degli obiettivi di bonifica, anche per il successivo rilascio della certificazione di avvenuta bonifica delle aree.

CITTA' METROPOLITANA DI MILANO prende atto e fa propria la valutazione tecnica di ARPA Lombardia.

PARCO LOMBARDO DELLA VALLE DEL TICINO dà lettura della nota prot. 3010 del 09/07/2018, con cui nel prendere atto delle competenze tecniche di ARPA e di Città' Metropolitana di Milano chiede il raggiungimento di obiettivi di bonifica più restrittivi, rispetto a quelli definiti dell'analisi di rischio, stante la particolare rilevanza ambientale e paesaggistica dell'area oggetto di intervento e chiede un approfondimento del piano di Monitoraggio, secondo le indicazioni della medesima nota.



COMUNE DI MORIMONDO

Città metropolitana di Milano

Area Tecnica Manutentiva - ufficiotecnico@comune.morimondo.mi.it

Tel.02/94961941-1911 fax 02/ 94961950

Regione Lombardia prende atto delle valutazioni tecniche espresse da ARPA e Città Metropolitana di Milano e non rileva alcuna condizione ostativa all'approvazione dell'analisi di rischio.

Ritiene però necessario, visto che il Punto di Conformità utilizzato per la definizione delle CSR (concentrazioni soglie di rischio) è esterno alle aree oggetto di caratterizzazione, che anche le aree a monte dei POC siano oggetto dell'esecuzione di un'indagine ambientale preliminare che escluda impatti ambientali negativi concatenati all'evento doloso (effrazione oleodotto ENI Sannazzaro/Rho).

Comune di Morimondo dà lettura della nota prefettizia n. 2434/2018 del 14 giugno 2018, con cui il Viceprefetto, dott. Falcomatà, ha comunicato l'assenza di competenze in merito alla formulazione di determinazioni e/o pareri sul documento analisi di rischio.

Il Comune prende atto delle valutazioni tecniche ed dei pareri espressi dagli Enti sul documento all'ordine del giorno.

CONCLUSIONI

La Conferenza di servizi istruttoria, preso atto dei pareri espressi dagli Enti sul documento " Revisione Analisi di Rischio ai sensi del D.lgs. 152/2006 ", esprime parere favorevole sull'approvazione dell'elaborato progettuale.

La Conferenza di servizi istruttoria ricorda inoltre l'importanza che riveste la predisposizione del progetto operativo di bonifica dei terreni e delle acque di falda per il raggiungimento degli obiettivi definiti dall'analisi di rischio e la possibilità che le operazioni di bonifica possano permettere di raggiungere anche obiettivi di qualità più restrittivi, come richiesto dal Parco, senza che ciò precluda gli adempimenti di certificazione previsti dal D.Lgs. 152/06.

Letto e firmato

[Signature] (COMUNE DI MORIMONDO)

[Signature] (ARPA LOMBARDIA)

[Signature] (CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO)

[Signature] (PARCO TICINO)

[Signature] (PROPRIOETARIO)

Per Uff. Rinnovo

[Signature] (Regione Lombardia)

[Signature] (ENI RYM)

[Signature] (THE IT GROUP ITALIA)

Piazza Municipio 1 20081 MORIMONDO (MI) p.l. Tel.02 94961941 (2 linee f.a.) 0294961911 - fax 02 94961950

Sito Internet : www.comune.morimondo.mi.it f. 82003090154 P.I. 07180060159

[Signature] (GOLDER)

Fascicolo 2018.6.77... 725

E 3 LUG 2018

Valutazione tecnica
Analisi di rischio sito-specifica - revisione 1
Effrazione oleodotto Sannazzaro - Rho -
Comune di Morimondo

Con riferimento alla documentazione inviata da ENI Spa agli atti del 09/04/2018 prot. n° 55696 di revisione dell'ADR a seguito della CDS del 28/10/2016;

richiamato il parere di ARPA del 28/10/2016 prot. n° 156619;

vista la caratterizzazione integrativa eseguita nel corso del 2017 al fine di rispondere alle richieste degli Enti;

si osserva quanto segue:

1. Nel corso del 2017 sono state effettuate le indagini integrative di caratterizzazione al fine della miglior definizione dell'estensione delle sorgenti individuate. Nel sito sono presenti n° 24 piezometri ed è al momento attivo un sistema di pump and Treat con recupero di prodotto surnatante in via di estinzione. A partire dalla fine del 2015 ad oggi sono stati eseguiti monitoraggi periodici;
2. Nel sito sono presenti n° 3 sonde per la rilevazione dei soli gas e sono state eseguite n° 4 campagne di misure nelle quattro stagioni;
3. Data la complessità idrogeologica e la variabilità morfologica, il sito viene diviso in tre aree omogenee tra loro: Area effrazione monte risorgive, area risorgive/bosco. In ciascuna delle due aree, impattate dall'effrazione, sono identificate tre sorgenti: una in suolo superficiale, una in suolo profondo e una nelle acque sotterranee;
4. Viene utilizzato il software risk-net 2.1, ma non vengono allegati i file in formato editabile;
5. Il modello concettuale utilizzato nell'ADR ha previsto l'attivazione del percorso di volatilizzazione outdoor per bersaglio residenti con esposizione ricreativa ed il percorso di dissolvazione e trasporto in falda e vengono calcolate le concentrazioni soglia di rischio (CSR);
6. I Punti di Conformità (POC) sono ubicati in zona distale rispetto al punto d'effrazione nella porzione più depressa del terrazzamento fluviale in destra idrologica rispetto alla direzione della roggia Rabica;
7. Preso atto delle condizioni sopra indicate, i risultati dell'analisi di rischio mostrano:
 - Area risorgive/bosco: rischio di dissolvazione da suolo profondo per lo xilene;

Responsabile del P.U.O. e del procedimento: Ing. Massimo Leoni - tel. 02.74872544-491 e-mail: m.leoni@arpalombardia.it
Responsabili dell'istruttoria: Dott. Geol. Salvatore Buscemi - tel. 02.74872548 e-mail: s.buscemi@arpalombardia.it

Dipartimento di Milano - Via Filippo Jovara, 22 - 20129 Milano - Tel: 02/748721 - Fax: 02/70124857
Indirizzo e-mail: milano@arpalombardia.it - Indirizzo PEC: dipartimentomilano.arpa@pec.regione.lombardia.it

Dipartimento di Monza Brianza - Via Solferino 16 - 20900 Monza - Tel: 039/3946311 - Fax: 039/3946319
Indirizzo e-mail: monza@arpalombardia.it - Indirizzo PEC: dipartimentomonza.arpa@pec.regione.lombardia.it

Sede Legale Palazzo Sistema - Via Rosellini, 17 - 20124 MILANO - Tel. 02.696661 - www.arpalombardia.it
Indirizzo e-mail: info@arpalombardia.it - Indirizzo PEC: arpa@pec.regione.lombardia.it

- Area effrazione e monte risorgive: rischio di inalazione outdoor da suolo superficiale e profondo e rischio di lisciviazione in falda da suolo profondo per C>12, C<12 e Xilene.
8. Vengono eseguite le verifiche in modalità diretta utilizzando i valori di soil gas al fine di escludere il percorso di inalazione outdoor e calcolate le CSR a partire dai soil gas stessi (definite CSR collaudi nel documento);
9. Le conclusioni riportano le tabelle con indicate le CSR per ciascuna sorgente: tabella 12.11 per l'areale risorgive/bosco e tabella 12.11B per areale effrazione e monte risorgive. Dal confronto tra le CSR e le CRS si rileva che il sito è da considerarsi contaminato:
- area risorgive/bosco: sorgente 1P - per il parametro xilene - CSR = 3.41 mg/kg a protezione della risorsa idrica;
 - area effrazione/monte risorgive:
 - a) sorgente 2S - per il parametro C>12 - CSR = 1893 mg/kg per il percorso di inalazione outdoor;
 - b) sorgente 2P - per i parametri
 - C>12 - CSR 936.91 mg/Kg;
 - C<12 - CSR = 56.22 mg/Kg;
 - xileni - CSR = 0.5 mg/Kg;a protezione della risorsa idrica.
10. Viene preposta il proseguo del monitoraggio delle acque sotterranee, di risorgiva e superficiali con cadenza bimestrale e trimestrale fino all'implementazione/approvazione del progetto operativo di bonifica del sito.

Nel merito di quanto sopra si esprime valutazione positiva al documento presentato, gli obiettivi di bonifica saranno quelli più bassi calcolati tra i percorsi di esposizione considerati.

I tecnici

Dott. Geol. Paola Panzeri

Dott. Geol. Salvatore Buscemi

Il responsabile dell'U.O.

Ing. Massimo Leoni



COMUNE DI MORIMONDO

Prot. n°

del

21 GIU 2018

Prefettura di Milano
Ufficio territoriale del Governo

Fasc. 2434/2016

Milano, 14 giugno 2018

AL COMUNE DI MORIMONDO

e p.c.

AL MINISTERO DELL'AMBIENTE E
DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E
DEL MARE

ROMA

dgsvi@pec.miniambiente.it

Oggetto: Conferenza di Servizi. Effrazione Oleodotto Sannazzaro – Comune di Morimondo presso Cascina Cerina di Sotto. Conclusione procedimento "Revisione Analisi di Rischio Sito ai sensi del D.Lgs 52/06 e 04/08".

Si fa riferimento alla nota prot. 2625 in data 13 u.s. avente per oggetto "Effrazione Oleodotto Sannazzaro – Rho presso l'area della Cascina Cerina di Sotto nel Comune di Morimondo - Indizione delle Conferenze dei Servizi di Istruttoria e decisoria in formula simultanea e sincrona ai sensi dell'art. 14 ter - legge 241/90 e s.m.i."

Al riguardo, non sono state individuate specifiche norme che attribuiscono a quest'Ufficio alcuna competenza in merito alla formulazione di determinazioni e/o pareri relativamente all'oggetto della Conferenza e quindi ai sensi dell'art. 14, comma 2, della l. 241/90 in relazione all'assunzione del valore decisorio del procedimento.

Si aggiunge che questa Prefettura e' deputata alle informazioni da rendere al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, secondo quanto previsto dagli artt. 301 e 304 del d.lgs. 152/06.

Si rimane comunque disponibili per qualsiasi ulteriore esigenza codesto Ente riterrà di dover rappresentare.

Il Dirigente Area V
Il Viceprefetto
(Falcomatà)

Handwritten notes and diagrams at the top of the page, including a small sketch of a structure.

Section 1. General description of the project.

1.1. Objectives and scope of the study.

1.2. Methodology and data collection.

1.3. Results and discussion.

1.4. Conclusions and recommendations.

Section 2. Detailed description of the project.

2.1. Description of the project area.

2.2. Description of the project activities.

2.3. Description of the project results.

2.4. Description of the project conclusions.



**PARCO LOMBARDO
DELLA VALLE DEL TICINO**



**U.O. 4 - TERRITORIO, URBANISTICA E
SITI NATURA 2000
Settore Territorio**

*Sviluppo sostenibile, tutela della biodiversità e
dell'ambiente, qualità della vita*

COMUNE DI MORIMONDO

Prot. n° 3010
del 09/07/2018

SPETT.LE

Comune di Morimondo
comune.morimondo@pec.regione.lombardia.it

Magenta, 09.07.2018
Prot. n° assegnazione PEC/CP/AP

OGGETTO: effrazione oleodotto Sannazzaro-Rho presso l'area "Cerina di sotto" nel Comune di Morimondo -
Indizione delle Conferenze dei Servizi istruttoria e decisoria in forma simultanea ed in modalità
sincrona ai sensi dell'art.14 ter - legge 241/90 s.m.i.

Con riferimento all'oggetto ed alla nota via PEC del Comune di Morimondo del 14.06.2018, prot. 5911,
richiamato il precedente parere del Parco rilasciato presso la Conferenza dei Servizi del 28.10.2016,
esaminato il documento "Revisione Analisi di Rischio Sito Specifico" di cui alla nota ENI del 29.03.2018, prot.
n°590/18, precisato che il presente parere estende la propria valutazione al quadro più ampio della
potenziale compromissione ecologica dell'area oggetto dell'effrazione e nello specifico al documento
integrativo di ENI "Piano di indagine ambientale esteso alla componente ecologica degli ambienti naturali
interferiti", si evidenzia quanto segue:

1) documento "Revisione Analisi di Rischio Sito Specifico"

Si rimette al collegio tecnico di ARPA e Città Metropolitana la valutazione del documento in relazione
alle dirette competenze di cui al D.lgs 152/06.

Si ribadisce la necessità, secondo le considerazioni già espresse nel precedente parere del
27.10.2016 e sentita nel merito anche Regione Lombardia intervenuta nell'incontro tecnico del
24.05.2018, di richiedere alla parte la predisposizione di un progetto di risanamento con obiettivi di
bonifica della matrice suolo più restrittivi di quelli individuati nell'analisi di rischio sanitaria sito
specifico, da sottoporre a valutazione dell'Autorità competente al procedimento di bonifica. La
proposta dovrà considerare i protocolli e le linee guida per il biorisanamento a livello regionale e
nazionale e a tal fine si ritiene utile segnalare i seguenti ambiti di ricerca:

- ✓ progetto LIFE15/ENV/IT/000396 LIFE BIOREST
- ✓ tecniche di fitorimediale nella bonifica dei siti contaminati elaborate da RECONnet, Rete Nazionale
sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati;
- ✓ progetto LIFE11/ENV/IT/275 - ECOREMED.

**2) documento "Piano di indagine ambientale esteso alla componente ecologica degli ambienti naturali
interferiti"**

Dai risultati delle indagini sin d'ora condotte sull'area estesa, attraverso l'impiego di diversi
bioindicatori, emerge che la maggior parte delle stazioni monitorate mostrano una sostanziale
stabilità ecologica. Fanno eccezione le stazioni "sorgente media" e "sorgente alta" che presentano
per alcuni indicatori, valori di qualità ecologica inferiori; è il caso ad esempio nel giudizio Stato EQB
macrobentos risultato "sufficiente" e "scarso" e il valore di dell' ICMJ che si attesta sul giudizio

"buono". Va inoltre evidenziato che le medesime stazioni, seppur occasionalmente, manifestano la presenza di apprezzabili concentrazioni di MtBE, comunque al di sotto delle soglie stabilite dall'Istituto Superiore di Sanità. Pur riconoscendo i limiti di applicazione di taluni bioindicatori all'ambiente di sorgente (in particolare per quanto riguarda il macrobenthos) e fatta salva comunque una lettura organica dei risultati, secondo quanto riportato nel documento, si ritiene utile, in considerazione che tali stazioni coincidono con i punti di veicolazione del prodotto dell'effrazione, un'intensificazione ed approfondimento dell'attività di monitoraggio.

Si valuta positivamente l'instaurarsi di un evidente processo di attenuazione naturale secondo i risultati riportati nel documento.

Considerazioni conclusive

Fermo restando quanto riportato al punto 1) e al punto 2), dato atto che il Piano di indagine ambientale restituisce un buon quadro informativo dello stato evolutivo dell'area, si ritiene di poter confermare il proseguimento dell'attività di indagine nei termini del protocollo concordato; come anticipato in sede di sopralluogo si chiede tuttavia di inserire i seguenti approfondimenti:

- a) Intensificazione e integrazione delle analisi relative alle stazioni "sorgente Media" e "sorgente Alta", ed eventualmente anche della sorgente NS;
- b) inserimento di indagini finalizzate alla verifica di eventuali processi di bioaccumulo nella componente biotica e a una valutazione della qualità biologica del suolo.

Ringraziando per l'attenzione si porgono cordiali saluti.

Referente pratica:
Aldo Paleari
Tel. 02 97210220

DIRETTORE
Claudio Peja





COMUNE DI MORIMONDO

Città metropolitana di Milano

Area Tecnica Manutentiva - ufficiotecnico@comune.morimondo.mi.it

Tel.02/94961941-1911 fax 02/ 94961950

Conferenza dei servizi per valutazione "Revisione Analisi Rischio Sito specifica sito specifica art. 242 D.lgs 152/2006 – Effrazione di Oleodotto presso area boschiva Cascina Cerina di Sopra in Comune di Morimondo.

CONFERENZA DECISORIA

In data 10.07.2018 ore 12.45 presso la Sede Comunale sono presenti:

- Comune di Morimondo – in delega SARA MAGNANI
- Regione Lombardia – NICOLA DI NUZZO
- Città Metropolitana di Milano DELIA GROSSRUBATSCHER E BRUNO RONCHETTI
- Parco Del Ticino in delega ALDO PALEARI –VALENTINA PARCO
- Eni PAOLO ANGELINI

Sono altresì presenti:

- Sig. Davide Cattaneo – PROPRIETARIO TERRENO
- The IT Group STEFANIA BOLLANI ED ELISA NERI (CONSULENTI ENI)
- Società Golder LORENZO PIZZINGRILLI (CONSULENTI ENI)

In data odierna si tiene la Conferenza dei Servizi Decisoria in modalità sincrona per la valutazione ed approvazione del documento " Revisione Analisi di Rischio ai sensi del D.Lgs. 152/06"

L'Ufficio Presidente comunica che, sempre in data odierna, si è tenuta la Conferenza dei Servizi Istruttoria per la valutazione dell'elaborato progettuale.

La Conferenza di Servizi istruttoria si è conclusa con l'espressione del parere favorevole all'approvazione dell'Analisi di Rischio per il sito oggetto di effrazione all'oleodotto ENI Sannazzaro/Rho.

L'ufficio Presidente ricorda altresì che al verbale della suddetta Conferenza sono allegate le valutazioni tecniche di ARPA sul documento Analisi di Rischio.

Per quanto sopra esposto, la Conferenza di Servizi Decisoria, preso atto dei contenuti del verbale della Conferenza di Servizi istruttoria del 10/07/2018, approva il documento progettuale " Revisione Analisi di Rischio ai sensi del D.lgs. 152/2006, con le condizioni e prescrizioni riportate nel verbale della Conferenza di Servizi istruttoria (allegato quale parte integrante al presente verbale).

L'Ufficio Presidente comunica che a seguito della decisione assunta dalla Conferenza di Servizi decisoria sarà adottato il provvedimento di approvazione dell'elaborato progettuale, oggetto di valutazione nella seduta odierna, dandone comunicazione alla Società ENI e agli Enti territorialmente competenti, nonché ai proprietari delle aree oggetto di interventi.

Letto e firmato

[Firma] (PARCO TICINO)
[Firma] (CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO)
[Firma] (Regione Lombardia)
[Firma] (ENI RJM)
[Firma] (COMUNE DI MORIMONDO)

ALLEGATO B Schede di sicurezza Ivey-sol® 103 e Ivey-sol® 106

Sito: Oleodotto 10" Sannazzaro-Rho, Comune di Morimondo (MI)

Committente: Eni SpA

Oggetto: Progetto Operativo di Bonifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 – FASE I

Maggio 2019

SAFETY DATA SHEET

SDS # 181019-01

Ivey-sol® Surfactant Remediation Technology

Ivey-sol® Formulations: 103, 106 and 108

1. Identification

Product identifier: Ivey-sol® 103, 106, 108
 Other means of identification: Not applicable
 Recommended use: Remediation surfactant
 Restriction on use: Not applicable
 Manufacturer/Supplier Address: Ivey International Inc.
 Unit 7, 19122-27 Avenue, Surrey, BC Canada V3Z 5T1
 Emergency telephone number: Tel: +1 (604) 538-1168 (Not available 24 hours)
 Toll Free: +1 800 246-2744

2. Hazard Identification

WHMIS 2015/OSHA Hazcom 2012/GHS Classification:

- Serious Eye Damage/Irritation Category 2
- Skin Corrosion/Irritation Category 3

Label elements:

Signal word: Warning Pictograms: Hazard statements:

H316 – May causes mild skin irritation.

H319 – may causes eye irritation.



Precautionary Statements:

P264 - Wash contacted areas thoroughly after handling.

P280 - Wear eye protection.

P305/P351/P338 - If In Eyes: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do so. Continue rinsing.

P332/P313 - If skin irritation occurs: Get medical advice/attention.

P337/P313 - If eye irritation persists: Get medical advice/attention

3. Composition / Information on Ingredients

Chemical Name	CAS No.	Concentration (v/v)	Other Identifiers
Biodegradable Non-ionic Surfactant 1	Proprietary	1-10%	Not applicable
Biodegradable Non-ionic Surfactant 2	Proprietary	1-10%	Not applicable
Biodegradable Non-ionic Surfactant 3	Proprietary	1-10%	Not applicable
Biodegradable Non-ionic Surfactant 4	Proprietary	1-10%	Not applicable
Biodegradable Non-ionic Surfactant 5	Proprietary	1-10%	Not applicable
Biodegradable Non-ionic Surfactant 6	Proprietary	1-10%	Not applicable



Preservative	4080-31-3	<90%	Food Grade (Optional)
Scent	8016	<1%	Optional
Water	7732-18-5	<90%	Not applicable

Regulatory Note: Chemical names, CAS numbers and actual concentrations have been withheld as part of a confidential business information claim with HMIRA Registry #11724 filed on 2017-07-17

4. First-aid Measures

- Inhalation: No adverse effects anticipated by this route when handled according to section 7 of document. However, if necessary, move person to fresh air.
- Skin contact: Generally will not irritate skin. Wash contact areas with soap and water. If irritation persist, seek medical attention.
- Eye contact: May cause eye irritation. Flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes, remove contact lenses if present and easy to do so. If irritation persists, seek medical attention.
- Ingestion: Do NOT induce vomiting. Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. If necessary, seek medical attention.

Most Important Symptoms and Effects, Acute and Delayed

Acute Symptoms:

Eye Contact: May be irritating to the eyes. Occasional contact through splashing is not expected to affect the eyes. If irritation occurs, effect will be transient.

Chronic Symptoms: Not Applicable

Immediate Medical Attention and Special Treatment: Not Applicable

5. Fire-Fighting Measures

Suitable extinguishing media: Not flammable. Use extinguishing media for surrounding fire.

Unsuitable extinguishing media: Not applicable

Specific hazards arising from the hazardous product: Not available

Special protective equipment for fire-fighters: Not available

6. Accidental release measures

Personal Precautions, Protective Equipment:

Observe good industrial hygiene practices. Use personal protective equipment as recommended in Section 8. Avoid breathing vapours, mist or gas. Ensure adequate ventilation. Emergency Procedures: Eliminate and/or contain source with inert material (sand, earth, absorbent pads, etc.). Wear basic eye and skin protection. Floor may be slightly slippery; so use care to avoid falling. Avoid discharge to natural waters, and/or dilute with water. Transfer liquids to suitable containers for recovery, re-use or disposal. Contact Ivey for technical assistance if required.

7. Handling and Storage

Precautions for Safe Handling:

Practice good housekeeping. Avoid breathing excessive vapours. Ensure adequate ventilation. Avoid contact with skin and eyes. Wear protective gloves. Wash thoroughly after handling.

Conditions for Safe Storage: Keep closed or sealed when not in use. Do not allow to freeze, keep >0°C.

8. Exposure Controls / Personal Protection

Control parameters: Not available

Appropriate Engineering Controls: General mechanical room ventilation is expected to be satisfactory.

Individual Protections Measures: Eye/face protection: Mono goggles or similar.

Skin protection: Latex gloves, or similar, would be sufficient. Normal work clothes.

Respiratory Protection: None expected to be needed. However, if an engineered / industrial application where vapours and/or misting may occur, wear MSHA/NIOSH approved half mask air purifying respirator

9. Physical and Chemical Properties

Appearance: Liquid, cloudy
Odour: Mild
Odour threshold: Not available
pH: 7 (+/- 0.5) (1% solution)
Melting Point: ~0°C
Freezing point: ~0°C
Boiling Point: Not available
Flash Point: Not applicable
Evaporation Rate: <0.01
Flammability: Not applicable
Lower flammable/ explosive limit: Not applicable
Upper flammable/Explosive Limit: Not applicable
Vapour Pressure: <0.01 mm Hg
Vapour Density: >1
Relative Density: 0.99-1.04
Solubility: 100% (Completely miscible in water)
Partition Coefficient: Not available (n-octanol / water)
Auto-Ignition Temperature: Not applicable
Decomposition Temperature: Not available
Viscosity: Not available

10. Stability and Reactivity

Reactivity: Not reactive.

Chemical Stability: Stable.

Possibility of Hazardous Reactions: Not applicable

Conditions to Avoid: Prolonged excessive heat may cause product decomposition. Freezing should also be avoided as it may cause product decomposition. In some cases freezing may cause irreversible changes.

Incompatible Materials: Normally un-reactive; however avoid strong bases at high temperatures, strong acids, strong oxidizing agents, and materials with reactive hydroxyl compounds. These compounds would damage the mixture and reduce its effectiveness during application.

Hazardous Decomposition products: Not applicable

11. Toxicological Information

Likely Routes of Exposure

Inhalation: No

Skin contact: No

Eye contact: Yes

Ingestion: No
 Acute Toxicity:
 LD50 - Oral (Rat): = >43.000mg/kg (rat) mg/kg
 LD50 - Dermal (Rabbit): >58.000mg/kg (rabbit) mg/kg
 Inhalation: Not available
 Skin corrosion/irritation: Mild irritation
 Serious eye damage/irritation: Eye irritation
 Respiratory or skin sensitization: No
 Germ cell mutagenicity: No
 Carcinogenicity: None known or expected
 Reproductive toxicity: No

12. Ecological Information

Toxicity: Low potential to affect aquatic organisms when used in accordance with Ivey International Inc. In-situ and Ex-situ Remediation Application Guidelines.

Acute toxicity	Time	Species	Method	Evaluation	Remarks
LC/50 = 0.07695%	96h	Rainbow trout	OECD 203	Not applicable	Not applicable
LC/50 = 0.11%	48h	Daphnia magna	OECD 202	Not applicable	Not applicable
EC/50 = Not applicable	72h	Algae	OECD 201	Not applicable	Not applicable

Persistence and degradability: >90% biodegradable in < 28 days.*
 Bio-accumulative potential: Not available
 Mobility in soil: Completely miscible with water.
 Other adverse effects: Not available

Based on actual testing or on data for similar material(s). Degradation Biodegradation reached in Modified OECD Screening Test (OECD Test No.301 E) after 28 days: 90 %. Biodegradation reached in CO2 Evolution Test (Modified Sturm Test, (OECD Test No. 301 B) after 28 days: 70 %.

13. Disposal Considerations

Product/Packaging:

For aqueous mixture solutions; aerobic biological wastewater treatment systems are effective in treating said mixtures. Ivey-sol does not have any known negative affect on coagulant or flocculent water treatment processes.

14. Transport Information

UN Number: Not applicable
 Proper Shipping Name: Not applicable
 Technical Name: Not applicable
 Transport Hazard Class: Not applicable
 Packing Group: Not applicable
 Environmental Hazards: Not applicable



15. Regulatory Information

UN GHS Classification: Classified in accordance with GHS 5th revised edition.

WHMIS Classification: Classified in accordance with HPR August 29, 2016 revised edition.

CPR Compliance: This product has been classified in accordance with the hazard criteria of the CPR, and the SDS contains all the information required by the CPR.

CEPA Compliance: All ingredients of this product are listed on the DSL.

16. Other Information

Creation Date: July 5, 2017

Revision Date: Updated October 2, 2017, October 18, 2018

Disclaimer: This Safety Data Sheet (SDS) was prepared by iHazmat Regulatory Ltd., (www.iHazmat.com) using information provided by Ivey International Inc. The information in this SDS is offered for your consideration and guidance when working with this product. As per usual practice, accuracy of the information included is based on what was provided by the manufacturer and sole liability for the accuracy of these documents falls to Ivey International Inc.

This Safety Data Sheet may not be changed, or altered in any way without the expressed knowledge and permission of Ivey International Inc.

SDS Created By: iHazmat Regulatory Ltd.
www.iHazmat.com

APPENDICE 1

MODELLO DI FLUSSO IDROGEOLOGICO

“AREA EFFRAZIONE”

Sito:

Oleodotto 10” Sannazzaro-Rho
Comune di Morimondo (MI)

Cliente:

Eni spa
Sede Legale
Piazzale Enrico Mattei, 1
00144 Roma - Italia

Progetto N.:	4018.07
Data:	Maggio 2019
Rapporto N.:	32 Appendice 1

Revisionato da: ing. Elisa Neri
Project Manager – The IT Group Italia srl

Approvato da: ing. Lisa Dall’Agata
Direttore Tecnico – The IT Group Italia srl

THE IT GROUP ITALIA SRL
L.go Volontari del Sangue, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
Tel. 02.51814311 - Fax 02.51814399
P. IVA 10195280150 - C.F. 012993960136

DISCLAIMER

Quale autore e titolare, The IT Group Italia S.r.l. (di seguito ITG) si riserva tutti i diritti sul presente elaborato. La relativa riproduzione o diffusione, anche parziale, al di fuori della società Committente cui è direttamente destinato, è vietata senza il preventivo consenso scritto di ITG. ITG non assume alcuna responsabilità che possa derivare da un utilizzo incompleto, parziale o comunque difforme dalle clausole contrattuali, delle informazioni qui contenute da parte della società cliente o di terzi, o dall'utilizzo di eventuali dati, analisi e/o informazioni incomplete o errate fornite dalla Committente, salvo diversa clausola contrattuale. ITG non intende violare alcun Copyright. Le informazioni e la grafica qui raccolte sono, al meglio della nostra conoscenza, o di nostra esclusiva formulazione o di pubblico dominio o fornite dal Committente e soggette pertanto a vincoli di riservatezza o comunque autorizzate dagli autori. Se, involontariamente, è stato pubblicato materiale soggetto a copyright o in violazione alla legge si prega di comunicarlo e provvederemo immediatamente a rimuoverlo. Nomi di prodotti, nomi corporativi e società citati possono essere marchi di proprietà dei rispettivi titolari o marchi registrati di altre società e sono stati utilizzati a puro scopo esplicativo e a beneficio del possessore, senza alcun fine di violazione dei diritti di Copyright vigenti. ITG si riserva il diritto di modificare i contenuti del presente disclaimer in qualsiasi momento e senza alcun preavviso. I documenti possono contenere errori tipografici. Le stime dei costi, le raccomandazioni e le opinioni presentate in questo rapporto sono fornite sulla base della nostra esperienza e del nostro giudizio professionale e non costituiscono garanzie e/o certificazioni. Valutazioni in merito agli standard del servizio fornito devono tenere conto del momento e delle condizioni in cui il servizio è stato fornito. ITG è provvista di procedure ed istruzioni di qualità e di sicurezza per garantire la corretta gestione dei documenti forniti dal Committente al fine di evitarne la perdita, l'uso improprio e l'alterazione dei dati.

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
1.1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO DELL'AREA	5
2.1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
2.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	6
2.3	ELEMENTI IDROGRAFICI.....	8
2.4	STRUTTURA IDROGEOLOGICA	10
2.4.1	<i>Piezometria</i>	11
3	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO DI FLUSSO	16
3.1	SCELTA E DISCRETIZZAZIONE DEL DOMINIO	16
3.2	CONDIZIONI AL CONTORNO E CONDIZIONI INTERNE	19
3.3	PROPRIETÀ IDROGEOLOGICHE.....	26
4	CALIBRAZIONE DEL MODELLO DI FLUSSO	30
4.1	APPROCCIO METODOLOGICO PER LA CALIBRAZIONE DEL MODELLO MATEMATICO	30
4.2	PILOT POINTS E PARAMETRI	30
4.2.1	<i>Variazione dei parametri di input</i>	33
4.3	CALIBRAZIONE DELLA PIEZOMETRIA DI LUGLIO 2016 E DICEMBRE 2018	34
4.4	BILANCIO DI MASSA.....	39
5	SIMULAZIONI	40
5.1	IPOTESI CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DI BARRIERAMENTO	40
5.2	CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DI MISE IN PRESENZA DI CONTRIBUTO IRRIGUO..	41
5.1	CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DI MISE IN ASSENZA DEL CONTRIBUTO IRRIGUO.	45
6	GESTIONE DELLA BARRIERA IDRAULICA/SISTEMA DI REIMMISSIONE	47
7	CONCLUSIONI	48

TAVOLE

TAVOLA 1 MODELLO DI FLUSSO IDROGEOLOGICO

ALLEGATI

ALLEGATO A STRALCIO DEL DOCUMENTO “INQUADRAMENTO GEOLOGICO-IDROGEOLOGICO E
INTERPRETAZIONE PROVE DI PORTATA”

1 INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA

La Scrivente The IT Group Italia S.r.l. (nel seguito IT Group), su incarico della Società Eni S.p.A. Refining & Marketing (nel seguito Eni), ha implementato per l'area di effrazione dell'Oleodotto 10" Sannazzaro-Rho, sito nei pressi della località Cascina Cerina di Sopra, nel Comune di Morimondo, un Modello Matematico di Flusso alle differenze finite, allo scopo di simulare la configurazione ottimale del sistema di P&Treat, quale attività di bonifica proposta in area "Effrazione", abbinata ad un sistema di reimmissione in falda.

Unitamente a quanto sopra, è stato verificato che il sistema proposto non generasse influenze idrogeologiche in corrispondenza dell'area denominata "*Risorgive*".

La prima fase dello studio sono stati acquisiti i dati necessari alla ricostruzione del modello fisico dell'acquifero attraverso l'esame delle stratigrafie esistenti, la raccolta ed analisi dei dati piezometrici e delle prove in sito, ai fini della determinazione dei parametri idrogeologici e del bilancio idrico-idrogeologico.

La seconda fase del lavoro è stata indirizzata verso l'implementazione di un modello numerico di flusso idrico sotterraneo, prevedendo la simulazione di più scenari rappresentativi delle varie condizioni idrogeologiche caratteristiche dell'area oggetto di studio. A tale scopo è stato utilizzato il codice MODFLOW - Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model, programma di calcolo alle differenze finite, ridimensionale, block centered, del U.S.Geological Survey, nella versione più aggiornata denominata MF-USG¹.

¹ (Panday, Sorab, Langevin, C.D., Niswonger, R.G., Ibaraki, Motomu, and Hughes, J.D., 2013, MODFLOW-USG version 1: An unstructured grid version of MODFLOW for simulating groundwater flow and tightly coupled processes using a control volume finite-difference formulation: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A45, 66 p.)

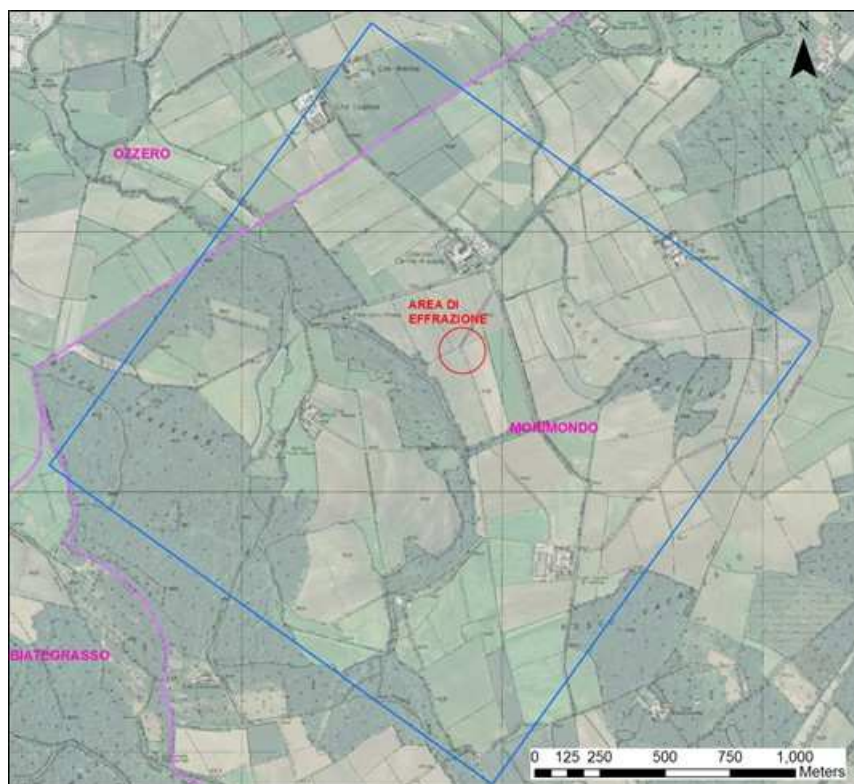
2 INQUADRAMENTO DELL'AREA

2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area di studio è situata nella porzione ovest del comune di Morimondo in territorio relativamente pianeggiante, posto a quote comprese fra 96 m s.l.m. (nord) a 85 m s.l.m. (sud). In direzione circa nord-sud è visibile un orlo di terrazzo che attraversa tutta l'area e separa i depositi antichi, posti ad est a quote maggiori, da quelli recenti, posti ad ovest a quote inferiori. Il comune di Morimondo ricade all'interno dei confini del Parco Lombardo del Ticino nell'ambito della ZSC IT2080002 "Basso corso e sponde del Ticino" e della ZSC "IT2080301 "Boschi del Ticino". L'area è sfruttata principalmente a scopi agricoli, favoriti da una rete di canali irrigui molto sviluppata (cfr. paragrafo 2.2) ed è in parte attraversata dall'oleodotto Sannazzaro – Rho, interessato a ottobre 2015 da un evento doloso di fuoriuscita di idrocarburi in località Cascina Cerina di Sopra.

L'analisi dei dati disponibili relativamente al modello fisico dell'acquifero, illustrati nei successivi paragrafi, ha permesso di definire l'area del dominio della modellazione matematica, esteso in direzione sud fino al confine del comune di Morimondo e verso nord, nella porzione meridionale del comune di Ozzero, per una superficie complessiva di circa 4,4 km², vedi Figura 1 di seguito riportata.

FIGURA 1 – INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI STUDIO – CARTA TECNICA REGIONALE CON SOVRAPPOSTA L'ORTOFOTO. IN AZZURRO L'AREA DI STUDIO, IN ROSA I CONFINI COMUNALI ED IN ROSSO L'AREA DI EFFRAZIONE.



2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

In generale il comune di Morimondo è caratterizzato dalla presenza di depositi quaternari fluvio-glaciali appartenenti al Livello Fondamentale della Pianura, affioranti nella porzione nord-est del comune, e da depositi alluvionali terrazzati antichi e recenti, affioranti nella porzione nord ed ovest, come visibile in Figura 2, in cui si riporta uno stralcio della carta litologica del PGT del comune di Morimondo.

All'interno dell'area di studio (in blu in Figura 2) affiorano i depositi di terrazzo alluvionale antico e recente, descritti nel PGT, come segue:

- superfici terrazzate sospese (alluvioni antiche): depositi messi in posto successivamente al Livello Fondamentale della Pianura, a quota inferiore ad esso, costituiti generalmente da ghiaie e sabbie ciottolose passanti a ghiaie sabbiose. Possono inoltre essere intercalati dei livelli sabbioso-limosi riconducibili ad eventi di esondazione. Corrispondono ad una fascia con estensione nord-sud, situata presso l'area centrale del comune di Morimondo, ubicata presso i terrazzi posti a quota intermedia;
- piane alluvionali inondabili (alluvioni recenti e attuali): depositi costituiti da ghiaie e sabbie con lenti argillose e limose più o meno estese.

I depositi antichi e quelli recenti sono separati da un orlo di terrazzo disposto in direzione circa nord-sud, passante per l'area di studio.

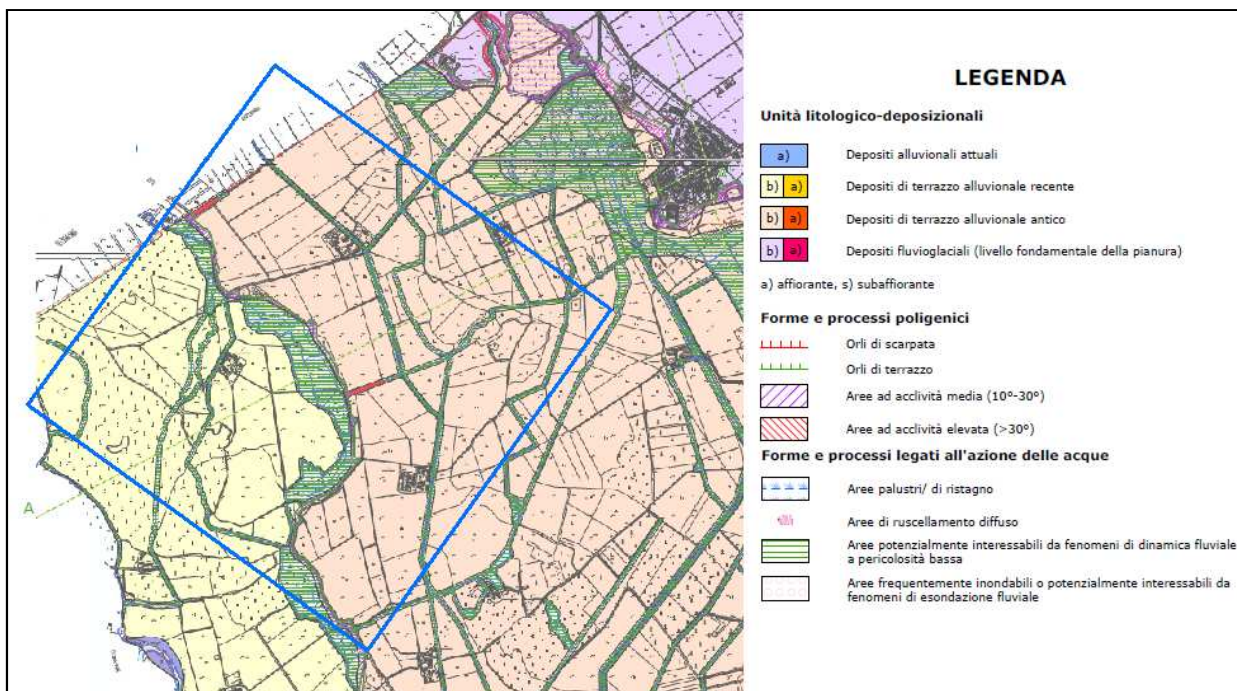
Al fine di ricostruire con maggior dettaglio la struttura geologica e litologica dell'area nell'intorno della zona di effrazione, sono state elaborate n.2 sezioni, una orientata nord-ovest sud-est (sezione n.1) e una orientata nord-sud (sezione n.2), annessa all'Allegato A della presente relazione.

La sezione 1 si estende dal piezometro PZ1 a nord-est al PZ21 a sud-ovest, per una lunghezza complessiva di circa 300 m. È stata elaborata utilizzando le stratigrafie di n. 10 sondaggi, aventi profondità massima pari a 13 m da p.c. Data la profondità dei sondaggi, nessuno di essi ha intercettato la base dell'acquifero A, che in quest'area si pone, sulla base dei bibliografici disponibili² a circa 40 m di profondità.

Il piano campagna lungo la sezione risulta sub pianeggiante dal piezometro PZ1 al PZ8, con quote poco inferiori a 94,5 m s.l.m.; procedendo oltre il PZ8, la quota del piano campagna tende a diminuire fino a circa 87 m s.l.m. (PZ21).

² Provincia di Milano – Assessorato all'Ambiente e Politecnico di Milano D.S.T.M. Geologia Applicata, "Le risorse idriche sotterranee nella Provincia di Milano, Vol I: Lineamenti idrogeologici", Milano, dicembre 1995

FIGURA 2 - ESTRATTO DELLA “CARTA LITOLOGICA E DELLA DINAMICA GEOMORFOLOGICA CON ELEMENTI DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA” – TAV. N. 1B DEL PGT DEL COMUNE DI MORIMONDO. IN BLU L’AREA DI STUDIO, IN VERDE LA TRACCIA DELLA SEZIONE AA’ DEL PGT.



A partire dal piano campagna, si identifica la presenza di ghiaia sabbiosa fino a circa 7 m di profondità da p.c., sostituita più in profondità da sabbia medio-fine ghiaiosa debolmente limosa. Sono presenti alcune lenti di materiale più fine, costituite da sabbia limosa e limo sabbioso, che non risultano continue spazialmente. Lungo la sezione, tra i piezometri PZ1 e PZ23, affiorano i depositi del terrazzo alluvionale antico, identificati nel PGT del comune di Morimondo, a quote comprese tra 87 e 97 m e composti principalmente da ghiaia e ciottoli con sabbia; mentre spostandosi verso sud-ovest rispetto al PZ23, affiorano i depositi del terrazzo alluvionale recente, identificati nel PGT del comune di Morimondo, a quote comprese tra 82 e 87 m e composti principalmente da ghiaia con sabbia.

La sezione 2 si estende dal piezometro PZ13 a nord-ovest al PZ12 a sud-est, per una lunghezza complessiva di circa 180 m. Tale sezione passa lungo l’allineamento del sistema di Pump & Stock n. 2 ed è stata elaborata utilizzando le stratigrafie di n. 8 sondaggi, aventi profondità massima pari a 13 m da p.c. Come per la sezione 1, nessun piezometro ha intercettato la base dell’acquifero A.

Il piano campagna lungo la sezione risulta sub pianeggiante, con quote comprese tra 94,1 e 94,4 m s.l.m. Tale sezione è disposta in direzione parallela all’orlo del terrazzo e risultano affioranti i depositi del terrazzo alluvionale antico. A partire dal piano campagna, si identifica la presenza di ghiaia sabbiosa con uno spessore di circa 6 m a nord che aumenta fino a 10 m circa spostandosi verso sud. In corrispondenza del piezometro PZ9, lo spessore del livello di ghiaia si riduce a 4 m circa.

Al di sotto della ghiaia sabbiosa è presente sabbia medio-fine ghiaiosa debolmente limosa, con intercalazioni di alcune lenti di materiale fine che non risultano continue spazialmente.

2.3 ELEMENTI IDROGRAFICI

L'area di studio è caratterizzata dalla presenza di una fitta rete di canali prevalentemente irrigui, avente andamento diretto da nord verso sud, come visibile in Figura 3. I corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico principale della Regione Lombardia, quali il fiume Ticino, il naviglio di Bereguardo, il Fosson Morto e la roggia Ticinello scorrono al di fuori dell'area di studio.

All'interno del dominio di simulazione un elemento di interesse è rappresentato dalla roggia Rabica, che nasce da canali di risorgiva all'interno del comune di Morimondo. La roggia attraversa, con andamento abbastanza sinuoso, un'area che risulta prevalentemente boscata. Nelle aree limitrofe alla roggia, hanno origine numerose risorgive. In particolare nell'area oggetto di studio sono state individuate n. 5 risorgive d'interesse, denominate Sorgente N, Sorgente SN, Sorgente Media, Sorgente Alta, Sorgente 3A in cui è visibile l'affioramento della falda. Tali punti d'interesse, oggetto di rilievi e monitoraggi, sono stati utilizzati, ai fini dell'implementazione del modello numerico di flusso ivi presentato (rif. 2.3).

Il fondo della roggia Rabica è costituito da sedimenti sabbioso-limosi con uno spessore stimato di circa 0,6-1 m. Lungo la roggia Rabica sono presenti n. 5 sezioni di misura, denominate RAB. Per ogni punto è stato effettuato un rilievo topografico, che ha permesso di ricostruire il profilo delle profondità del fondo del canale lungo sezioni trasversali, come riportato in Figura 4. In ogni punto inoltre è stata misurata la portata transitante circa ogni mese.

FIGURA 3 – RETE DEI CANALI IRRIGUI ALL'INTERNO DELL'AREA DI STUDIO (ROSA) – PROVINCIA DI MILANO.

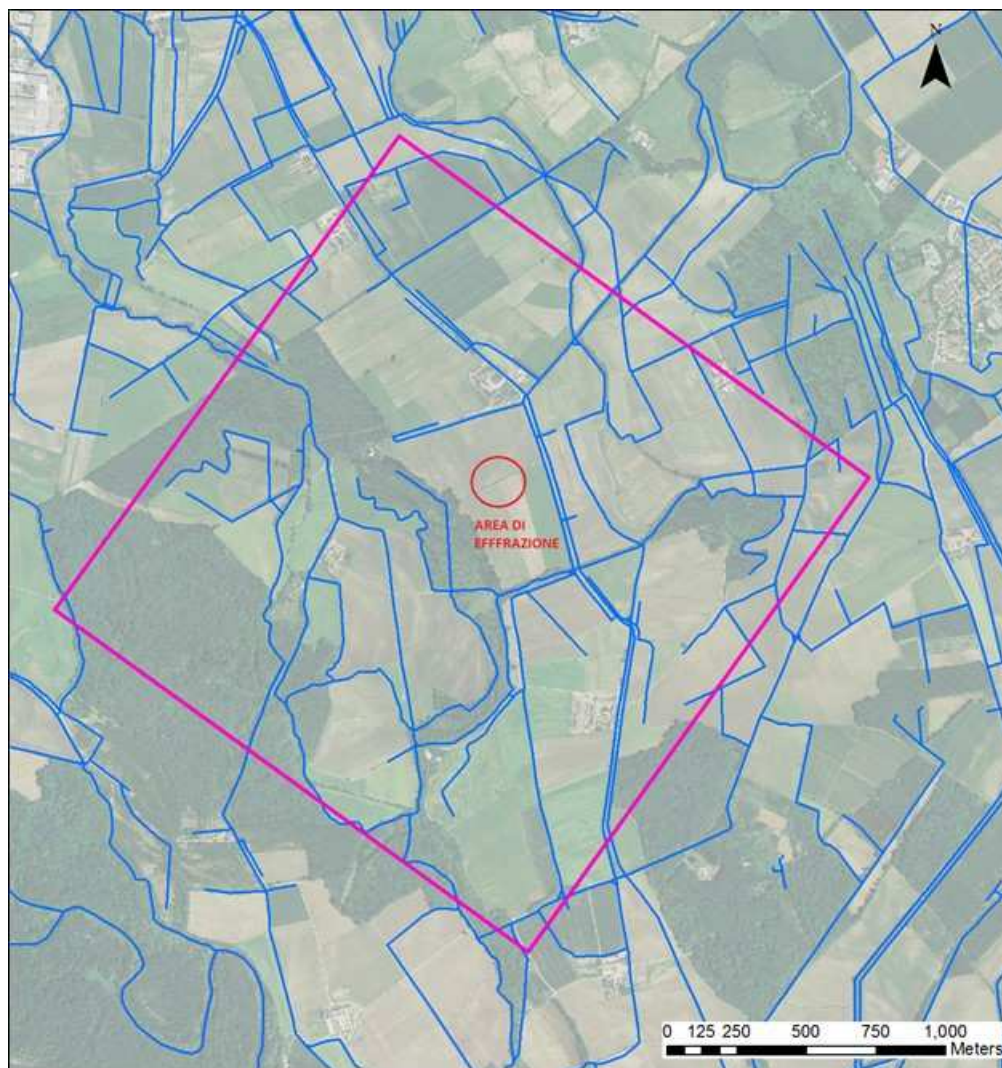
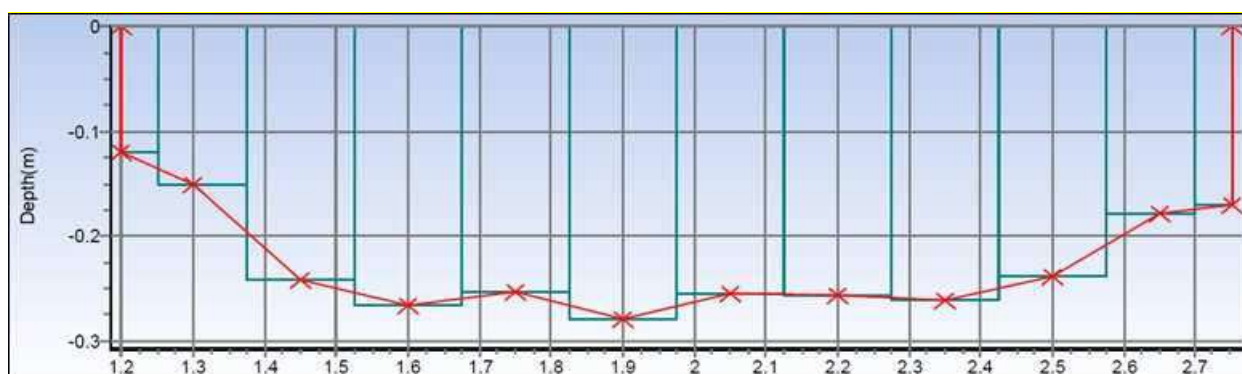


FIGURA 4 – PROFILO DELLE PROFONDITÀ DEL FONDO DELLA ROGGIA RABICA IN CORRISPONDENZA DEL PUNTO DI MISURA RAB1.



2.4 STRUTTURA IDROGEOLOGICA

L'area di studio presenta la struttura idrogeologica tipica della media pianura Milanese, caratterizzata dalla presenza di diversi corpi acquiferi, costituiti da materiale prevalentemente ghiaioso-sabbioso, separati da livelli di materiale fine. Si possono distinguere n. 3 gruppi di acquiferi principali (denominati dal piano campagna andando in profondità rispettivamente A, B e C), così come individuati nelle sezioni del PGT del comune di Morimondo, di cui si riporta uno stralcio in Figura 5.

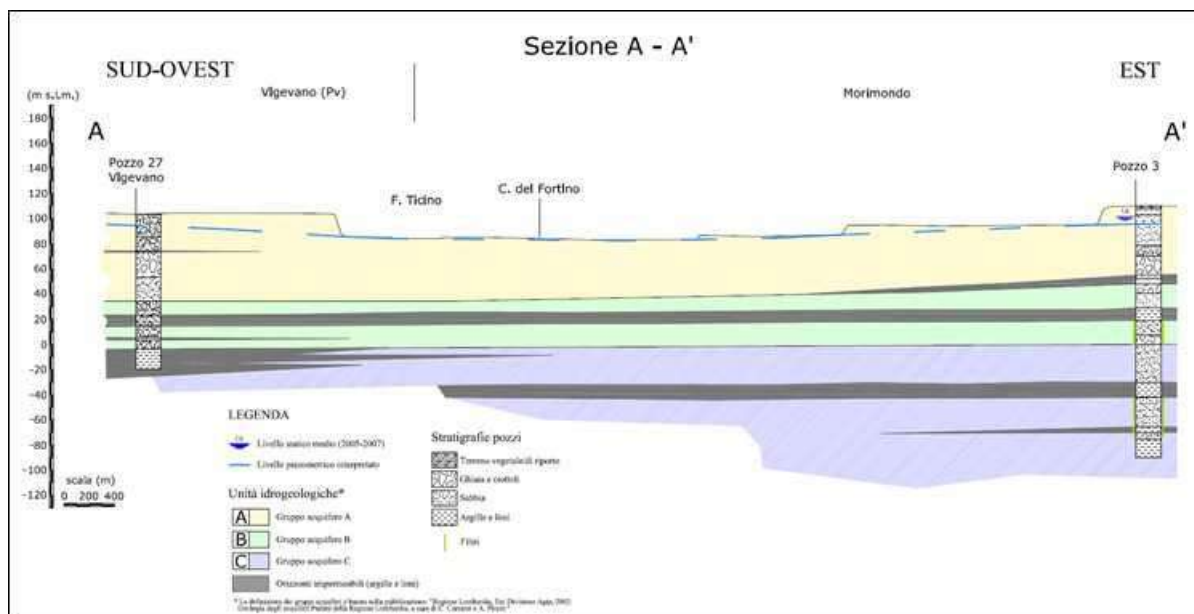
Il gruppo acquifero A è costituito prevalentemente da materiale ghiaioso con intercalazioni di lenti sabbiose. All'interno dell'acquifero sono presenti localmente delle lenti a bassa permeabilità, costituite da materiale fine che non risultano continue all'interno dell'area di studio. L'acquifero A rappresenta la porzione sommitale dell'acquifero tradizionale ed è sede di una falda libera.

Il gruppo acquifero B è costituito principalmente da sedimenti ghiaioso-sabbiosi con intercalazioni di lenti di materiale sabbioso-limoso e argilla. All'interno di esso sono presenti lenti di materiale cementato, quali conglomerati e arenarie. L'acquifero B rappresenta la porzione più profonda dell'acquifero tradizionale ed è sede di una falda semiconfinata/confinata in funzione dello spessore e della presenza del livello di separazione tra gli acquiferi A e B. All'interno dell'area di studio i carotaggi sono stati spinti fino ad una profondità massima da piano campagna pari a 22 m (PZ15) e non intercettano la base dell'acquifero A e il setto di separazione tra A e B.

Il gruppo acquifero C è costituito prevalentemente da argilla e limo con lenti di materiale sabbioso.

Delle suddette falde, ai fini del presente lavoro, interessa la falda all'interno del Gruppo Acquifero A, che è stata parzialmente investigata con i sondaggi realizzati fino a circa 13 m da p.c.

FIGURA 5 – STRALCIO DELLA SEZIONE A-A' (TAVOLA 3 – SEZIONI IDROGEOLOGICHE DEL PGT DEL COMUNE DI MORIMONDO), PASSANTE A CIRCA 200 M DALL'AREA DI EFFRAZIONE CON DIREZIONE SUD OVEST – EST.



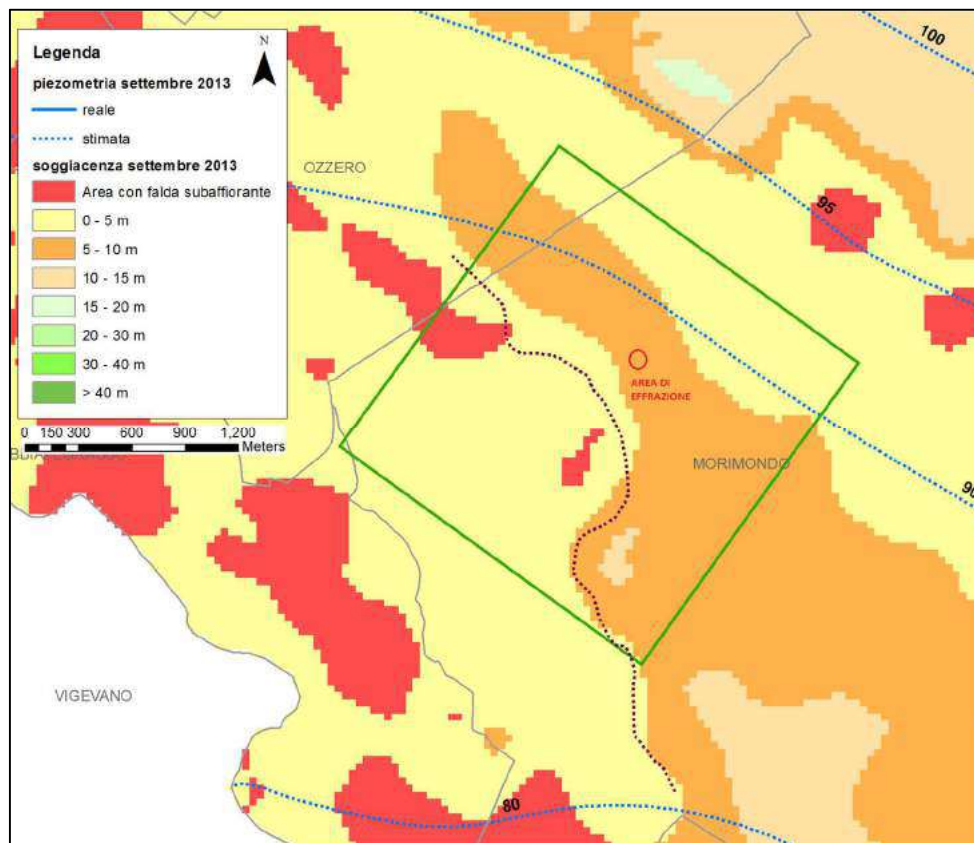
2.4.1 Piezometria

La morfologia della superficie piezometrica è documentata su scala provinciale, dalle carte elaborate dal Servizio Informativo Falda della Città Metropolitana di Milano. L'ultima campagna di monitoraggio disponibile risale al settembre 2013. L'andamento della piezometria della prima falda evidenzia una direzione di deflusso prevalentemente NE-SO, come visibile in Figura 6, con quote variabili fra i 90 m s.l.m. e gli 85 m s.l.m. circa. La quota della prima falda rilevata a marzo 2014 (dato disponibile più recente), in un piezometro distante circa 2 km dall'area dell'effrazione, ed ubicato nei pressi della Cascina Coronate (codice SIF 0151500013³) risulta essere pari a 91,8 m s.l.m., con una soggiacenza pari a 11,64 m da piano campagna.

La soggiacenza in corrispondenza dell'area d'interesse varia notevolmente, come visibile in Figura 6: in corrispondenza dei depositi più antichi (ad est) i valori risultano più alti, fino a 10 m da p.c., mentre all'interno dei depositi più recenti (ad ovest), in alcune aree la falda risulta sub affiorante.

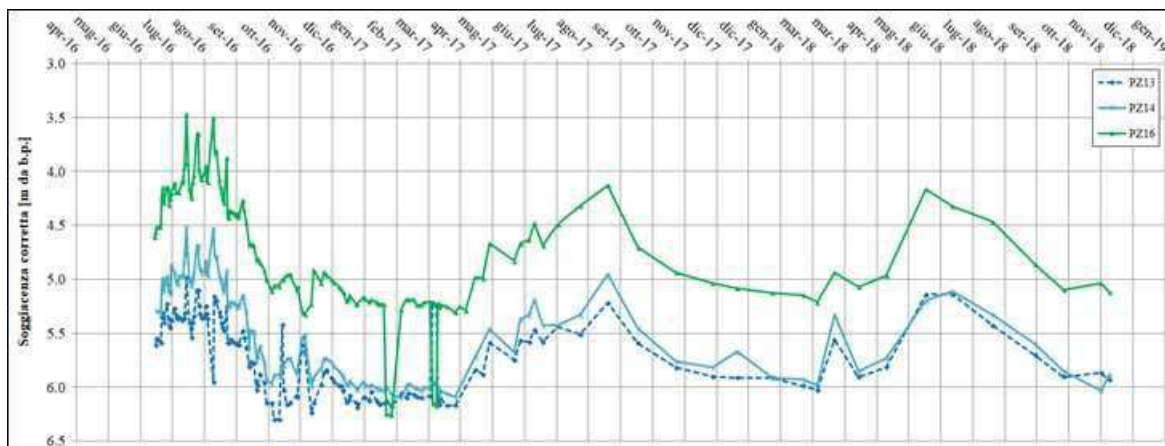
³ Banca dati acque sotterranee SIA Provincia di Milano

FIGURA 6 – ANDAMENTO DELLA PIEZOMETRIA E SOGGIACENZA DELLA FALDA A SCALA PROVINCIALE (SIA, SETTEMBRE 2013). IN VERDE È RAPPRESENTATA L'AREA DI STUDIO, MENTRE IN MARRONE (LINEA TRATTEGGIATA) L'ORLO DEL TERRAZZO RICOSTRUITO TRAMITE LA CARTOGRAFIA REPERITA NEI DOCUMENTI DEL PGT.



A livello locale sono a disposizione i dati di soggiacenza acquisiti dai punti di monitoraggio presenti nell'area con cadenza mensile. Con la finalità di determinare la morfologia della superficie di falda sono state individuate due campagne di monitoraggio che fossero significative di diverse condizioni di alimentazione della falda. Analizzando il trend della soggiacenza della falda (Figura 7 di seguito riportata) sono state individuate due campagne di monitoraggio sulle quali elaborare la carta piezometrica in corrispondenza di due diversi periodi di alimentazione della falda. Durante i mesi estivi (aprile – settembre) infatti i livelli piezometrici sono influenzati dall'apertura dei canali irrigui, che risultano invece privi d'acqua fra settembre e dicembre (c.d. “asciutta autunnale”). Sono state quindi individuate le campagne piezometriche di luglio 2016 e dicembre 2018. Inoltre, la campagna di dicembre 2018 è stata eseguita in statico mentre a luglio 2016 i sistemi di MISE erano attivi.

FIGURA 7 – ANDAMENTO DELLA SOGGIACENZA DELLA FALDA IN 3 PIEZOMETRI DI OSSERVAZIONE.



Nell'area di indagine l'andamento della piezometria, elaborata attraverso la realizzazione dei dati di campo (rilievi dei fluidi da n. 24 punti di osservazione), ricalca quello provinciale, con una direzione principale di deflusso NE-SO, come visibile nelle ricostruzioni effettuate con i dati del 14 luglio 2016 (Figura 8) e del 4 dicembre 2018 (Figura 9).

I livelli della campagna di luglio 2016 sono contraddistinti da quote piezometriche variabili fra 90 m s.l.m. e 85 m s.l.m. (Figura 8). Il gradiente idraulico della falda è mediamente pari a 0,6 % con un incremento dei valori fino al 3,4 % immediatamente a valle dell'orlo del terrazzo individuato, fra il PZ23 ed il PZ21.

Nei piezometri PZ17, PZ18, PZ19, PZ20, PZ21 e PZ22, si rileva una soggiacenza minore di 1 m da piano campagna. In tutti gli altri piezometri, invece, la soggiacenza risulta compresa tra 2 e 6 m di profondità. Durante il rilievo piezometrico utilizzato per l'implementazione del modello di flusso risultavano attive n. 5 risorgive, in corrispondenza delle quali sono state misurate le portate di riferimento, indicate in Tabella 2.

FIGURA 8 – RICOSTRUZIONE DELLA PIEZOMETRIA A SCALA LOCALE CON RIPORTATA L'INDICAZIONE DEI POZZI COLLEGATI AI SISTEMI IN POMPAGGIO (P&S) E LE RISORGIVE DI INTERESSE – 14 LUGLIO 2016.

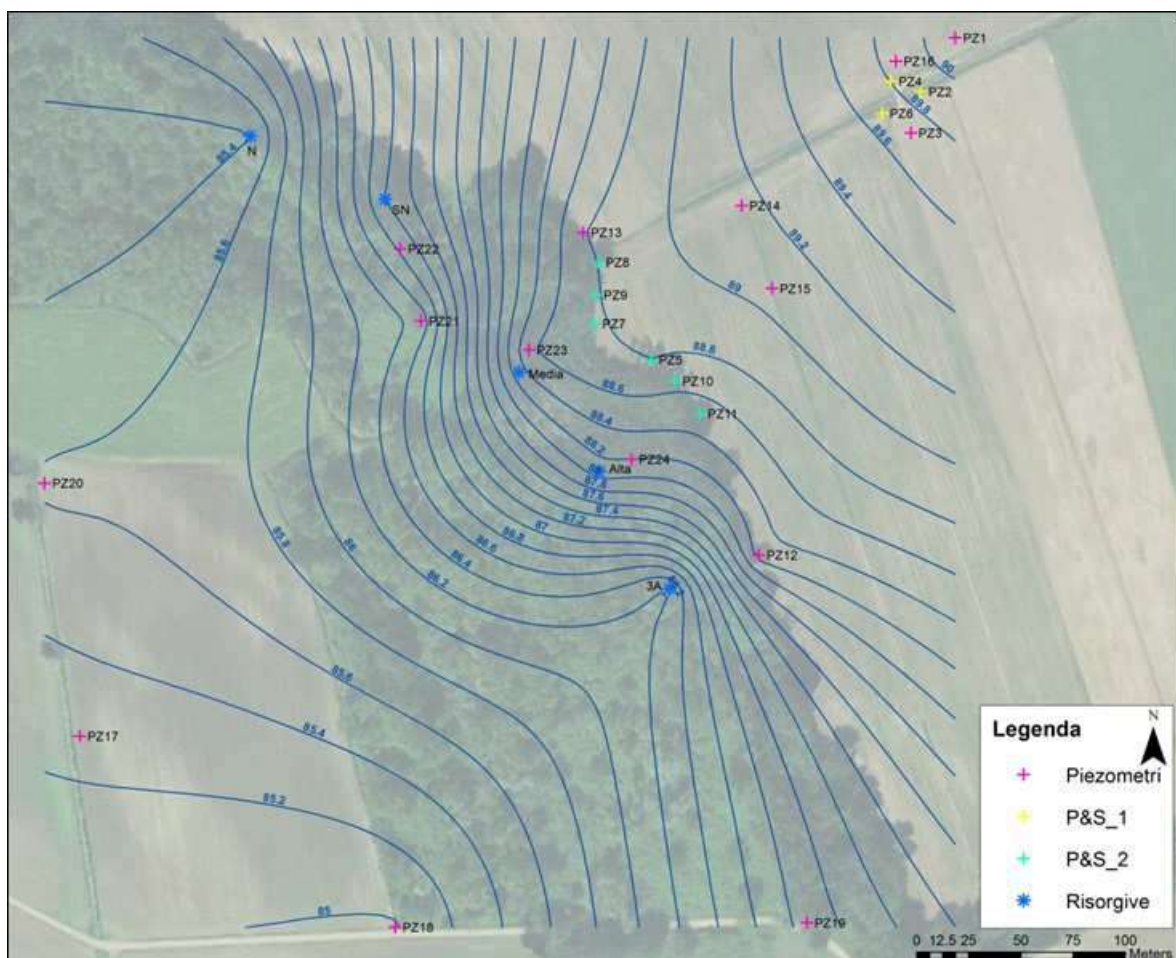


TABELLA 2 – VALORI DI PORTATA MISURATI IN CORRISPONDENZA DELLE RISORGIVE - 15 LUGLIO 2016.

Nome Risorgiva	Portata (m ³ /s)
Sorgente 3A	0,0412
Sorgente SN	0,003
Sorgente N	0,0239
Sorgente ALTA	0,017
Sorgente MEDIA	0,0071

Per quanto concerne la campagna del dicembre 2018, le misure dei livelli piezometrici, eseguite il giorno 4 dicembre 2018, sono state effettuate in statico, con i sistemi PT_1 e PT_2 spenti.

Le quote piezometriche sono variabili tra circa 89 m s.l.m. e 85 m s.l.m., con una direzione principale di deflusso circa NE-SO (Figura 9). Il gradiente idraulico della falda è mediamente pari a 0,7 % con un incremento dei valori fino al 3% immediatamente a valle dell'orlo del terrazzo fra il PZ23 ed il PZ21.

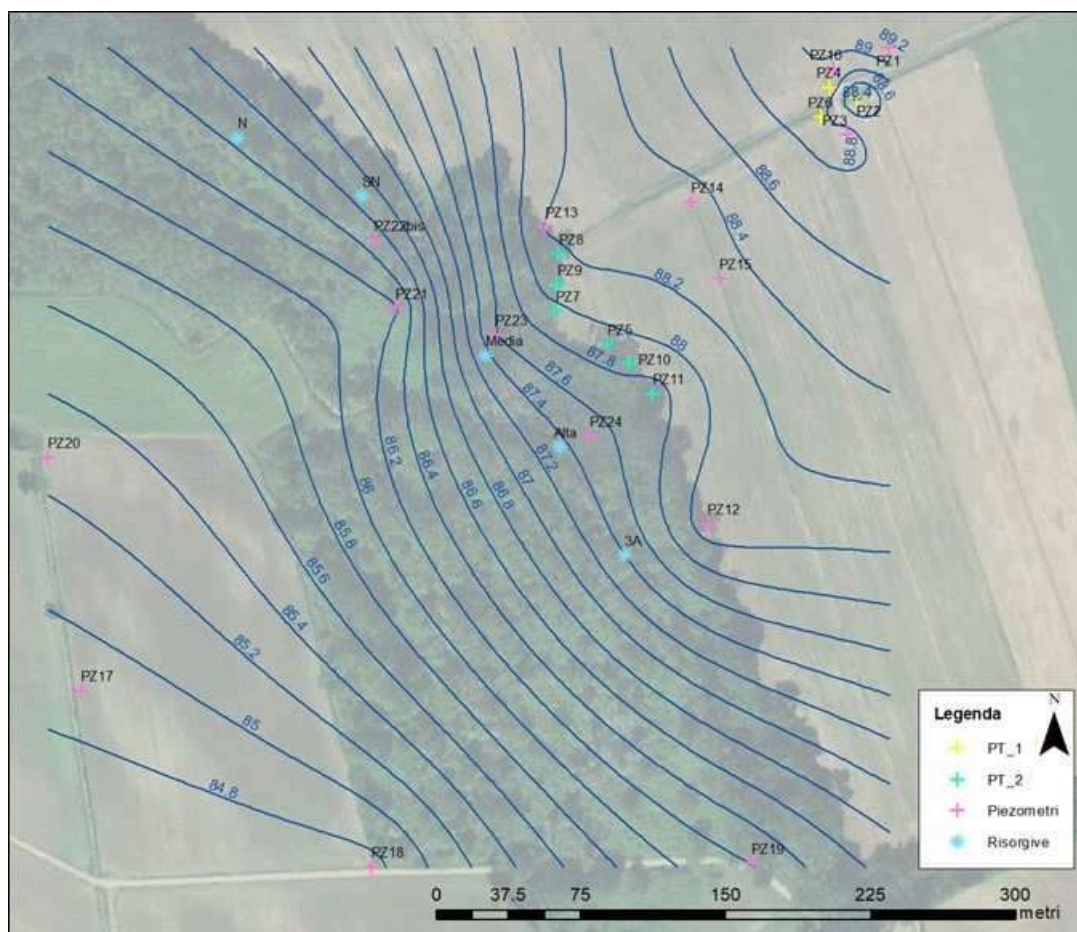
Nei piezometri PZ17, PZ19, PZ20, PZ21 e PZ22bis, la falda ha una soggiacenza minore di 1 m da piano campagna. In tutti gli altri piezometri invece la soggiacenza è compresa tra 1

e 6 m di profondità.

Si segnala la presenza di un'incongruenza nella rappresentazione piezometrica in corrispondenza del PZ2. In fase di calibrazione del modello matematico, punto di osservazione sarà considerato un *outlier*.

Alla data del rilievo piezometrico di dicembre 2018, le n. 5 risorgive presenti risultavano secche e quindi con portata nulla.

FIGURA 9 - RICOSTRUZIONE DELLA PIEZOMETRIA A Scala LOCALE CON RIPORTATA L'INDICAZIONE DEI SISTEMI DI MESSA IN SICUREZZA (PT) – PIEZOMETRIA IN STATICO 4 DICEMBRE 2018.



3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO DI FLUSSO

Definito il modello concettuale, si è proceduto all'implementazione del modello numerico di flusso sviluppato utilizzando il codice di calcolo MODFLOW-USG (Panday and others, 2013). MODFLOW USG è una versione di MODFLOW che permette, fra l'altro l'implementazione della discretizzazione spaziale attraverso "unstructured grid" (griglie non strutturate). Nel caso in oggetto l'impiego di MF USG ha permesso di discretizzare con un dettaglio maggiore la zona oggetto d'indagine rispetto al resto del dominio di modellazione. In questo modo è stato possibile rappresentare in differenti celle i numerosi elementi idrografici presenti nell'area migliorando la capacità del modello di simulare correttamente le interazioni fra corpi idrici superficiali e falda evitando nello stesso tempo di estendere la discretizzazione di dettaglio a tutta l'area, che comporterebbe un incremento dei tempi computazionali o di ricorrere all'impiego di tecniche alternative, quale ad esempio il TMR, che comporterebbe una maggiore approssimazione del problema modellistico.

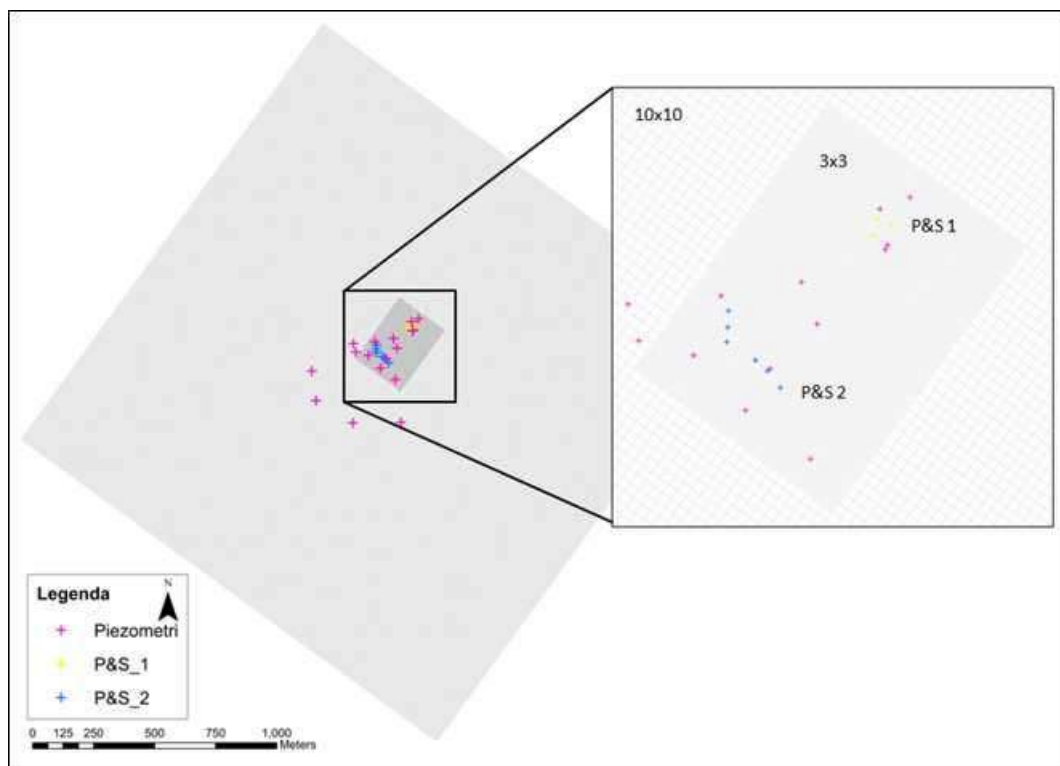
Il modello è stato calibrato tramite calibrazione inversa, utilizzando il codice di calcolo PEST (Watermark Numerical Computing, 2016). La calibrazione è stata condotta in condizioni stazionarie, utilizzando come osservazioni i livelli piezometrici misurati nelle campagne del 14 luglio 2016 e del 4 dicembre 2018.

3.1 SCELTA E DISCRETIZZAZIONE DEL DOMINIO

Il dominio del modello, riportato nella seguente Figura 10, copre una superficie complessiva di circa 4,4 km² (2,1 x 2,1 km).

La griglia è stata orientata in direzione nord est-sud ovest in accordo con la direzione media di deflusso della falda, confermata dalle elaborazioni piezometriche del 14 luglio 2016 e del 4 dicembre 2018 (cfr. capitolo 2.3.1). La discretizzazione della porzione del dominio interessata dall'effrazione e successive indagini è stata simulata con una griglia a maglia quadrata 3 x 3 m, mentre nella restante parte del dominio le celle hanno una dimensione di 10 x 10 m (Figura 10).

FIGURA 10 – DISCRETIZZAZIONE ORIZZONTALE DEL MODELLO. AL CENTRO DELLA ZONA RAFFITTITA SONO PRESENTI I SISTEMI DI MESSA IN SICUREZZA ATTIVI NEL 2016 (PUMP AND STOCK).



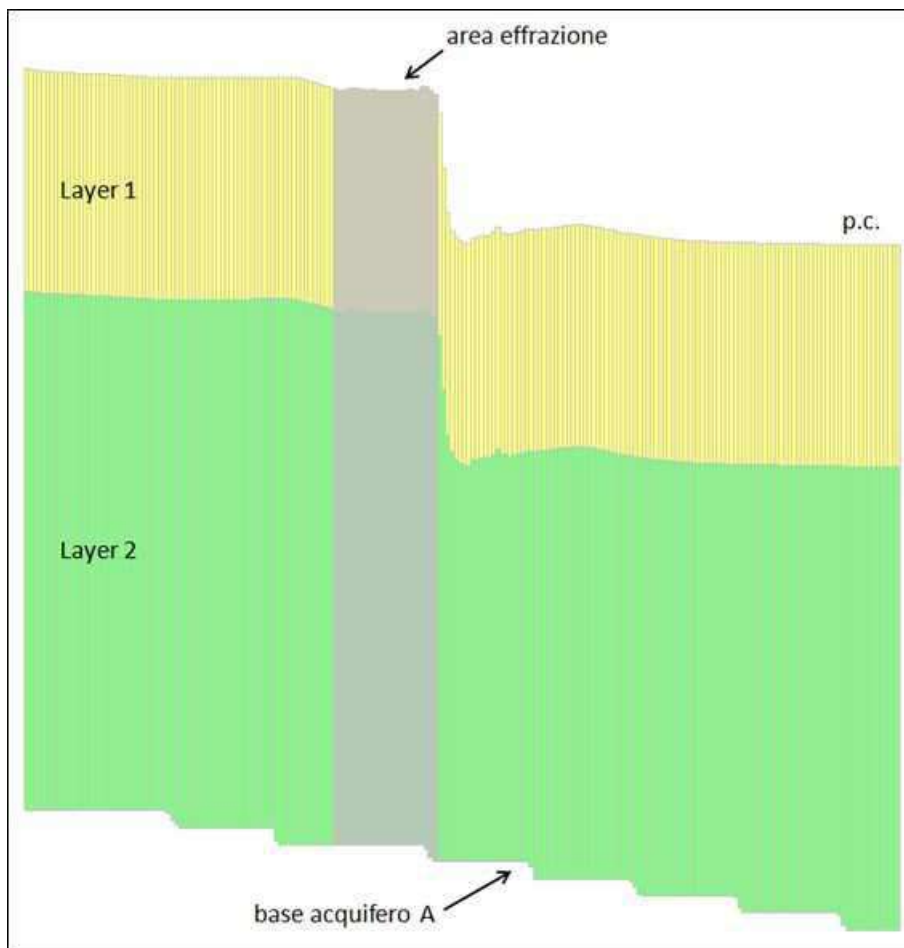
Utilizzando le informazioni stratigrafiche disponibili (cfr. capitolo 2.1), il dominio verticale del modello è stato esteso fino alla base dell’acquifero A, per uno spessore totale di circa 40 – 50 m da piano campagna. Il modello è stato suddiviso in n. 2 layer (Figura 11), così come descritto di seguito:

- layer 1: rappresenta la porzione superficiale dell’acquifero A intercettata dai piezometri presenti in sito. Si estende fino ad una profondità di circa 13 m da piano campagna, in accordo con la profondità media dei piezometri;
- layer 2: rappresenta la porzione profonda dell’acquifero A fino al raggiungimento del letto posto a circa 40 – 50 m di profondità dal p.c., come desumibile da dati bibliografici⁴.

Il top del primo layer, che rappresenta la superficie topografica, è stato ricostruito interpolando i punti quotati estratti dal Geoportale della Regione Lombardia e dal rilievo topografico realizzato sull’area d’interesse.

⁴ “Le risorse idriche sotterranee nella Provincia di Milano – Vol. I: Lineamenti idrogeologici. Provincia di Milano, Assessorato all’ambiente e Politecnico di Milano DSTM Geologia Applicata – Milano, dicembre 1995”

FIGURA 11 – DISCRETIZZAZIONE VERTICALE DEL MODELLO IN UNA SEZIONE PASSANTE PER L'AREA DI EFFRAZIONE, DISPOSTA IN DIREZIONE NE-SO (COLONNA 100 DEL MODELLO). IN CORRISPONDENZA DELL'AREA DI EFFRAZIONE È VISIBILE IL RAFFITTIMENTO DELLA GRIGLIA.



3.2 CONDIZIONI AL CONTORNO E CONDIZIONI INTERNE

Le condizioni al contorno e interne assegnate nel modello numerico, rappresentate in Figura 12 e Figura 13 interne al testo, sono riportate di seguito:

- condizione a carico idraulico costante (CH) in corrispondenza dei limiti del dominio del modello sulla base delle piezometrie osservate;
- condizione di flusso imposto (WELL) per simulare gli emungimenti dai sistemi di messa in sicurezza e da pozzi privati all'interno del dominio del modello;
- condizione di carico dipendente dal flusso (DRAIN) per simulare la presenza di risorgive nelle vicinanze dell'area di effrazione;
- condizione di carico dipendente dal flusso (RIVER) per simulare la presenza della roggia Rabica;
- ricarica all'interno del dominio del modello.

I valori assegnati alle condizioni sono stati differenziati per i due diversi modelli, come descritto di seguito.

FIGURA 12 – UBICAZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO IN CORRISPONDENZA DEL PRIMO LAYER (CH= CARICO COSTANTE; WELL= POZZI IN EMUNGIMENTO; DRAIN= RISORGIVE; RIVER= ROGGIA RABICA).

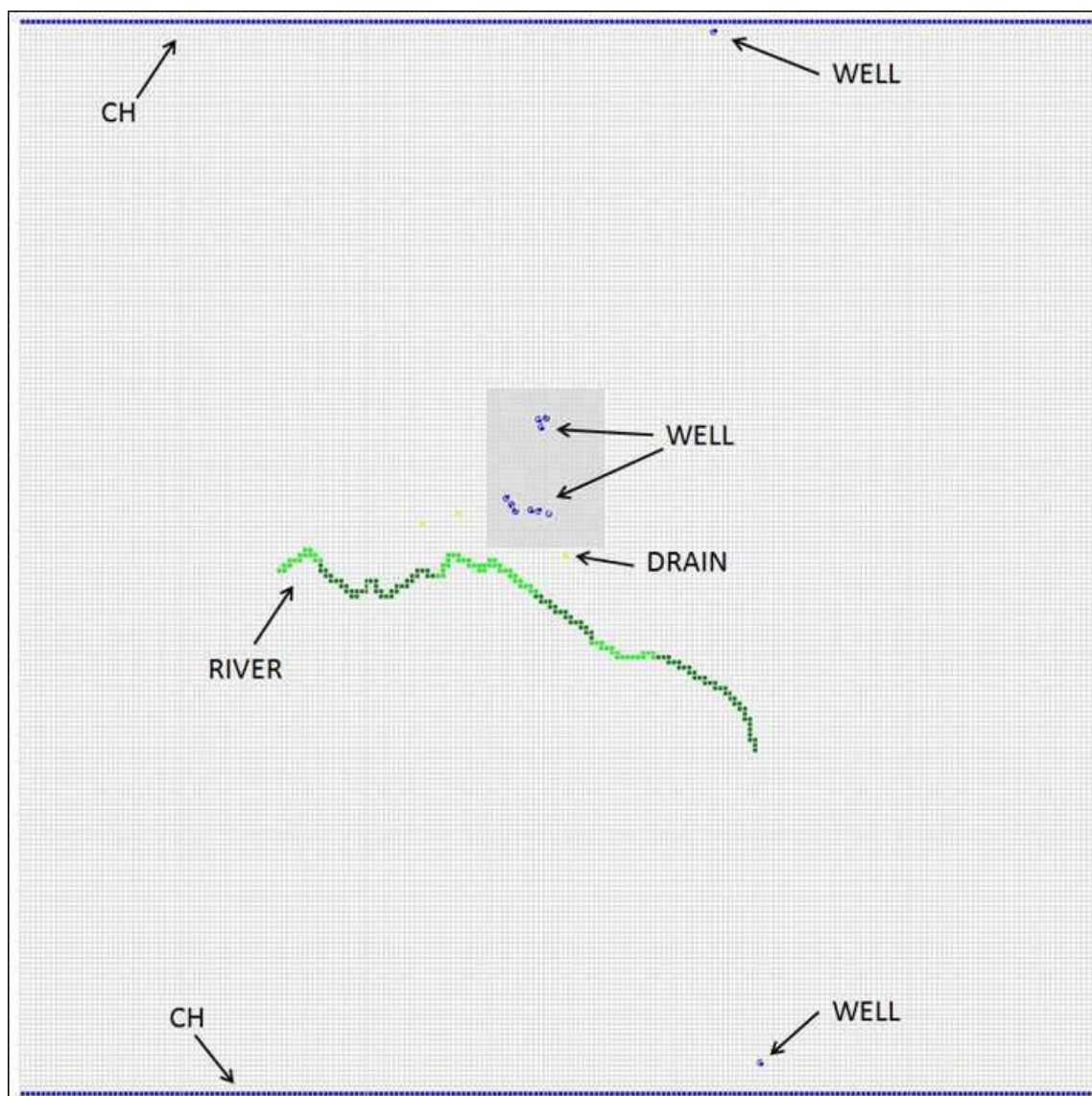
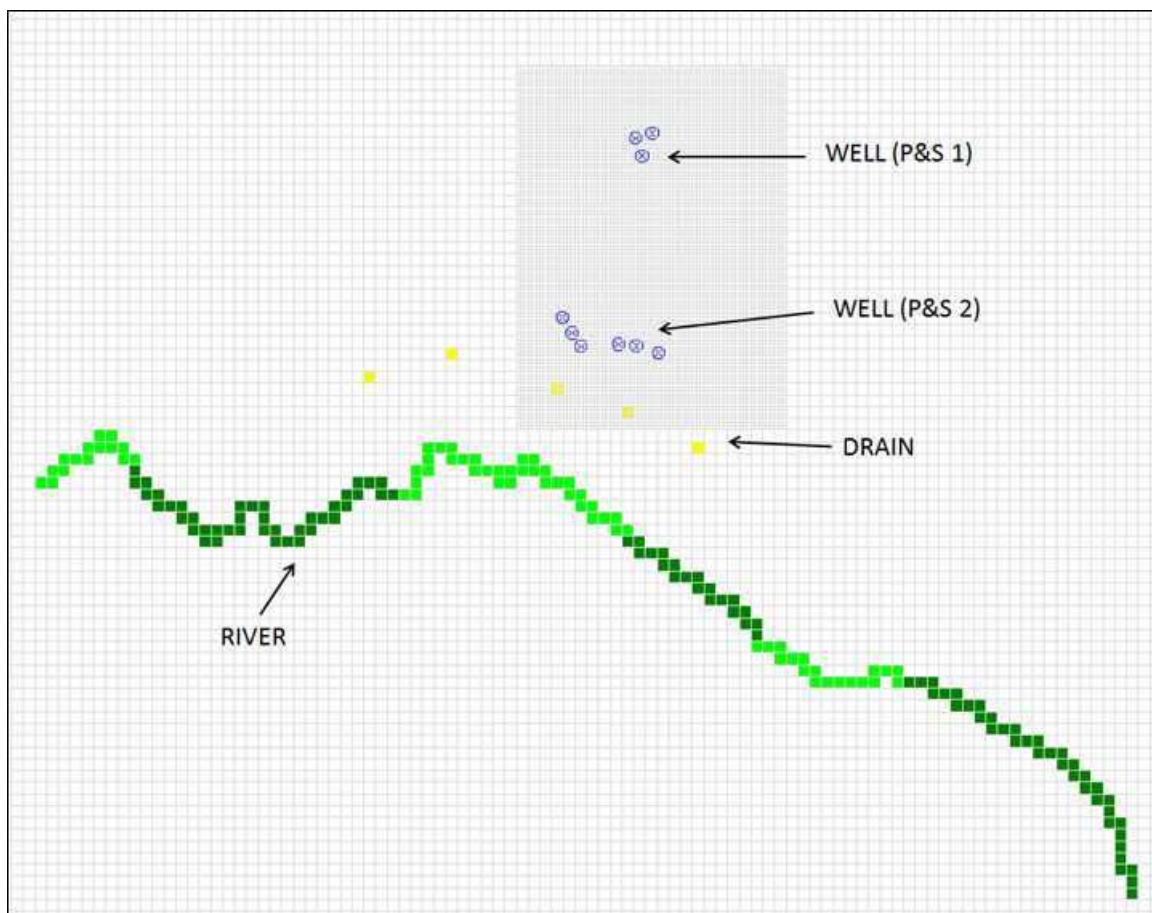


FIGURA 13 - UBICAZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO IN CORRISPONDENZA DEL PRIMO LAYER (CH= CARICO COSTANTE; WELL= POZZI IN EMUNGIMENTO ATTIVI NEL 2016 (PUMP AND STOCK); DRAIN= RISORGIVE; RIVER= ROGGIA RABICA) – INGRANDIMENTO IN CORRISPONDENZA DELL'AREA D'INTERESSE.



CARICO IDRAULICO COSTANTE (CH)

Ai limiti del dominio sono state assegnate condizioni al contorno di carico costante (condizioni di Dirichlet o constant head), basate sui valori piezometrici osservati a luglio 2016 (al limite nord-est e sud-ovest per entrambi i layer, rispettivamente pari a 97 m s.l.m. e 85,9 m s.l.m.) e a dicembre 2018 (al limite nord-est e sud-ovest per entrambi i layer, rispettivamente pari a 96 m s.l.m. e 82,8 m s.l.m.).

CONDIZIONE DI FLUSSO IMPOSTO (WELL) – EMUNGIMENTO DA POZZI/PIEZOMETRI

Per quanto riguarda gli emungimenti dai due sistemi di pump and stock (P&S 1 e P&S 2), in base al volume di acqua emunto/misurato durante la giornata del 14 luglio 2016, è stata ricavata una portata media per ogni piezometro pari a 2,25 l/min, corrispondente a $3,7 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

Nel modello di dicembre 2018 è stata assegnata una portata nulla ai pozzi, in quanto il sistema risultava spento.

Tali valori di portate sono stati assegnati ai pozzi in emungimento, rappresentato nel primo

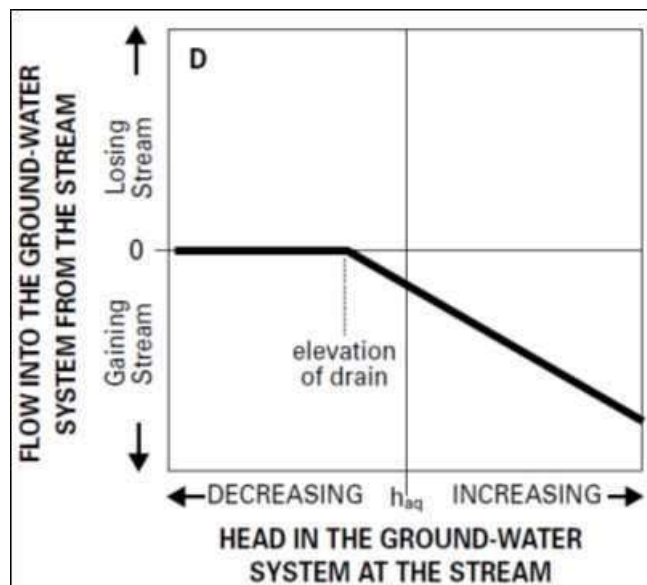
layer.

Sono stati inseriti, inoltre, n.2 pozzi privati ubicati ai confini nord-est e sud-ovest del dominio di modellazione, i cui valori di portata sono stati dedotti da precedenti studi effettuati nell'area.

CONDIZIONE DI CARICO DIPENDENTE DAL FLUSSO (DRAIN) – RISORGIVE

All'interno del dominio, nell'area ubicata a valle rispetto al secondo sistema di messa in sicurezza, sono presenti alcune risorgive. Esse rappresentano emergenze della falda e sono state simulate attraverso il package DRAIN di MODFLOW. La condizione DRAIN risulta attiva quando il carico piezometrico nell'acquifero risulta maggiore rispetto alla quota della base del dreno (Figura 14). In questo caso, come da prassi nella pratica modellistica, la quota della base del dreno è stata identificata nella quota del piano campagna di ciascuna delle risorgive che mostravano emergenze della falda (rilievo topografico del mese di luglio 2016). Oltre al valore della quota del dreno è necessario specificare il valore della conduttanza dei depositi (ottenuta dal rapporto fra conducibilità idraulica dei depositi caratteristici del dreno ed il suo spessore), che nel caso specifico è stato oggetto di calibrazione avendo a disposizione i dati di portata di ciascuna risorgiva a luglio 2016 e dicembre 2018.

FIGURA 14 - RELAZIONE TRA IL CARICO ED IL FLUSSO PER LA CONDIZIONE DI CARICO DIPENDENTE DAL FLUSSO.



CONDIZIONE DI CARICO DIPENDENTE DAL FLUSSO (RIVER) – ROGGIA RABICA

Con l'obiettivo di simulare l'effetto della roggia Rabica in relazione alla falda è stata implementata una condizione di flusso dipendente da carico, attraverso l'utilizzo del pacchetto RIVER di MODFLOW. Il flusso (entrante o uscente) da questa tipologia di celle è proporzionale alla differenza di carico tra la quota della superficie piezometrica simulata e la quota idrometrica (in m s.l.m.) del corso d'acqua (misurata in campo), e al valore di conduttanza specificato (dipendente da conducibilità idraulica e spessore dei sedimenti e larghezza dell'alveo considerato). Nel caso specifico sono disponibili n. 5 sezioni di misura nel tratto di roggia Rabica, denominate RAB, per le quali sono noti i valori delle quote del fondo, le portate e i livelli di acqua fino al mese di settembre 2018.

L'ubicazione dei punti di misura della roggia è riportata in Tavola 1.

Dai sopralluoghi eseguiti il fondo della roggia risulta costituito da sedimenti sabbioso-limosi con uno spessore di circa 0,6 – 1 m.

I valori di portata misurati in ogni sezione disponibile della roggia Rabica, sono stati depurati dal contributo dovuto all'alimentazione proveniente delle sorgenti, allo scopo di avere un valore più rappresentativo dello scambio fra "fiume-falda".

La rappresentazione nel dominio di calcolo della roggia Rabica è stata prolungata verso sud-ovest anche in assenza di dati sito-specifici (ultimo punto monitorato rispetto alla direzione di deflusso sulla roggia risulta essere RAB5) per evitare una marcata distorsione della piezometria calibrata, dovuta alla brusca interruzione della condizione *river* in corrispondenza del punto RAB5.

La condizione RIVER impone di esplicitare il battente idrico in corrispondenza delle celle del dominio in cui tale condizione è impostata.

Le misure del battente relative alla campagna di misura del luglio 2016 sono riportate in Tabella 3; invece in tabella 4 si riportano le misure rilevate il 21 dicembre 2016⁵.

Sono stati utilizzati per la redazione del modello i target di flusso ricavati dai dati puntuali delle portate transistanti dalla roggia Rabica e sono stati quindi ricavati target di flusso, intesi come differenza di portata tra il tratto considerato e quello precedente, identificando così n.4 target denominati RAB 2-1, RAB 3-2, RAB 4-3, RAB 5-4.

⁵ Come descritto precedentemente, i rilievi lungo la roggia Rabica sono stati effettuati fino a settembre 2018 e quindi non risultano disponibili i dati del rilievo di dicembre 2018. Dall'analisi dei dati, i valori di battente idrico misurati a dicembre 2016 e dicembre 2017 appaiono coerenti. Durante il rilievo di dicembre 2016, sono stati misurati un numero maggiore di punti e per tale ragione sono stati inseriti tali valori nel modello.

TABELLA 3 – VALORI DELLA QUOTA DEL FONDO, DEL LIVELLO DI ACQUA, DELLA PORTATA E DELLA LARGHEZZA PER OGNI PUNTO DI MISURA DELLA ROGGIA RABICA (DENOMINATO RAB) – 14 LUGLIO 2016.

RAB	Quota Fondo *(m s.l.m.)	Battente Idrico (m)	Portata (m ³ /s)	Larghezza (m)
1	85,108	0,34	0,008	1,55
2	84,566	0,59	0,142	2,7
3	84,214	0,49	0,266	3,85
4	84,065	0,48	0,367	3,8
5	84,041	0,43	0,402	4,44

* calcolato come media dei valori di fondo riportati nel file del rilievo topografico

TABELLA 4 – VALORI DEL LIVELLO IDROMETRICO PER OGNI PUNTO DI MISURA DELLA ROGGIA RABICA (DENOMINATO RAB) – 21 DICEMBRE 2016.

RAB	Livello Idrometrico (m s.l.m.)
1	85,42
2	84,81
3	84,50
4	84,45
5	84,35

RICARICA

La stima della ricarica è stata eseguita utilizzando i dati meteorologici registrati presso la stazione di Motta Visconti (rete ARPA Lombardia). Per il modello è stato considerato il periodo compreso tra i mesi di settembre e dicembre 2018.

La condizione di ricarica è stata assegnata al primo layer e basandosi sulla destinazione d'uso del suolo, così come definito dalla cartografia DUSAF della Regione Lombardia (2012), sono stati assegnati differenti valori, come riportato in Figura 15 e Tabella 5.

Sono state identificate n. 3 aree per le quali sono state considerate diversi contributi di infiltrazione:

- territori boscati/seminaturali (aree verdi): è stata considerata solamente l'infiltrazione efficace;
- agricole: oltre all'infiltrazione efficace, è stato considerato un contributo dovuto all'irrigazione, pari a $1,85 \times 10^{-8}$ m/s, uniforme su tutto il modello a causa della mancanza di dati recenti relativi ai consorzi irrigui;
- antropizzate: sono stati considerati i valori dedotti da fonti bibliografiche, che prendono in considerazione una percentuale delle perdite acquedottistiche di ogni singolo comune calcolate sulla base dell'area occupata dalle zone urbane all'interno del comune stesso. Le aree antropizzate all'interno del dominio di modellazione occupano una parte ridotta.

Il calcolo dell'infiltrazione efficace comporta la valutazione delle precipitazioni e dell'evapotraspirazione. La stima dell'evapotraspirazione deriva dall'elaborazione del metodo Penman Monteith (FAO 56), in funzione di valori di radiazione netta alla superficie, temperatura media giornaliera, precipitazione, velocità del vento e umidità relativa registrati in corrispondenza della stazione di Motta Visconti.

Al fine di depurare il valore di pioggia efficace dalla componente dovuta al fenomeno di ruscellamento, quest'ultimo è stato considerato pari al 30% della precipitazione efficace.

Nel modello sono state attribuite 2 zone: alle aree agricole è stato assegnato il medesimo valore delle aree verdi in quanto non è stato considerato il contributo dovuto all'irrigazione (periodo di asciutta).

FIGURA 15 – SUDDIVISIONE DELLE AREE PER TIPOLOGIA DI UTILIZZO: ANTROPIZZATE (IN GRIGIO), AGRICOLE (IN GIALLO) E TERRITORI BOSCATI/SEMINATURALI (IN VERDE). IN NERO IL LIMITE DEL MODELLO, IN ROSA I CONFINI COMUNALI E NEL CERCHIO BLU L'AREA DI MAGGIORE INTERESSE.

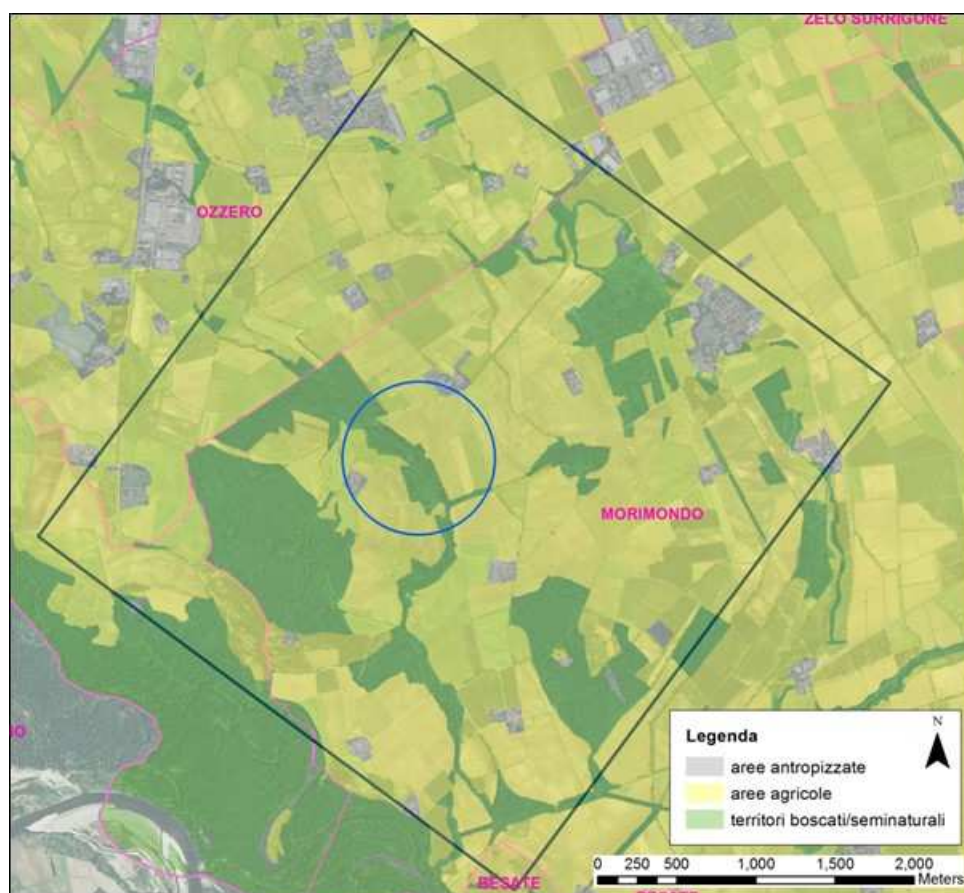


TABELLA 5 – VALORI DI RICARICA SUDDIVISI PER TIPOLOGIA DI AREA.

Area	Ricarica Luglio 2016 (m/s)	Ricarica Dicembre 2018 (m/s)
Territori boscati/seminaturali	1,45e-8	2,04e-8
Aree agricole	3,30e-8	2,04e-8
Aree antropizzate	9,67e-9	9,67e-9

3.3 PROPRIETÀ IDROGEOLOGICHE

La determinazione dei parametri idrogeologici degli acquiferi rappresenta uno dei principali elementi per il dimensionamento del sistema di barriera idraulico dell'area.

In sito, in prossimità dell'area Effrazione e a Monte delle Risorgive, nel periodo Marzo-Agosto 2016 sono state realizzate prove di portata a gradini ed a portata costante, al fine di individuare i parametri idrogeologici dell'acquifero oggetto di studio.

Le sopra citate prove idrauliche sono descritte e interpretate nel documento “*Inquadramento geologico-idrogeologico e interpretazione prove di portata*” allegato alla presente (Allegato A), a cui si rimanda per i dettagli. Dall'interpretazione delle prove ne deriva, per l'area testata, una trasmissività media dell'acquifero pari a $1,68 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ e una conducibilità idraulica media di $1,8 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$.

In data 4 dicembre 2018, è stata eseguita una prova a gradini di portata variabili, in corrispondenza del piezometro PZ4 (Figura 16). Le portate dei gradini sono variate da 15 l/min (primo gradino) fino a 83,5 l/min (quarto gradino). Al termine della prova a gradini, è stato monitorato, tramite sonda in continuo, il recupero del livello piezometrico fino al livello statico iniziale. I valori misurati durante la risalita sono stati utilizzati al fine di determinare il valore di trasmissività e di conducibilità idraulica. La prova in risalita (Figura 17), interpretata tramite il metodo di Theis (con la correzione di Jacob per acquiferi liberi), ha determinato un valore di trasmissività pari a $0,013 \text{ m}^2/\text{s}$, corrispondente ad un valore di conducibilità idraulica compreso tra $1,44 \cdot 10^{-3}$ e $3,05 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ ⁶.

I valori di conducibilità idraulica ottenuti dall'interpretazione delle prove idrauliche del 2016 e del 2018 sono stati inseriti come dati di input nel modello numerico e successivamente sottoposto a calibrazione.

⁶ Utilizzando come valore dello spessore la tratta fenestrata o lo spessore saturo

FIGURA 16 – ANDAMENTO DEGLI ABBASSAMENTI NEL TEMPO IN FUNZIONE DELLA VARIAZIONE DI PORTATA (PIEZOMETRO PZ4).

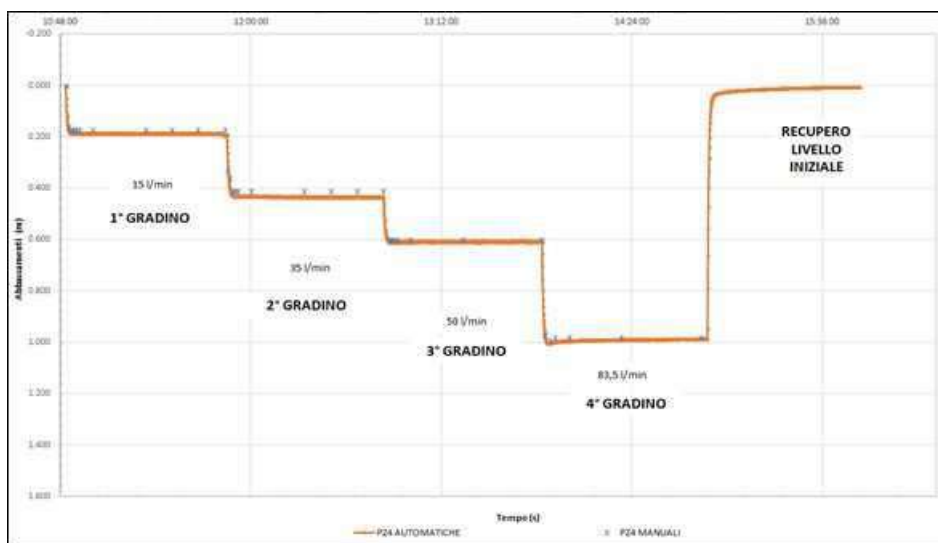
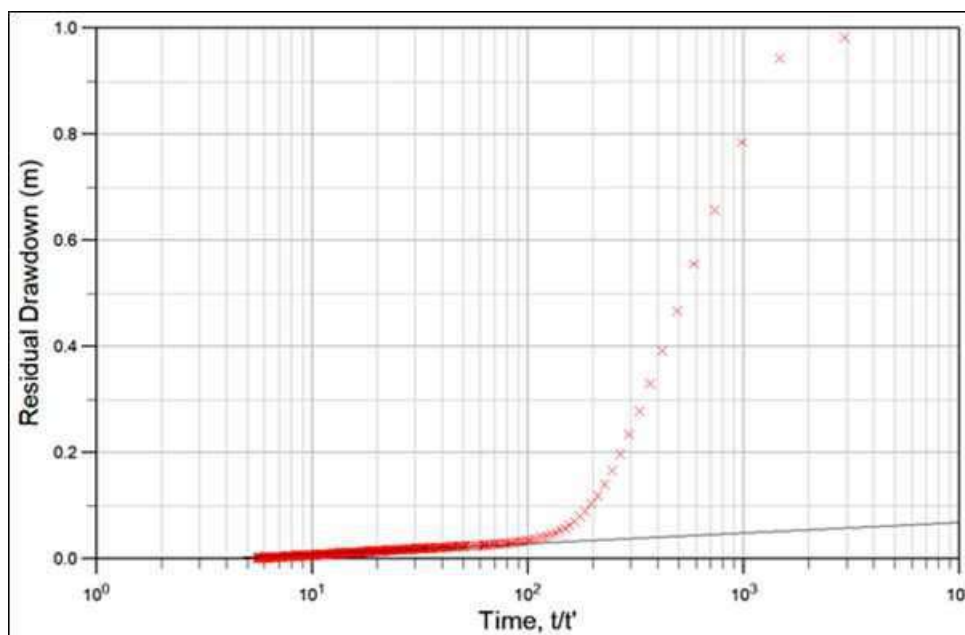


FIGURA 17 – ANDAMENTO DEGLI ABBASSAMENTI RESIDUI IN RELAZIONE AL TEMPO, IN CORRISPONDENZA DEL PIEZOMETRO PZ4.



Allo scopo di valutare la capacità drenante dell’acquifero in data 21 novembre 2018, è stata eseguita una prova di immissione nel piezometro PZ1 con tre gradini di portata differenti, in decremento, rispettivamente pari a 20, 15 e 10 l/min.

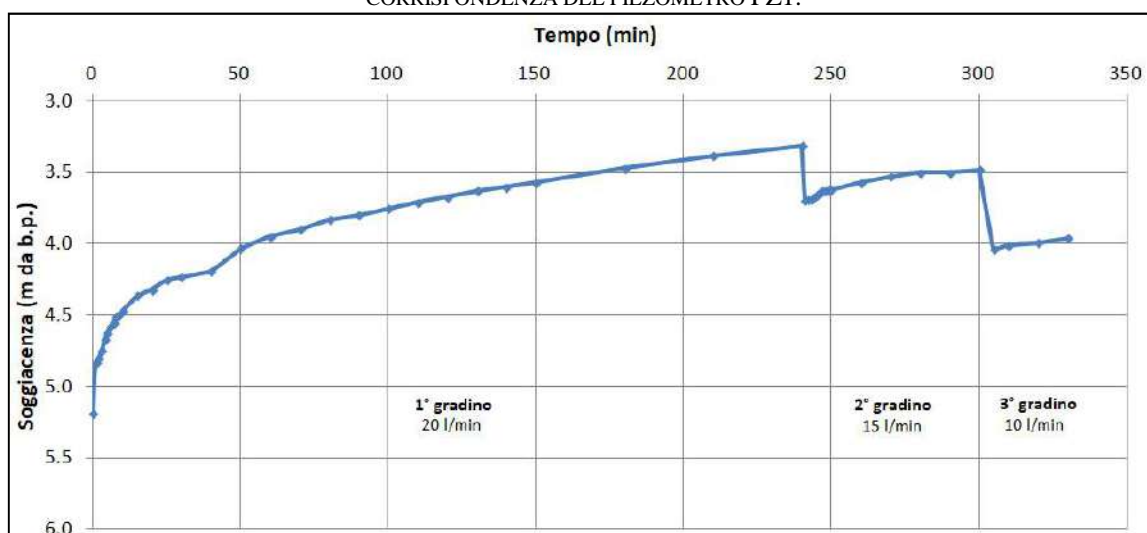
I gradini sono stati protratti per tempi differenti: il primo gradino ha una durata di 2 ore, il secondo di 1 ora ed il terzo di 30 minuti. Per tutti i gradini si osserva che non è stata raggiunta la stabilizzazione e la soggiacenza non raggiunge un valore costante (Figura 18).

Al termine di ogni gradino si osservano le variazioni di livello riportate in Tabella 6.

TABELLA 6 – VARIAZIONE DEL LIVELLO AL TERMINE DI OGNI GRADINO DI PORTATA IN CORRISPONDENZA DEL PIEZOMETRO PZ1.

PORTATA (l/min)	VARIAZIONE DEL LIVELLO (m)
20	1,88
15	1,71
10	1,23

FIGURA 18 – ANDAMENTO DELLA SOGGIACENZA NEL TEMPO DURANTE LA PROVA DI IMMISSIONE IN CORRISPONDENZA DEL PIEZOMETRO PZ1.



In data 23 novembre 2018, è stata eseguita una prova di immissione nel piezometro PZ3 con quattro gradini di portata differenti, in crescendo, rispettivamente pari a 10, 20, 40 e 55 l/min. I gradini sono stati protratti per circa 1 ora ciascuno (Figura 19).

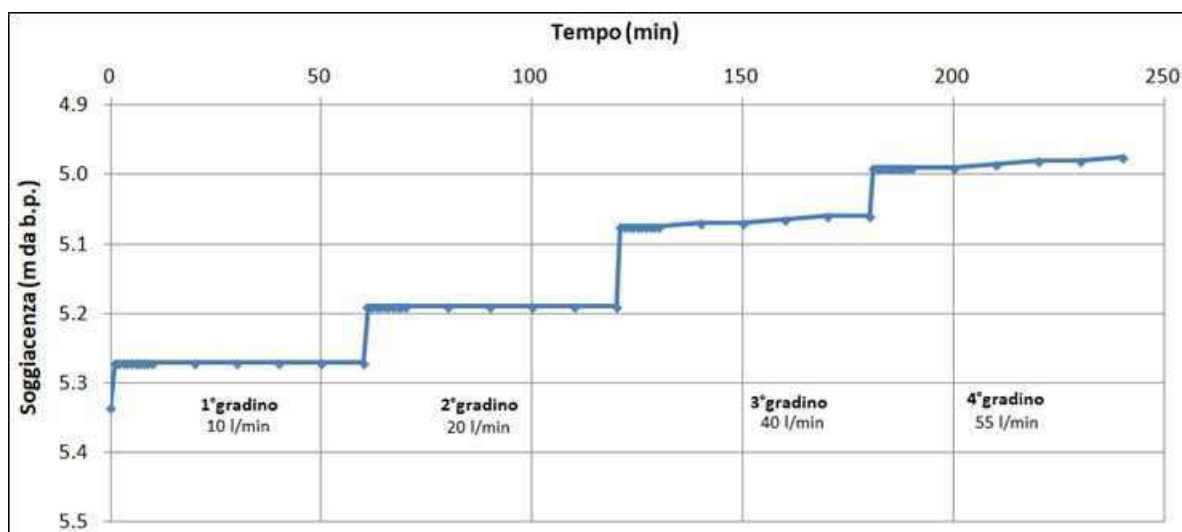
Al termine dei primi due gradini, la soggiacenza risulta costante, mentre al termine del terzo e del quarto gradino la soggiacenza continua a diminuire, senza raggiungere un livello costante. Al termine di ogni gradino si osservano le variazioni di livello riportate in Tabella 7.

I risultati delle due prove mostrano valori di sovralzo parecchio differenti. Poiché sulla base delle stratigrafie non si rilevano particolari differenze nella successione stratigrafica e considerando il valore di trasmissività dell’acquifero ottenuto dal test in risalita al termine delle prove a gradini si ritiene poco attendibile il risultato della prova sul PZ1.

TABELLA 7 – VARIAZIONE DEL LIVELLO AL TERMINE DI OGNI GRADINO DI PORTATA IN CORRISPONDENZA DEL PIEZOMETRO PZ3.

Portata (l/min)	Variazione del Livello (m)
10	0,065
20	0,145
40	0,275
55	0,360

FIGURA 19 – ANDAMENTO DELLA SOGGIACENZA NEL TEMPO DURANTE LA PROVA DI IMMISSIONE IN CORRISPONDENZA DEL PIEZOMETRO PZ3.



4 CALIBRAZIONE DEL MODELLO DI FLUSSO

4.1 APPROCCIO METODOLOGICO PER LA CALIBRAZIONE DEL MODELLO MATEMATICO

La calibrazione del modello di flusso è un processo che prevede la variazione dei valori dei parametri di input al fine di ottenere la migliore riproduzione delle condizioni di livello e/o flusso di riferimento entro un margine di errore ritenuto accettabile. In seguito alla variazione di uno o più parametri, l'accuratezza del modello viene verificata sia tramite confronto tra i valori simulati e le rispettive osservazioni, sia attraverso alcuni indicatori statistici. Nel caso specifico, è stato utilizzato un metodo di stima automatica dei parametri, adottando l'approccio della calibrazione inversa attraverso l'ausilio di PEST (Doherty, Hunt, 2010).

In termini semplici, PEST è un programma di calibrazione automatica che calcola la relazione tra i parametri di input e le previsioni del modello al fine di minimizzare la funzione obiettivo. Quest'ultima è pari al quadrato della differenza tra ogni osservazione (piezometri target) ed il corrispondente valore di output.

La calibrazione è stata effettuata in condizioni stazionarie, utilizzando come osservazioni sia i livelli piezometrici sia le portate delle sorgenti e della roggia Rabica, misurati nella campagna di luglio 2016 e di dicembre 2018.

La procedura adottata ha previsto le seguenti fasi:

- attribuzione al modello dei parametri e delle condizioni al contorno, così come derivanti dalle misure di campo e dalle valutazioni espresse in sede di definizione del modello concettuale;
- costruzione di due modelli, uno per luglio 2016, uno per dicembre 2018, differenziati per quanto riguarda le condizioni tempo dipendenti (ad esempio condizione al contorno constant head di monte e di valle, ricarica, portate dei pozzi, ecc);
- esecuzione della calibrazione contemporanea di entrambi i modelli tramite PEST.

4.2 PILOT POINTS E PARAMETRI

Per la calibrazione dei modelli di flusso, sono stati utilizzati n. 62 target, così suddivisi:

- n. 48 target di carico (24 per il mese di luglio 2016 e 24 per il mese di dicembre 2018);
- n. 14 target di flusso (9 per il mese di luglio 2016, comprendenti le portate della roggia Rabica e delle sorgenti; 5 osservazioni del mese di dicembre 2018, comprendenti le portate delle sorgenti).

I target di carico corrispondono ai livelli di falda misurati in corrispondenza dei piezometri, mentre quelli di flusso alle portate misurate in corrispondenza delle risorgive ed alla differenza di portate tra il tratto considerato e quello precedente della roggia Rabica (rif. 3.2).

Ad ogni tipologia di osservazione è stato assegnato un peso calcolato al fine di incorporare l'incertezza delle misure e di comporre un set di osservazioni bilanciato, in cui ciascuna

tipologia fosse ben rappresentata nella funzione obiettivo.

Le osservazioni e i valori simulati per ogni target sono riportati in Tabella 8 (target di carico) e Tabella 9 (target di flusso).

I parametri oggetto di calibrazione sono:

- la distribuzione della conducibilità idraulica del primo e secondo layer come interpolazione dei pilot points;
- la conduttanza della roggia Rabica;
- la conduttanza delle sorgenti;
- il valore di carico imposto come condizioni al contorno di monte e di valle del dominio, diversificate per luglio 2016 e dicembre 2018.

Per quanto riguarda la conducibilità idraulica, sono stati introdotti dei punti pilota (pilot points) in corrispondenza del primo layer, con una griglia pseudo-regolare (Figura 20), al fine di rappresentare la distribuzione della permeabilità orizzontale. La distanza reciproca tra i pilot points è di circa 280 m, ad eccezione dell'area d'interesse, estesa per circa 0,5 km², in corrispondenza della quale la densità dei punti è maggiore al fine di aumentare l'accuratezza della calibrazione.

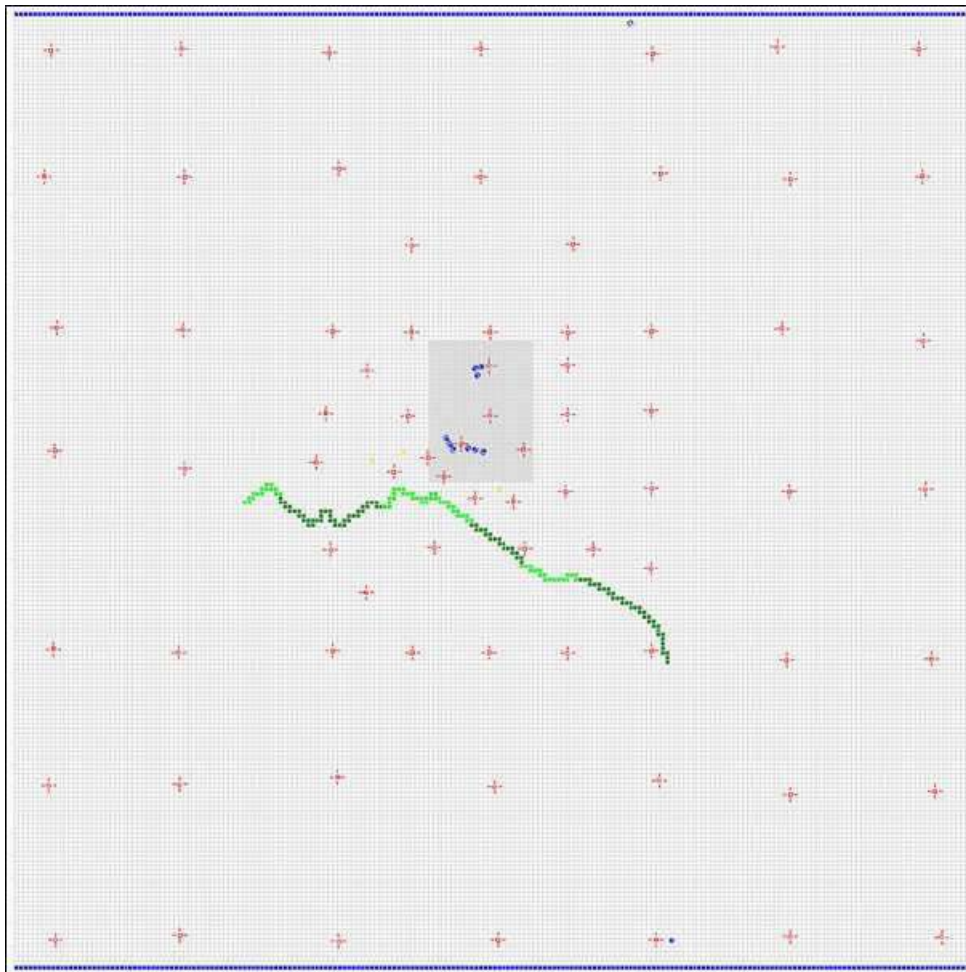
È stato aggiunto inoltre il valore medio dedotto dall'interpretazione delle prove di portata eseguite in sito (par. 3.3), per un totale di n. 76 pilot points inseriti nel modello.

I limiti dei pilot points sono stati impostati in un intervallo compreso tra 2e-5 e 5e-3 m/s.

La permeabilità verticale è stata stimata a partire da quella orizzontale considerando un rapporto fisso di K_x/K_z pari a 10.

Non avendo informazioni specifiche riguardo alla permeabilità del secondo layer, è stato deciso di assegnare la medesima conducibilità del primo layer.

FIGURA 20 – DISTRIBUZIONE DEI PILOT POINTS ALL'INTERNO DEL DOMINIO DI MODELLAZIONE (PUNTI ROSSI).



È stata inoltre impostata l'ottimizzazione della conduttanza della roggia Rabica e delle risorgive. Per quanto riguarda la roggia Rabica, è stato stimato un unico valore di conduttanza uguale per tutti i tratti e per entrambi i modelli, utilizzando un intervallo di variazione compreso tra $1e-5$ e $1e-2$ m²/s.

La conduttanza delle risorgive è stata stimata per ogni singolo punto e per entrambi i modelli, considerando un intervallo di ottimizzazione compreso tra $5e-3$ e 1 m²/s.

Per la stima del carico costante, il range di variazione di tale condizione è compreso tra 93 e 97 m s.l.m. a monte e tra 83 e 87 m s.l.m. a valle, per il modello di luglio 2016. Per lo scenario di dicembre 2018, il valore è stato fatto variare fra 93 e 98 m s.l.m. a monte e tra 81 e 87 m s.l.m. a valle.

Considerando i pilot points della conducibilità idraulica, i parametri di conduttanza della roggia Rabica e delle risorgive e i carichi costanti, in totale sono stati assegnati n. 91 parametri iniziali. È stato inoltre adottato un approccio di regolarizzazione consistente nell'introduzione di n. 319 osservazioni, aggiunte come equazioni che legano le conducibilità attribuite a pilot points tra loro adiacenti al fine di minimizzare la differenza di permeabilità all'interno del primo layer (condizione di "preferred homogeneity").

Per quanto riguarda la conduttanza della roggia Rabica il valore assegnato è pari a $1e-2 \text{ m}^2/\text{s}$, mentre per le risorgive i valori sono variabili tra $0,03$ e $1 \text{ m}^2/\text{s}$ per entrambi i modelli.

Per quanto riguarda le condizioni di carico costante, i valori sono rispettivamente pari a $93,01 \text{ m s.l.m.}$ e $83,32 \text{ m s.l.m.}$

4.3 CALIBRAZIONE DELLA PIEZOMETRIA DI LUGLIO 2016 E DICEMBRE 2018

I risultati della calibrazione, in termini di residuo tra valore osservato e calcolato, per quanto riguarda i target di carico e di flusso sono riportati rispettivamente in Tabella 8 e Tabella 9.

I residui delle osservazioni piezometriche nell'area di interesse oggetto dell'intervento di barriera idraulica sono contenuti in pochi centimetri. Identicamente il modello simula correttamente anche i target di flusso.

TABELLA 8 – ELENCO DEI TARGET DI CARICO CON RIPORTATO IL VALORE OSSERVATO E SIMULATO E IL RELATIVO RESIDUO.

LUGLIO 2016				DICEMBRE 2018			
Nome	Osservati (m s.l.m.)	Calcolati (m s.l.m.)	Residui (m s.l.m.)	Nome	Osservati (m s.l.m.)	Calcolati (m s.l.m.)	Residui (m s.l.m.)
PZ1	90,12	90,05	0,06	PZ1	89,20	89,17	0,03
PZ2	89,88	89,83	0,05	PZ2	88,31	88,98	-0,67
PZ3	89,69	89,70	-0,02	PZ3	88,89	88,87	0,02
PZ4	89,80	89,79	0,01	PZ4	88,94	88,95	-0,01
PZ5	88,80	88,74	0,06	PZ5	87,92	88,03	-0,12
PZ6	89,67	89,69	-0,02	PZ6	88,83	88,86	-0,03
PZ7	88,76	88,66	0,10	PZ7	87,94	87,97	-0,03
PZ8	88,80	88,81	-0,01	PZ8	88,16	88,10	0,06
PZ9	88,79	88,74	0,05	PZ9	88,14	88,03	0,11
PZ10	88,65	88,73	-0,08	PZ10	87,88	88,03	-0,15
PZ11	88,49	88,69	-0,20	PZ11	87,69	88,00	-0,31
PZ12	88,28	88,35	-0,07	PZ12	88,12	87,71	0,40
PZ13	88,79	88,82	-0,03	PZ13	88,23	88,11	0,12
PZ14	89,14	89,21	-0,07	PZ14	88,31	88,44	-0,13
PZ15	89,05	89,09	-0,04	PZ15	88,32	88,34	-0,02
PZ16	89,88	89,86	0,02	PZ16	88,95	89,00	-0,05
PZ17	85,28	85,32	-0,04	PZ17	84,89	85,04	-0,16
PZ18	84,98	85,02	-0,04	PZ18	84,73	84,83	-0,10
PZ19	86,88*	86,82	0,06	PZ19	86,21	86,38	-0,17
PZ20	85,63	85,66	-0,03	PZ20	85,27	85,24	0,03
PZ21	86,47	86,85	-0,38	PZ21	86,17	86,33	-0,16
PZ22	86,83*	87,06	-0,23	PZ22bis	86,49	86,60	-0,11
PZ23	88,57	88,07	0,50	PZ23	87,60	87,42	0,17
PZ24	88,20	88,21	-0,01	PZ24	87,52	87,58	-0,06

* falda sup. t.p. Considerato il livello di falda coincidente con il piano campagna

TABELLA 9 – ELENCO DEI TARGET DI FLUSSO CON RIPOSTATO IL VALORE OSSERVATO E SIMULATO E IL RELATIVO RESIDUO.

Tipo	Nome	LUGLIO 2016			DICEMBRE 2018		
		Osservati (m ³ /s)	Calcolati (m ³ /s)	Residui (m ³ /s)	Osservati (m ³ /s)	Calcolati (m ³ /s)	Residui (m ³ /s)
Risorgive	-0,0239	-0,0412	-0,0103	-0,0308	0	-0,0065	0,0065
	SN	-0,0030	-0,0031	-0,0001	0	0	0
	N	-0,0239	-0,0247	0,0009	0	-0,0166	0,0166
	ALTA	-0,017	0	-0,017	0	0	0
	MEDIA	-0,0071	0	-0,0071	0	0	0
Roggia Rabica	RAB 2-1	-0,107	-0,086	-0,020	-	-	-
	RAB 3-2	-0,085	-0,047	-0,037	-	-	-
	RAB 4-3	-0,166	-0,024	-0,141	-	-	-
	RAB 5-4	-0,035	-0,025	-0,009	-	-	-

Il confronto tra la piezometria elaborata a partire dai dati raccolti in campo durante la campagna di luglio 2016 (Figura 8) e dicembre 2018 (Figura 9) e la morfologia piezometrica ottenuta tramite la calibrazione del modello matematico (Figura 22 e Figura 23) evidenzia come il modello sia in grado di rappresentare correttamente l'andamento generale delle isopieze osservate. Tale evidenza è data ulteriormente dalla valutazione di alcuni parametri statistici, i cui valori sono riportati in Tabella 10: i valori dell'errore medio assoluto per i target di carico e di flusso per i modelli risultano rispettivamente pari a 0,09 m e 0,03 m³/s (luglio 2016) e pari a 0,13 m e 0,005 m³/s (dicembre 2018). Dividendo tali valori per l'intervallo dei target simulati (range), si ottiene un'indicazione sulla capacità del modello di riprodurre una situazione osservata (calibration fit).

Si riportano inoltre gli “scatterplot” dei valori di carico e flusso osservati rispetto ai residui rispettivamente in Figura 24 e Figura 25.

TABELLA 10 – INDICATORI STATISTICI DI CALIBRAZIONE DEL LAYER 1 – CARICO E FLUSSO PER I MODELLI DI LUGLIO 2016 E DICEMBRE 2018.

Indicatore Statico	LUGLIO 2016		DICEMBRE 2018	
	Carico (m)	Flusso (m ³ /s)	Carico (m)	Flusso (m ³ /s)
n. target	24	9	24	5
Range	5,14	0,16	4,47	0
Residual mean	-0,01	-0,03	-0,05	0,004
Residual standard deviation	0,15	0,04	0,19	0,006
Absolute residual mean	0,09	0,03	0,13	0,005
Absolute residual mean/range (calibration fit)	0,02	0,19	0,03	-

FIGURA 22 – RAPPRESENTAZIONE DELLA PIEZOMETRIA SIMULATA (PASSO 0,5 m S.L.M.) CON INDICATI GLI SCARTI TRA VALORI OSSERVATI E SIMULATI (I VALORI NEGATIVI IN ROSSO INDICANO UN CONDIZIONE DI SOVRASTIMA DEL MODELLO, MENTRE I VALORI POSITIVI IN BLU UNA CONDIZIONE DI SOTTOSTIMA DEL MODELLO) – LUGLIO 2016.

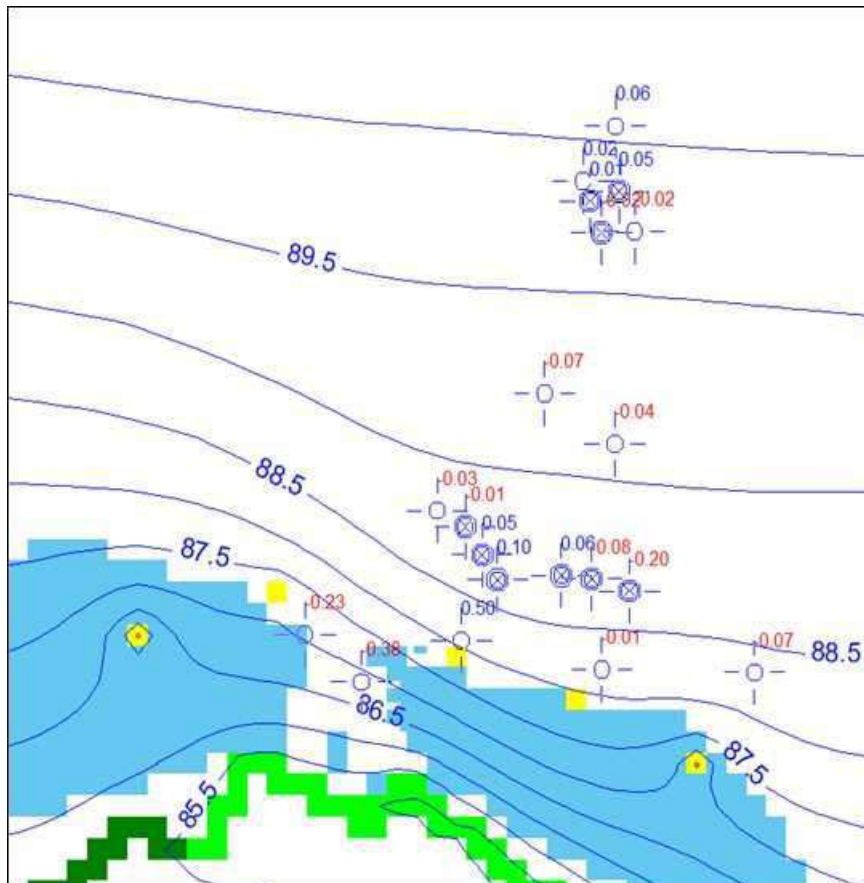


FIGURA 23 – RAPPRESENTAZIONE DELLA PIEZOMETRIA SIMULATA (PASSO 0,5 m S.L.M.) CON INDICATI GLI SCARTI TRA VALORI OSSERVATI E SIMULATI (I VALORI NEGATIVI IN ROSSO INDICANO UN CONDIZIONE DI SOVRASTIMA DEL MODELLO, MENTRE I VALORI POSITIVI IN BLU UNA CONDIZIONE DI SOTTOSTIMA DEL MODELLO) – DICEMBRE 2018.

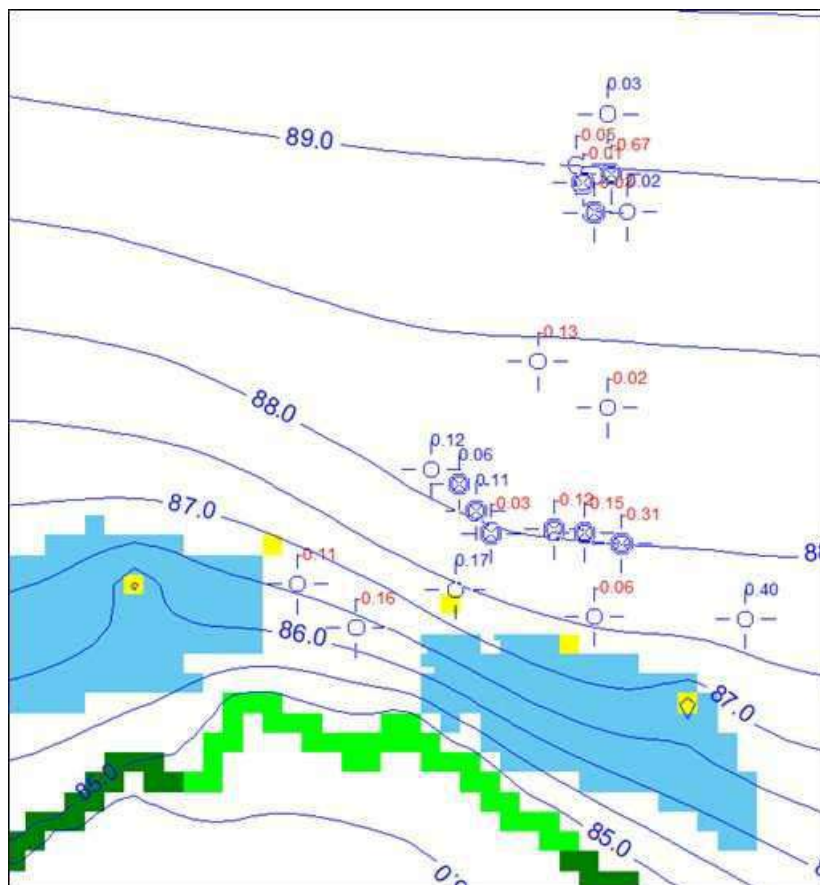


FIGURA 24 – SCATTERPLOT DEI VALORI DI CARICO OSSERVATI RISPETTO AI RESIDUI, A SINISTRA IL MODELLO DI LUGLIO 2016, A DESTRA IL MODELLO DI DICEMBRE 2018.

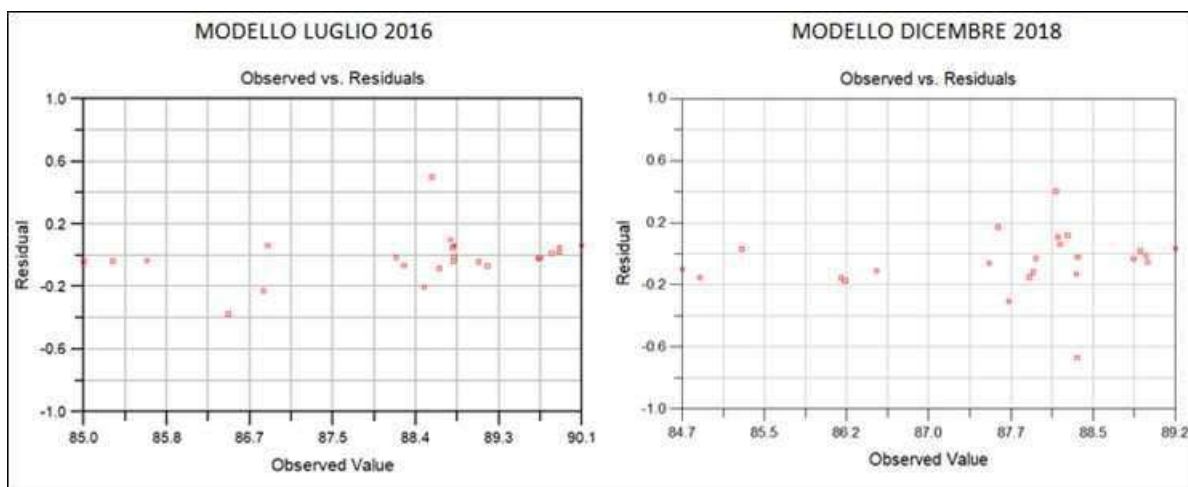
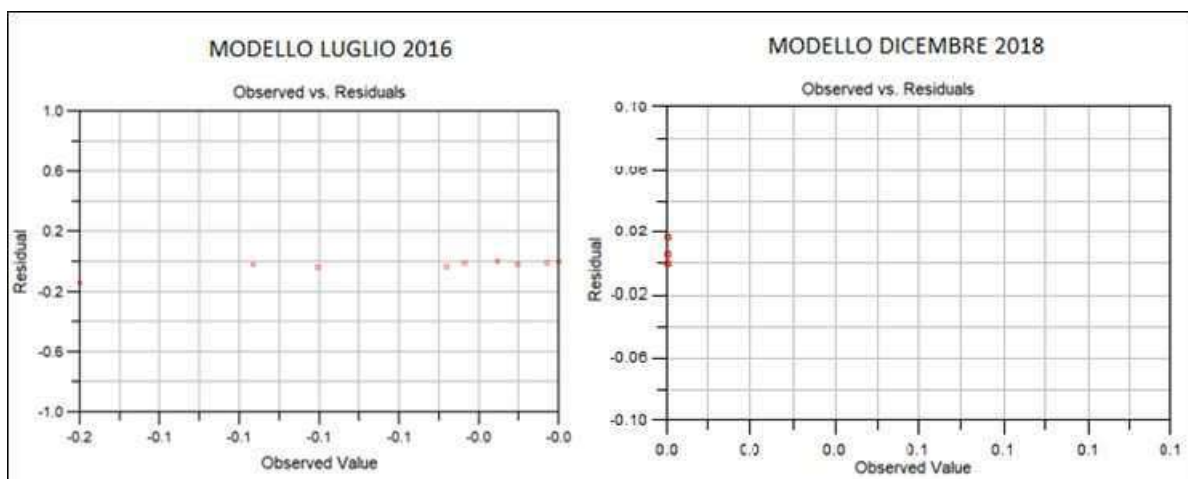


FIGURA 25 - SCATTERPLOT DEI VALORI DI FLUSSO OSSERVATI RISPETTO AI RESIDUI, A SINISTRA IL MODELLO DI LUGLIO 2016, A DESTRA IL MODELLO DI DICEMBRE 2018.



4.4 BILANCIO DI MASSA

È possibile effettuare un'analisi del bilancio di massa del sistema, utile per fornire indicazioni in merito all'affidabilità del modello calibrato.

L'errore del bilancio di massa del modello è pari a 0,58%. I valori sono inferiori ai valori limiti di riferimento comunemente utilizzati per individuare eventuali errori di troncamento dovuti ad un'inadeguatezza del risolutore numerico (Reilly, Harbaugh, 2004).

I termini di ingresso ("inflow") e uscita ("outflow") dal modello sono riportati in Tabella 11 per entrambi i modelli. Si riportano di seguito le principali osservazioni:

- l'entrata principale è costituita dall'afflusso complessivo della falda da monte, con 0,6309 m³/s (luglio 2016) e 0,5429 m³/s (dicembre 2018), corrispondente a circa l'85% delle entrate totali;
- il secondo termine di afflusso è rappresentato dalla ricarica attribuita al piano campagna, pari a 0,1103 m³/s; (luglio 2016) e 0,0887 m³/s (dicembre 2018);
- l'uscita principale di acqua è rappresentata per il modello di luglio 2016, dalla condizione di carico a valle (0,3684 m³/s) e per il modello di dicembre 2018 dalla roggia Rabica (0,3088 m³/s), corrispondenti a circa il 50% delle uscite totali.

TABELLA 11 – BILANCIO IDROGEOLOGICO DEGLI AFFLUSSI/DEFLUSSI COMPLESSIVI NELL'AREA DEL MODELLO
(WELL = POZZI; CH = CONDIZIONI DI CARICO COSTANTE A MONTE E VALLE; RIVER = ROGGIA RABICA; DRAIN = RISORGIVE; RECHARGE = RICARICA IMPOSTATA AL PRIMO LAYER)

VOCI DEL BILANCIO	LUGLIO 2016		DICEMBRE 2018	
	INFLOW (m ³ /s)	OUTFLOW (m ³ /s)	INFLOW (m ³ /s)	OUTFLOW (m ³ /s)
WELL	0	-0,0036	0	-0,0032
CH	0,6309	-0,3684	0,5429	-0,2963
RIVER	0	-0,3309	0	-0,3088
DRAIN	0	-0,0382	0	-0,0232
RECHARGE	0,1103	0	0,0887	0
TOTAL	0,7412	-0,7412	0,6317	-0,6317

5 SIMULAZIONI

5.1 IPOTESI CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DI BARRIERAMENTO

Sulla base del modello calibrato sono state implementate alcune simulazioni numeriche funzionali alla progettazione di un barrieramento idraulico con particolare riferimento ai seguenti aspetti:

- (caso 1) reimmissione in falda di una quota parte dell'acqua estratta e trattata in falda allo scopo di accelerare i processi di "remediation" del terreno potenzialmente contaminato, presente in frangia capillare/smear zone attraverso un sistema di **pozzi di resa** il cui schema è descritto nel Progetto Operativo di Bonifica Fase 1 e rappresentato schematicamente nelle figure successive;
- (caso 2) reimmissione in falda di una quota parte dell'acqua estratta e trattata in falda allo scopo di accelerare i processi di "remediation" del terreno potenzialmente contaminato, presente in frangia capillare/smear zone attraverso un sistema trincee che potrebbero essere utilizzate in sito a seguito dell'esecuzione dei test pilota di campo previsti nel Progetto Operativo di Bonifica Fase 1 e rappresentato schematicamente nelle figure successive.
- tenuta dell'opera in progetto rispetto al deflusso della falda dalla *zona di effrazione* tenendo in considerazione lo stato della contaminazione dell'area (rif. paragrafo 2.4);
- minimizzazione degli effetti di impoverimento delle aree umide poste in prossimità della roggia Rabica (Area risorgive) ed appartenenti ad un'area protetta;

Sono state considerate diverse configurazioni del sistema di barrieramento che hanno tenuto in considerazione la posizione e la portata dei pozzi. La configurazione definitiva del sistema è stata verificata rispetto a due differenti condizioni di alimentazione riferibili:

- ad una situazione di "alto piezometrico" della falda (condizione tipica dei mesi estivi caratterizzati dal contributo dell'irrigazione, Scenario 1)
- ad una situazione di "morbida della falda" (tipica dei mesi invernali, in assenza di irrigazione, Scenario 2).

Le simulazioni sono state effettuate in regime stazionario che può essere assunto come un transitorio di lungo periodo.

5.2 CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DI MISE IN PRESENZA DI CONTRIBUTO IRRIGUO

La simulazione implementata per l'area *Effrazione* ha permesso di definire la configurazione ottimale del sistema di barrieramento che fosse in grado di intercettare sia il flusso di acqua potenzialmente inquinato transitante dai piezometri PZ2, PZ4 e PZ6 sia le acque reimmesse attraverso il sistema di trincee.

Nel modello le trincee sono state simulate utilizzando il “package” WELL di Modflow assumendo che la portata fosse reimessa direttamente in falda, secondo un approccio cautelativo, poiché è prevista dal progetto una reimmissione nell'insaturo (profondità delle trincee di circa 2 m da p.c.). L'assetto del sistema di prelievo e reimmissione riassunto in Tabella 12 prevede l'emungimento da n. 3 pozzi barriera già esistenti (PZ2, PZ4, PZ6) ad una portata compresa fra 3,6 e 5,0 m³/h.

La reimmissione parziale delle acque emunte avverrà (Caso 1) tramite n.2 pozzi di resa (PozzoResa1 e PozzoResa 2) ubicati a monte idrogeologico della barriera idraulica e circa in corrispondenza del PZ1.

È stato verificato che i pozzi eserciti alle portate sopra indicate sono in grado di intercettare una portata reimessa di **9 mc/h**. Si prevede pertanto di reimmettere in ciascun pozzo una portata di **4,5 mc/h**.

Gli innalzamenti che si generano sono inferiori a 0,1 m, limitatamente allo stretto intorno dei pozzi di resa stessi.

In figura 26 di seguito riportata si può osservare l'ubicazione dei punti di resa (in verde) e dei pozzi di emungimento (in rosso). In figura 26 si può invece osservare il tracciamento delle particelle ubicate in corrispondenza dei due pozzi di resa che attesta la “cattura” da parte dei piezometri PZ2, PZ4 e PZ6.

FIGURA 26 – UBICAZIONE PUNTI DI EMUNGIMENTO E POZZI DI RESA.

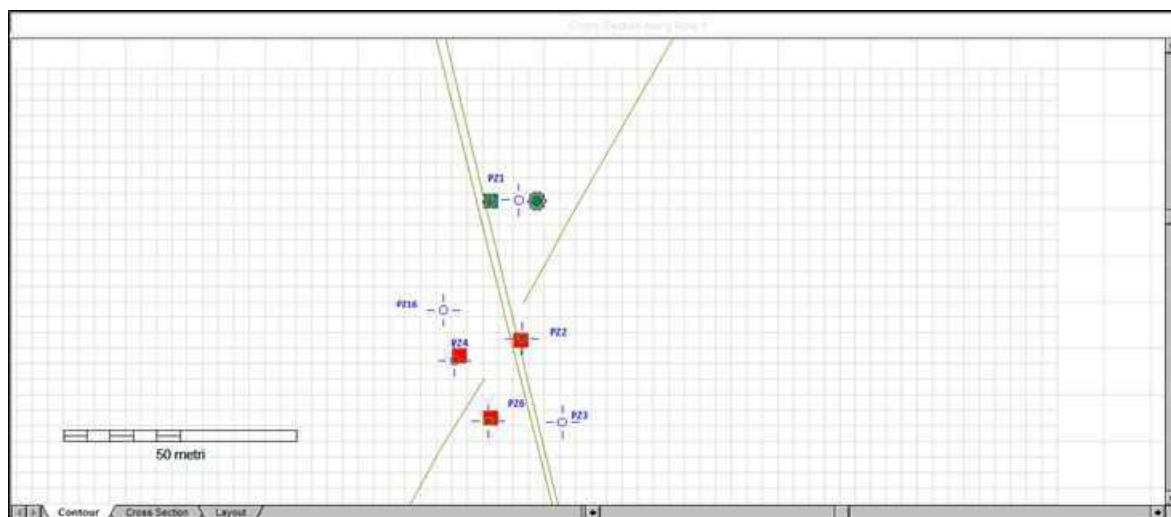
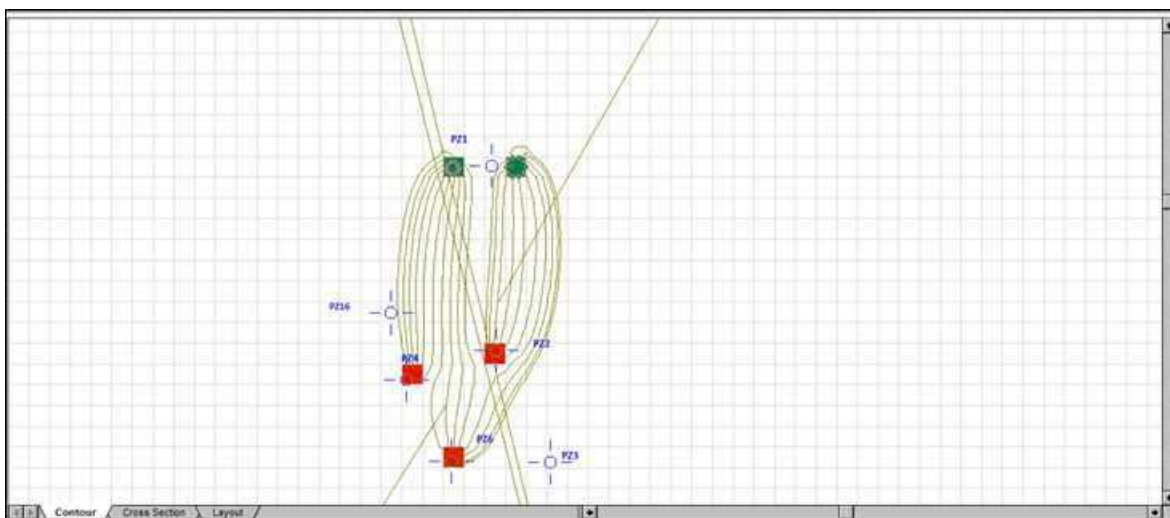


FIGURA 27 – OUTPUT DEL PARTICLE TRACKING CON IL SISTEMA DI BARRIERAMENTO ATTIVO E LA

REIMMISSIONE NEI DUE POZZI DI RESA. SONO RAPPRESENTATE IL TRACCIATO DELLE PARTICELLE IN PARTENZA DAI POZZI (IN VERDE) E L'AREA DI CATTURA DEI PIEZOMETRI PZ2, PZ4 E PZ6 (IN VERDE CHIARO).



A fronte del prelievo esercitato ($13 \text{ m}^3/\text{h}$) l'abbassamento provocato dai pozzi risulta nel complesso assente rispetto alla condizione iniziale in ragione anche dell'effetto della reimmissione con variazioni che si attestano al di sotto dello 0,1 m.

Nell'area Risorgive in corrispondenza della roggia Rabica non si evidenziano depressioni piezometriche e la portata drenata dalle risorgive e dalla roggia è paragonabile a quella della condizione in assenza di prelievi.

È stato anche considerato il caso (Caso 2) di effettuare la reimmissione tramite un sistema di trincee di reimmissione posizionate nell'insaturo ed ubicate a monte rispetto ai pozzi di emungimento così come riportato in figura 28; questa verifica è stata portata avanti nel caso in cui i test pilota di campo, da effettuarsi nell'area per la verifica dell'applicabilità della tecnologia di bonifica mediante Soil Flushing e previsti nel progetto Fase1, dia esito positivo e sia proposta nel progetto di bonifica Fase 2.

Per entrambi i casi è stato verificato che i pozzi eserciti alle portate sopra indicate sono in grado di intercettare una **portata reimessa di 9 mc/h**.

Gli scenari sono stati sviluppati ipotizzando la remissione dai pozzi di resa o dalle trincee di reimmissione. Per quest'ultime si ipotizzato la reimmissione d'acqua dalle trincee T1-T8 ma, come è evidente dagli output modellistici poco avanti esposti, anche l'acqua reimessa in alternativa dalle trincee T9-T13 è intercettata dai punti di prelievo. I risultati delle simulazioni effettuate, che consentono di quantificare la depressione indotta dai punti di prelievo sulla prima falda, sono riportati sia in termini di piezometria dinamica sia come curve di iso-abbassamento della falda così come rappresentato nelle Figure 28 e 29.

La tenuta del sistema in area effrazione è stata verificata attraverso l'impiego del codice semianalitico MODPATH (Pollock, 1991) nella versione riadattata per griglie "unstructured". L'output che si ottiene (Figure 27 e 30) attraverso la ricostruzione delle linee di flusso, permette il tracciamento delle particelle a partire da una data situazione piezometrica. Nello specifico, le particelle poste in corrispondenza dei pozzi di prelievo e dei pozzi di resa e/o trincee permettono di verificare la chiusura idraulica completa e di evidenziare l'area di captazione dei pozzi all'interno delle quale la realizzazione di pozzi di

resa e/o trincee (la cui portata complessiva reimessa sia pari a 9 mc/h) garantisce l'efficacia della soluzione proposta.

TABELLA 12: CONFIGURAZIONE SCENARIO MISO N. 1

ID BARRIERAMENTO/ REIMMISSIONE		ID POZZO IN POMPAGGIO/REIMMISSIONE	Q PREVISTA (m³/h)	
P&T		PZ2	4,4	
		PZ4	3,6	
		PZ6	5	
Portata Totale emunta			13	
Reimmissione	Caso 1	PozzoResa 1	4,5	
		PozzoResa 2	4,5	
	Caso 2	T1		5,4
		T2		3,6
Portata Totale reimmissa			9	9
Portata Totale da scaricare in roggia (*)			4	

(*) scarico in acque superficiale (Roggia Rabica)

FIGURA 28 – OUTPUT DELLA PIEZOMETRIA CALCOLATA CON I POZZI ATTIVI SECONDO LA CONFIGURAZIONE DELLO SCENARIO1. PARTICOLARE DELL' AREA DI INTERVENTO (I POZZI SONO INDICATI CON IL SIMBOLO QUADRATO ROSSO, LE TRINCEE ATTIVI CON UNA LINEA ARANCIONE).

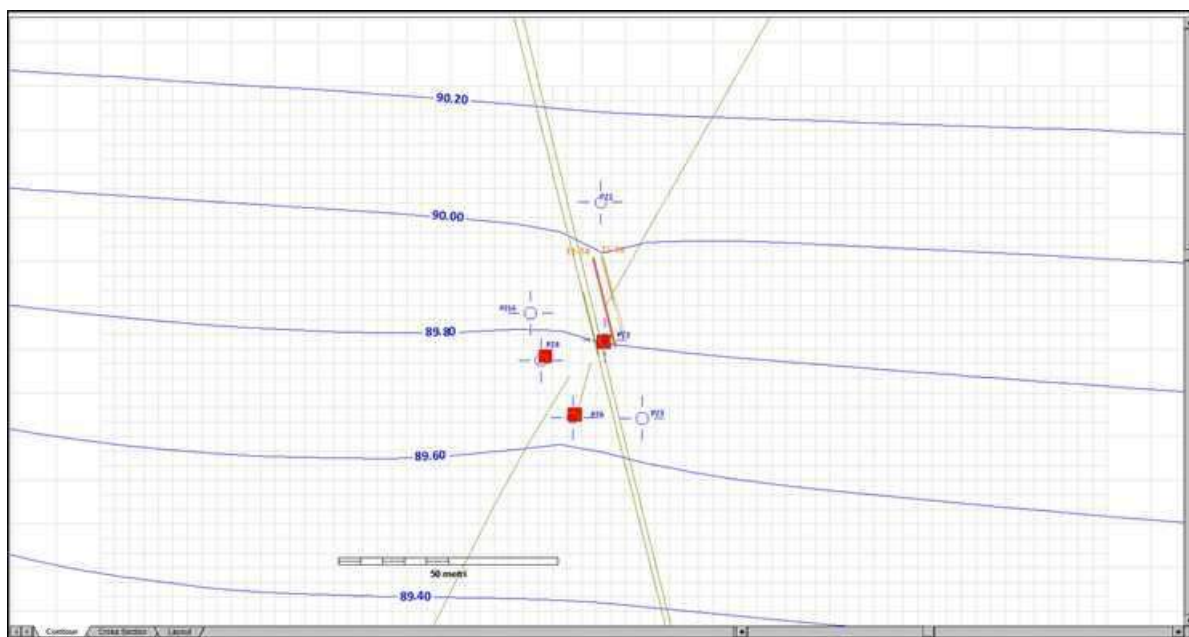


FIGURA 29 – OUTPUT DEGLI ABBASSAMENTI CALCOLATI RISPETTO ALLA SITUAZIONE PIEZOMETRICA DEL LUGLIO 2016 (ABBASSAMENTI OGNI 0.02 M). GLI ABBASSAMENTI SONO INDICATI CON VALORI POSITIVI.

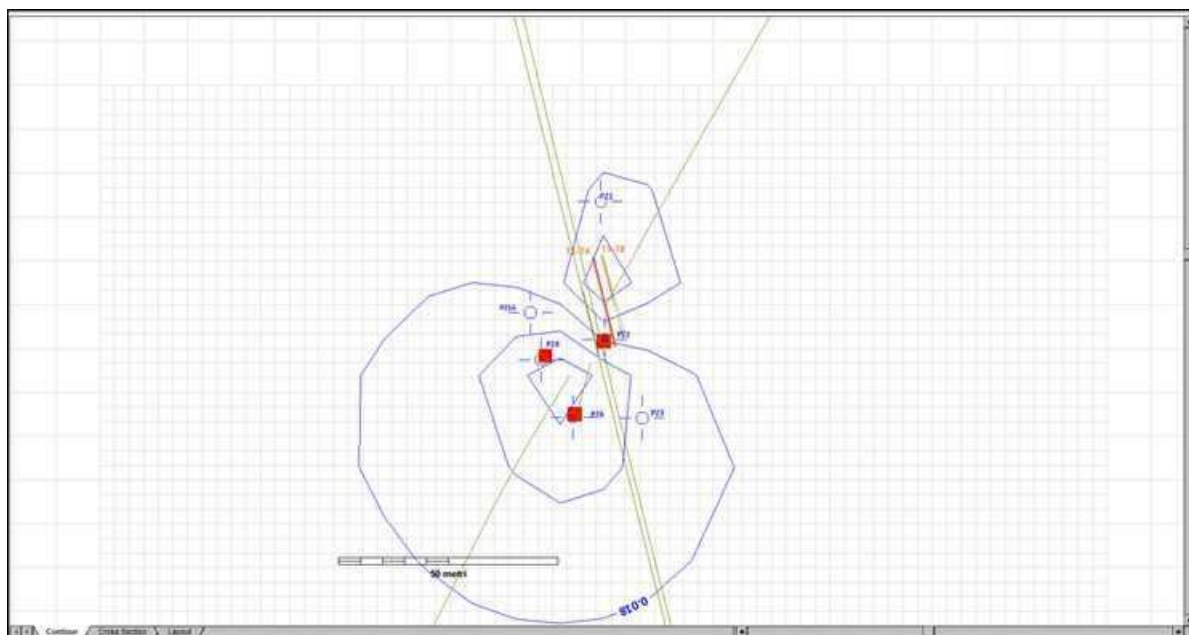
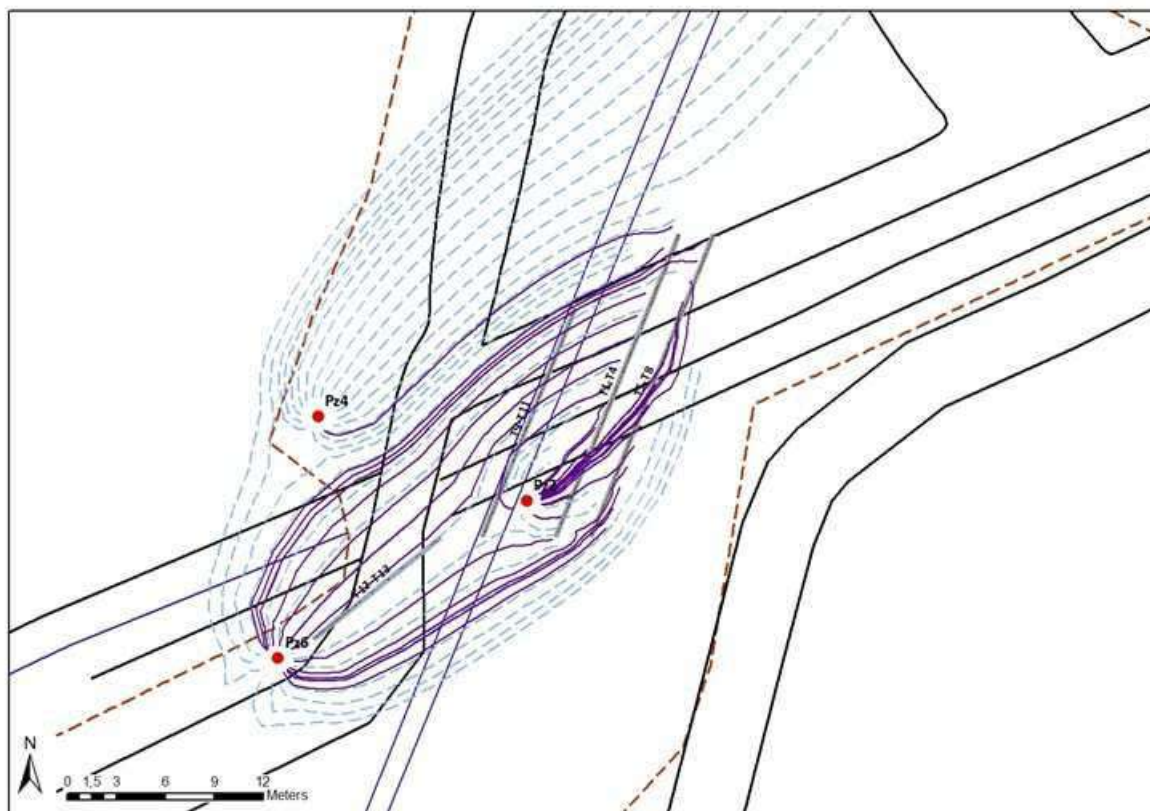


FIGURA 30 – SCENARIO 1 - OUTPUT DEL PARTICLE TRACKING CON IL SISTEMA DI BARRIERAMENTO ATTIVO E LA REIMMISSIONE IN TRINCEA T1-T8. SONO RAPPRESENTATE IL TRACCIATO DELLE PARTICELLE IN PARTENZA DALLE TRINCEE T1 E T2 (IN VIOLA) E L'AREA DI CATTURA DEI PIEZOMETRI PZ2, PZ4 E PZ6 (IN AZZURRO TRATTEGGIATO)



5.1 CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DI MISE IN ASSENZA DEL CONTRIBUTO IRRIGUO

È stata implementata anche una simulazione a partire dalla condizione piezometrica di dicembre 2018 rappresentativa di una condizione in assenza di contributo irriguo in cui la falda ha un livello medio inferiore di circa 0,5 – 0,8 m rispetto alla situazione estiva. Mantenendo la medesima ubicazione dei pozzi di prelievo e dei pozzi di resa o delle trincee attive (Caso 1 o Caso 2), le portate dei punti di drenaggio sono state diminuite di circa il 15% rispetto alla portata impostata nello scenario con contributo irriguo. Si prevede infatti di prelevare 3,6 mc/h dai punti PZ2 e PZ4, e 4,3 mc/h dal PZ6 (Tabella 13). La portata reimmissa dai pozzi di resa o dalle trincee è rimasta la medesima dello scenario 1 (9 mc/h). La piezometria simulata mostra lineamenti confrontabili con quella dello Scenario 1, mentre gli abbassamenti sono leggermente maggiori raggiungendo 0,1 m ca rispetto alla situazione iniziale (Figura 31). Il tracciamento delle particelle riportato in Figura 32 mostra il completo barrieramento dell'area dell'effrazione.

TABELLA 13: CONFIGURAZIONE SCENARIO MISO N. 2

ID BARRIERAMENTO/ REIMMISSIONE		ID Pozzo in Pompaggio/Reimmissione	Q prevista (m ³ /h)	
P&T		PZ2	3	
		PZ4	3	
		PZ6	3,2	
Portata Totale emunta			9,2	
Reimmissione	Caso 1	PozzoResa 1	4,5	
		PozzoResa 2	4,5	
	Caso 2	T1		5,4
		T2		3,6
Portata Totale reimmissa			9	9
Portata Totale da scaricare in roggia (*)			0,2	

(*) scarico in acque superficiale (Roggia Rabica)

FIGURA 31 – OUTPUT DEGLI ABBASSAMENTI/SOVRALZI CALCOLATI RISPETTO ALLA SITUAZIONE PIEZOMETRICA DEL DICEMBRE 2018 (OGNI 0.02 M). GLI ABBASSAMENTI SONO INDICATI CON VALORI POSITIVI.

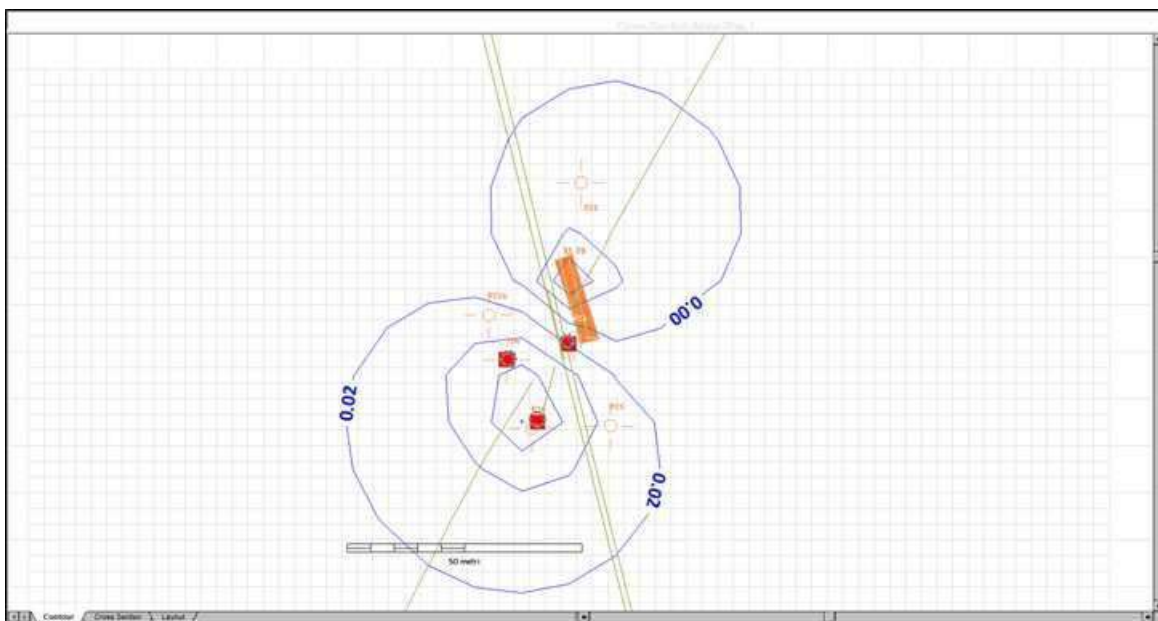


FIGURA 32 – SCENARIO 2 - OUTPUT DEL PARTICLE TRACKING CON IL SISTEMA DI BARRIERAMENTO ATTIVO E LA REIMMISSIONE IN TRINCEE T1-T8. SONO RAPPRESENTATE IL TRACCIATO DELLE PARTICELLE IN PARTENZA DALLE TRINCEE T1 E T2 E L'AREA DI CATTURA DEI PIEZOMETRI PZ2, PZ4 E PZ6



6 GESTIONE DELLA BARRIERA IDRAULICA/SISTEMA DI REIMMISSIONE

In relazione ai risultati degli scenari implementati mediante codice di calcolo alle differenze finite, Modflow, è stato possibile simulare n. 2 configurazioni del sistema di barrieramento e reimmissione in falda, riassunti in Tabella 14.

TABELLA 14: RIASSUNTO DEGLI SCENARI IMPLEMENTATI

SCENARI	CONDIZIONI	Portata Emunta (m ³ /h)	Portata reimmissa (m ³ /h)	Portata da scaricare* (m ³ /h)
Scenario 1	Configurazione del sistema <u>in presenza di contributo irriguo</u>	13	9	4
Scenario 2	Configurazione del sistema <u>in assenza di contributo irriguo</u> .	9,2	9	0,2

(*) scarico in acque superficiali (in Roggia Rabica) – contributo area effrazione

Tali configurazioni saranno funzionali alla gestione della barriera idraulica che potrà prevedere un decremento delle portate di emungimento nel periodo autunnale-invernale, rispetto alla casistica previste in fase primaverile-estiva, permettendo un contributo di scarico inferiore in roggia Rabica nel periodo in cui la stessa risulta naturalmente meno produttiva.

L'autorizzazione allo scarico in roggia Rabica sarà comunque mantenuta per le portate precedentemente dichiarate.

7 CONCLUSIONI

Il presente documento descrive le fasi della progettazione del modello numerico di flusso 3D realizzato al fine della comprensione della circolazione idrica sotterranea e del dimensionamento del sistema di barriera idraulico in corrispondenza dell'effrazione dell'oleodotto Eni Sannazzaro – Rho, specificatamente in area *area “Effrazione”*.

L'analisi si è articolata a partire dalla schematizzazione dell'assetto idrogeologico dell'area sulla base delle attività ambientali realizzate in sito (sondaggi, rilievi piezometrici e misure di portata delle rogge/sorgenti, prove di portata). L'acquifero fino alla profondità di circa 13 m (profondità investigata) è costituito da materiale ghiaioso con intercalazioni di lenti sabbiose. Il primo acquifero, sulla base dei dati bibliografici disponibili si approfondisce fino a circa 40 m da p.c.

L'analisi modellistica è stata condotta con il codice di calcolo ai volumi finiti MODFLOW USG.

Per la discretizzazione si è optato per l'impiego delle cosiddette “unstructured grid” disponibili con la versione MODFLOW USG. È stato così possibile discretizzare maggiormente il dominio nell'area di interesse e mantenere una discretizzazione più ampia (10 x 10 m) nella restante porzione del dominio. In direzione verticale la discretizzazione su n. 2 layer ha riguardato il Gruppo Acquifero superficiale (fino a ca 40 m da p.c.). La distribuzione dei valori di conducibilità idraulica, a partire da valori indicativi ottenuti dalle prove eseguite durante le attività di indagine, è stata demandata alla fase di calibrazione. La calibrazione, per cui si è fatto ricorso ad un metodo di stima automatica dei parametri (PEST, Doherty, Hunt; 2010), è stata valutata sulla base delle piezometrie del luglio 2016 e dicembre 2018, ottenendo scostamenti statistici modesti.

Il modello è stato quindi utilizzato, con finalità predittive, per dimensionare un sistema di sbarramento idraulico allo scopo di simulare la configurazione ottimale del sistema di P&Treat, quale attività di bonifica proposta in area “Effrazione”, abbinata ad un sistema di reimmissione in falda.

I risultati dell'analisi hanno evidenziato che la migliore configurazione dello sbarramento idraulico allo scopo di cui sopra, si ottiene attraverso un sistema di prelievo composto da n. 3 punti di emungimento posti in corrispondenza dei piezometri già esistenti PZ2, PZ4 e PZ6. per una portata massima complessiva nel periodo primaverile/estivo di 13 mc/h.

Il sistema è completato da una coppia di pozzi di resa poste immediatamente a monte dei punti di prelievo in cui è prevista la reimmissione di una quota parte dell'acqua prelevata (preventivamente depurata come previsto del Progetto Operativo di Bonifica Fase 1 a cui si rimanda).

Lo schema di barriera idraulica è stato verificato anche nel caso di differente alimentazione della falda, che nei mesi invernali è sostanzialmente priva del contributo dovuto all'irrigazione.

Dalle valutazioni effettuate nel presente documento ne deriva che le attività di revamping del sistema di P&Treat in area effrazione ed il mantenimento del sistema di Messa in Sicurezza di tipo P&T in area Monte Risorgive, avranno impatti trascurabili sulla matrice acquosa e relative componenti e sugli habitat vegetazionali.

Nello specifico, gli abbassamenti del livello di falda indotti dall'emungimento in corrispondenza dei pozzi in area effrazione risultano limitati all'intorno della stessa, con valori pari a circa 0,1 m. Inoltre, gli innalzamenti che si generano sono inferiori a 0,1 m, riscontrati limitatamente allo stretto intorno dei pozzi di resa.

Le condizioni dell'impianto in area Monte Risorgive, rimarranno pressoché invariate e soggette a modulazione in funzione delle reali esigenze del presidio di MISE.

Per ciò che concerne gli eventuali impatti sulle comunità faunistiche della Roggia Rabica essi sono del tutto trascurabili valutati sia i ridotti volumi emunti sia gli apporti idrici in Roggia; si consideri infatti che gli emungimenti aggiuntivi rispetto alla configurazione di pompaggio presentata nella Richiesta di Valutazione di Incidenza inviata in data 30-09-2016 (prot. ITG N. 2270/2016), vengono reimmessi in falda, non gravando pertanto sulla Roggia Rabica e non modificando l'autorizzazione allo scarico in termini di portata.

Tutto quanto sopra, si richiama la comunicazione del Parco Lombardo del Ticino con oggetto "Progetto impianto di P&T - valutazione dell'incidenza sui siti SIC IT2080002 e ZPS IT2080301", prot. 0010376 del 28/10/2016.

TAVOLE

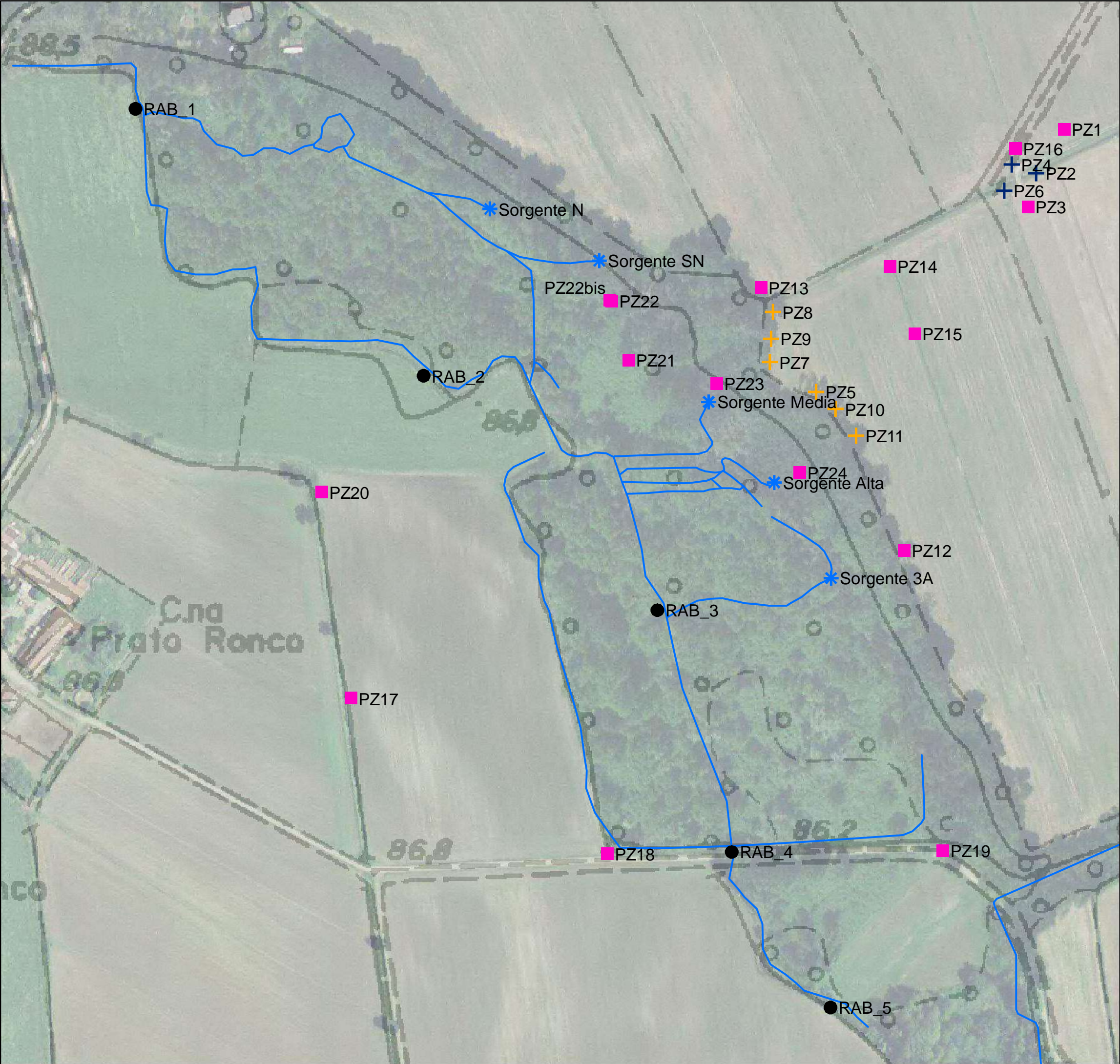
TAVOLA 1 MODELLO DI FLUSSO IDROGEOLOGICO

ALLEGATI

ALLEGATO A INQUADRAMENTO GEOLOGICO-IDROGEOLOGICO E INTERPRETAZIONE PROVE DI
PORTATA

TAVOLE

TAVOLA 1 MODELLO DI FLUSSO IDROGEOLOGICO



Legenda

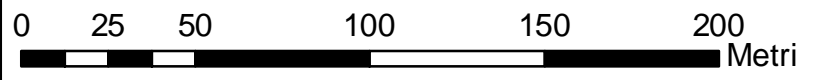
P&S_1

P&S_2

Piezometri

Risorgive

Punti misura roggia Rabica



THE IT GROUP ITALIA SRL
LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
VIA TORRE RICATA 8
00131 ROMA

PROGETTO N. 4018.07	ACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/ 4018.07-revADR-XXX	DATA: MARZO 2019
DIS: M.M.	MODELLO DI FLUSSO IDROGEOLOGICO AREA EFFRAZIONE PRESSO LOCALITA' MORIMONDO (MI)	
SCALA: grafica		
REVISIONE: 00	CLIENTE/LOCALITA':	TAVOLA:
VISTO: E.N.	ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)	1

QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL.
QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CIASCUN UTILIZZO PRIVO DI AUTORIZZAZIONE E' RIGOROSAMENTE PROIBITO.

ALLEGATI

ALLEGATO A INQUADRAMENTO GEOLOGICO-IDROGEOLOGICO E INTERPRETAZIONE PROVE DI PORTATA

INQUADRAMENTO GEOLOGICO-IDROGEOLOGIO INTERPRETAZIONE PROVE DI PORTATA

Sito:

Oleodotto 10" Sannazzaro-Rho
Comune di Morimondo (MI)

Cliente:

eni spa
Sede Legale
Piazzale Enrico Mattei, 1
00144 Roma - Italia

Progetto N.:	4018.07
Data:	Febbraio 2017
Rapporto N.:	12

Redatto da: dott.ssa Stefania Bollani
Progettista Senior – The IT Group Italia srl

Revisionato da: ing. Elisa Neri
Project Manager – The IT Group Italia srl

Approvato da: ing. Lisa Dall'Agata
Direttore Tecnico – The IT Group Italia srl

THE IT GROUP ITALIA SRL
L.go Volontari del Sangue, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
Tel. 02.51814311 - Fax 02.51814399
P. IVA 10195280150 C.F. 01899960136

DISCLAIMER

Quale autore e titolare, The IT Group Italia S.r.l. (di seguito ITG) si riserva tutti i diritti sul presente elaborato. La relativa riproduzione o diffusione, anche parziale, al di fuori della società Committente cui è direttamente destinato, è vietata senza il preventivo consenso scritto di ITG. ITG non assume alcuna responsabilità che possa derivare da un utilizzo incompleto, parziale o comunque difforme dalle clausole contrattuali, delle informazioni qui contenute da parte della società cliente o di terzi, o dall'utilizzo di eventuali dati, analisi e/o informazioni incomplete o errate fornite dalla Committente, salvo diversa clausola contrattuale. ITG non intende violare alcun Copyright. Le informazioni e la grafica qui raccolte sono, al meglio della nostra conoscenza, o di nostra esclusiva formulazione o di pubblico dominio o fornite dal Committente e soggette pertanto a vincoli di riservatezza o comunque autorizzate dagli autori. Se, involontariamente, e' stato pubblicato materiale soggetto a copyright o in violazione alla legge si prega di comunicarcelo e provvederemo immediatamente a rimuoverlo. Nomi di prodotti, nomi corporativi e società citati possono essere marchi di proprietà dei rispettivi titolari o marchi registrati di altre società e sono stati utilizzati a puro scopo esplicativo e a beneficio del possessore, senza alcun fine di violazione dei diritti di Copyright vigenti. ITG si riserva il diritto di modificare i contenuti del presente disclaimer in qualsiasi momento e senza alcun preavviso. I documenti possono contenere errori tipografici. Le stime dei costi, le raccomandazioni e le opinioni presentate in questo rapporto sono fornite sulla base delle nostre esperienze e del nostro giudizio professionale e non costituiscono garanzie e/o certificazioni. Valutazioni in merito agli standard del servizio fornito devono tenere conto del momento e delle condizioni in cui il servizio è stato fornito. ITG è provvista di procedure ed istruzioni di qualità e di sicurezza per garantire la corretta gestione dei documenti forniti dal Committente al fine di evitarne la perdita, l'uso improprio e l'alterazione dei dati.

Sito: Oleodotto 10" Sannazzaro-Rho, Comune Morimondo (MI)

ii

Committente: Eni S.p.A.

Oggetto: RT Inquadramento geologico-idrogeologico e interpretazione prove di portata

Febbraio 2017

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	5
2. UBICAZIONE DEL SITO E INQUADRAMENTO URBANISTICO.....	6
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO.....	8
3.1. ASPETTI GENERALI	8
3.2. ASPETTI DI DETTAGLIO.....	12
4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO-IDROGRAFICO.....	17
4.1. ASPETTI GENERALI	17
4.2. ASPETTI DI DETTAGLIO.....	22
5. MISURA PORTATE ROGGIA RABICA E SORGENTI	26
6. PROVE IDRAULICHE.....	30
6.1. PROVE A GRADINI	30
6.2. PROVE A LUNGA DURATA	36
6.3. SLUG TEST.....	41
6.4. RIEPILOGO DEI VALORI DI CONDUCIBILITÀ IDRAULICA E DI TRASMISSIVITÀ OTTENUTI.....	43
6.5. GESTIONE RIFIUTI.....	45

TAVOLE

TAVOLA I	CARTA LITOLOGICA E DELLA DINAMICA GEOMORFOLOGICA CON ELEMENTI DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA” – TAV N. 1B DI NOVEMBRE 2011, DEL P.G.T DEL COMUNE DI MORIMONDO
TAVOLA II	PLANIMETRIA DEL SITO CON UBICAZIONE DEI RUSCELLAMENTI/CORSI D’ACQUA, RISORGIVE E PUNTI DI MONITORAGGIO D’INTERESSE
TAVOLA IIIA	SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA N. 1
TAVOLA IIIB	SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA N. 2
TAVOLA IVA	CARTA PIEZOMETRICA LUGLIO 2016
TAVOLA IVB	CARTA PIEZOMETRICA GENNAIO 2017

ALLEGATI

ALLEGATO I	RILIEVI FREATIMETRICI; MISURE PORTATE SORGENTI E ROGGIA RABICA; LIVELLI IDROMETRICI IN ROGGIA RABICA
ALLEGATO II	DATI E INTERPRETAZIONI DELLE PROVE DI PORTATA A GRADINI
ALLEGATO III	DATI E INTERPRETAZIONI DELLE PROVE DI PORTATA A LUNGA DURATA
ALLEGATO IV	DATI E INTERPRETAZIONI DEGLI SLUG TEST
ALLEGATO V	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
ALLEGATO VI	RILIEVO TOPOGRAFICA DI DETTAGLIO

1. INTRODUZIONE

La Società Eni Refining & Marketing (Eni) ha incaricato la scrivente Società The IT Group Italia S.r.l. (IT Group) di redigere il presente elaborato tecnico *“Inquadramento geologico-idrogeologico e interpretazione delle prove di portata”* per l’area interessata dalla fuoriuscita di idrocarburi avvenuta per manomissione dolosa dell’oleodotto Eni Sannazzaro–Rho, nei pressi della località Cascina Cerina di Sopra, nel Comune di Morimondo (MI) (notificata da Eni il 06/10/2015, ai sensi dell’art. 249 e 245 del D.Lgs. 152/06 e, in data 15/10/2015, convertita alla procedura ordinaria, ai sensi dell’art. 242 del D.Lgs. 152/06).

Nello specifico, lo scopo del presente documento, a supporto dell’implementazione del modello numerico di flusso del sito, è quello di definire un inquadramento geologico-idrogeologico dell’area oggetto di studio e riportare i dati e le elaborazioni ottenute dalle seguenti attività specifiche:

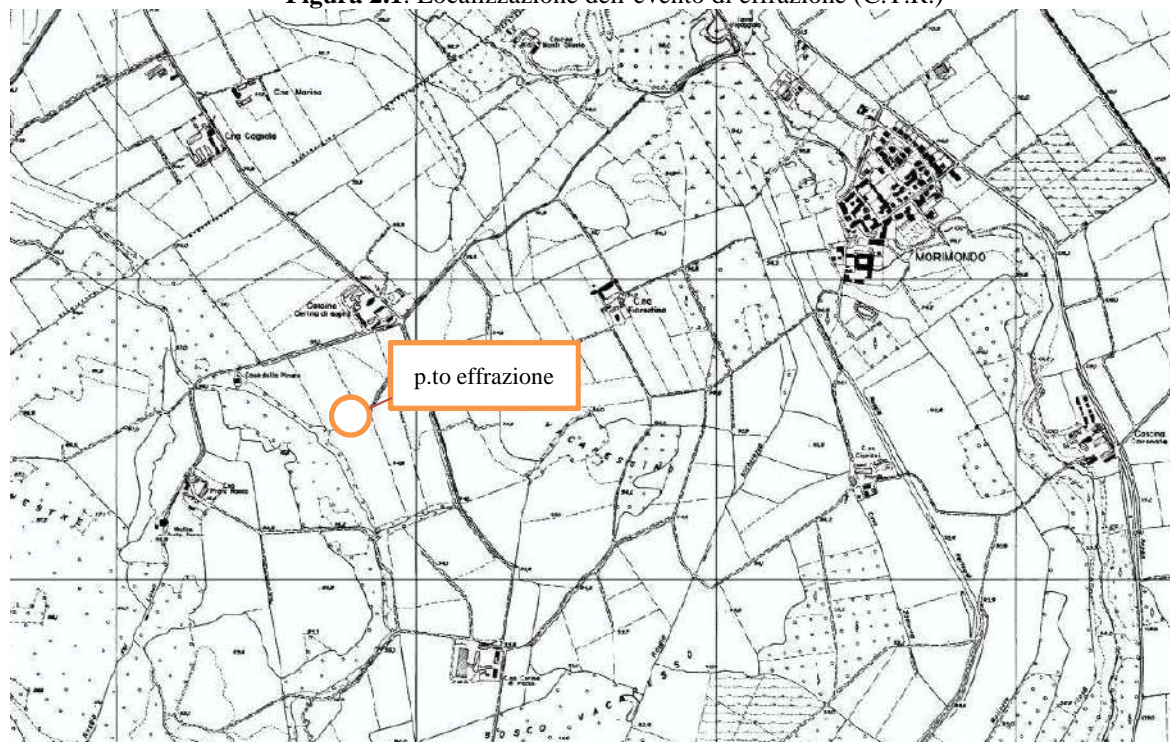
- calcolo delle portate in Roggia Rabica, in corrispondenza di n. 5 sezioni (eseguite nel periodo aprile’16 - gennaio’17);
- calcolo delle portate in corrispondenza della principali sorgenti (eseguite nel periodo aprile’16 - gennaio’17);
- prove di portata a gradini in PZ3, PZ9 e PZ10 (eseguite a marzo’16);
- slug test in PZ1, PZ8 e PZ11 (eseguiti a marzo’16);
- prove di portata a lunga durata (36 h), in PZ3 e PZ10 (eseguite a luglio-agosto’16).

2. UBICAZIONE DEL SITO E INQUADRAMENTO URBANISTICO

L'evento di effrazione dolosa è avvenuto in un'area agricola e non urbanizzata, ubicata nei pressi della località Cascina Cerina di Sopra nel Comune di Morimondo (Figura 2.1).

Il Comune di Morimondo è ubicato nel settore sud-occidentale della Provincia di Milano a confine con la provincia di Pavia. A Nord confina con i comuni di Ozzero, Vermezzo, Zelo Surrigone e Gudo Visconti; a Est con i comuni di Rosate e Bubbiano; a Sud con Casorate Primo (PV), Besate, Vigevano (PV); a Ovest con Abbiategrasso.

Figura 2.1: Localizzazione dell'evento di effrazione (C.T.R.)



Il sito oggetto di notifica non è urbanizzato ed è definibile dal PGT del Comune di Morimondo come “zona agricola di tutela dei corpi idrici”.

L'ambito comunale è costituito dal centro abitato di Morimondo, posto grossomodo in posizione centrale del territorio comunale e da ulteriori due frazioni: Caselle a Nord, presso il confine con Ozzero e a Sud presso il confine con Besate. Sussistono, inoltre, numerose cascine isolate, diffusamente distribuite sul comprensorio.

Dal punto di vista topografico l'area comunale presenta un carattere principalmente pianeggiante, con quote in media comprese tra 96 m s.l.m. (Nord) e 85 m s.l.m. (Sud).

Il comune si colloca in un'area intermedia tra il livello fondamentale della pianura (LFdP), la bassa pianura lombarda e l'incisione della valle fluviale del Ticino.

Il Comune di Morimondo è interamente compreso entro i confini del Parco Lombardo del Ticino (istituito nel 1974), un'area protetta regionale con un'estensione totale di 91.000 ettari, nonché Sito di Interesse Comunitario (SIC) e Zona di Protezione Speciale (ZPS).

Nello specifico, l'area di effrazione si colloca all'interno della Zona di Protezione Speciale (ZPS) "Boschi del Ticino" IT2080301", istituita ai sensi dell'art. 4 della Direttiva 79/409/CE del Consiglio del 2 aprile 1979 (c.d. Direttiva Uccelli), ora abrogata e sostituita dalla Direttiva 2009/147/CE, e del Sito di Importanza Comunitaria (SIC) IT2080002 "Basso corso e sponde del Ticino", istituito ai sensi della dir 92/43 CEE. Per entrambe le Aree Natura 2000 l'Ente gestore di riferimento è il Parco Lombardo della Valle del Ticino.

Lo studio ha interessato i seguenti mappali/fogli catastali:

- Mappali n. 70-82-49, Mappali n. 61-68-67 e Mappale n. 78, Foglio n. 10 del Comune di Morimondo (MI);
- Mappale n. 10 del Foglio n. 14 del Comune di Morimondo (MI).

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

3.1. ASPETTI GENERALI

Il territorio comunale di Morimondo è ubicato nel settore meridionale della Pianura Padana lombarda. L'assetto geologico della pianura in cui è ubicata l'area in esame si è delineato a partire dal Miocene con rilevanti fenomeni erosivi dell'arco alpino, trasgressioni e regressioni marine.

Una fase regressiva marina iniziata nel Pliocene superiore e terminata nel Pleistocene inferiore, ha determinato la sedimentazione di depositi continentali fluvio-lacustri, di delta e di piana costiera a carattere granulometrico non grossolano. Autori vari hanno attribuito tali sedimenti al Villafranchiano.

Questa unità sedimentaria ha successivamente subito un sollevamento con conseguente azione erosiva, anche rilevante, e le incisioni derivate, a seguito di contemporanee fasi trasgressive, sono state colmate da depositi marini e continentali a loro volta erosi.

A partire dal Pleistocene hanno inizio le tre fasi glaciali Mindel, Riss e Würm, con conseguente deposizione di una vasta coltre di depositi glaciali e fluvio-glaciali rispettivamente nelle aree pedemontane e di pianura.

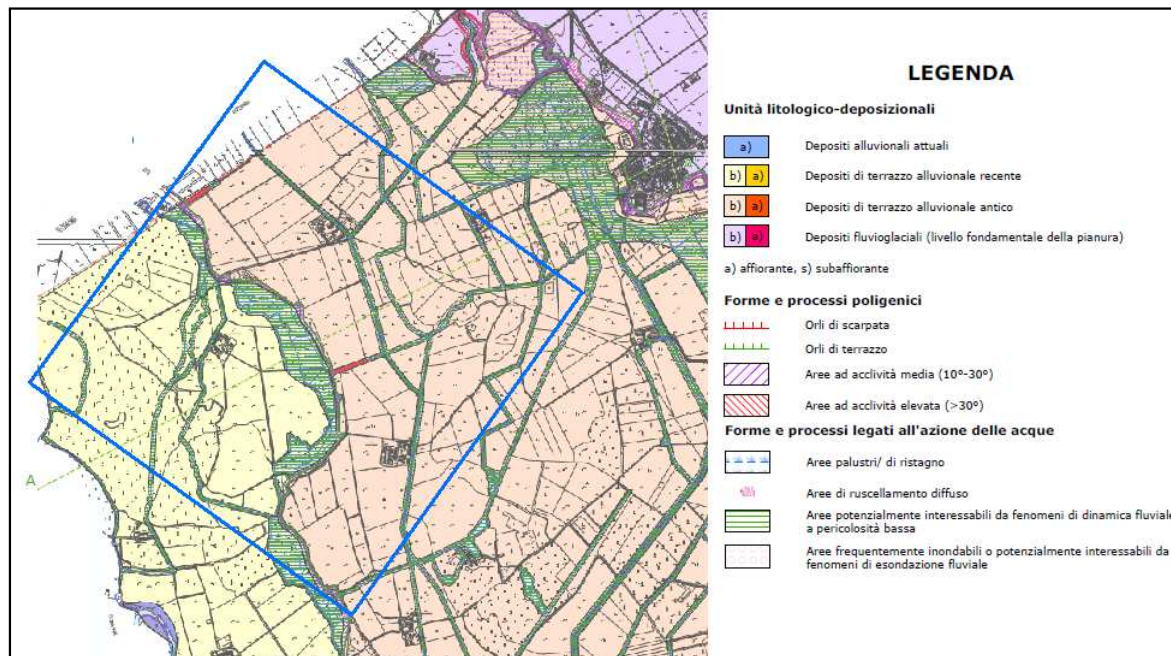
Durante i periodi interglaciali avvennero azioni erosive delle fiumane pleistoceniche con la conseguente creazione di terrazzi che oggi interessano la fascia a valle degli anfiteatri morenici e la media pianura.

Nel periodo compreso tra il pleistocene e l'Olocene si è verificato l'innalzamento dell'alta pianura (Arca e Beretta – 1985) in modo non uniforme in funzione della consistenza dei depositi.

E' possibile suddividere il territorio provinciale milanese in tre zone distinte: zona delle cerchie moreniche, zona dei terrazzi ferrettizzati (coltre di alterazione superficiale più o meno spessa) e zona della media e bassa pianura diluviale ed alluvionale (Livello Fondamentale della Pianura).

Dalla *“Carta litologica e della dinamica geomorfologica con elementi di prima caratterizzazione geotecnica”* del PGT del comune di Morimondo si evince che l'area comunale è caratterizzata dalla presenza di depositi quaternari fluvio-glaciali würmiani appartenenti al Livello Fondamentale della Pianura, affioranti nella porzione nord-est del comune, e da depositi alluvionali terrazzati antichi e recenti, affioranti nella porzione nord ed ovest (Tavola I, Figura 3.1).

FIGURA 3.1 - ESTRATTO DELLA “CARTA LITOLOGICA E DELLA DINAMICA GEOMORFOLOGICA CON ELEMENTI DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA” – TAV. N. 1B DEL PGT DEL COMUNE DI MORIMONDO. IN BLU L’ AREA DI STUDIO, IN VERDE LA TRACCIA DELLA SEZIONE AA’ DEL PGT.



In base alla genesi e alle frazioni granulometriche è stato possibile distinguere le principali unità litologiche che caratterizzano il sito. Tale differenziazione ha portato ad identificare quattro unità litologico-deposizionali. Di seguito si riportano le diverse “unità” presenti nel territorio comunale, coadiuvate da una specifica caratterizzazione litologica:

- Depositi alluvionali attuali;
- Depositi di terrazzo alluvionale recente;
- Depositi di terrazzo alluvionale antico;
- Depositi fluvioglaciali (Livello Fondamentale della Pianura).

La morfologia pressoché pianeggiante del territorio e la presenza di rare incisioni rilevanti fanno sì che gli affioramenti in ambito comunale siano molto scarsi. Le informazioni litologiche sono state quindi desunte, oltre che da rilievi in posto, anche da informazioni note in letteratura.

Depositi alluvionali attuali

Si tratta dei materiali attualmente depositati dal fiume Ticino e dai corsi d’acqua di maggiore importanza; sono visibili nell’alveo attuale, osservabili in alcuni punti in corrispondenza delle sponde del corso d’acqua o, in funzione del livello del pelo libero dell’acqua, anche nella parte

centrale dell'asta fluviale, sotto forma di isole.

Possiedono una estensione sia verticale sia laterale molto limitata. Litologicamente si tratta di materiali sciolti molto eterogenei caratterizzati da zone con prevalenza di frazioni granulometriche grossolane (ciottoli e ghiaia) e zone con presenza di materiali prevalentemente fini (limi e sabbie). Spesso è possibile riscontrare la presenza di una laminazione incrociata; le alternanze tra depositi ghiaiosi - sabbiosi o limosi, quando presenti, sono molto discontinue e dall'aspetto disordinato. Proprio per la specifica origine genetica i materiali grossolani appaiono ben arrotondati a bassa sfericità. Sono presenti numerosi clasti con striature tipiche dovute all'azione del ghiacciaio.

Dal punto di vista petrografico, la maggior parte dei clasti è metamorfica, ed i paragneiss costituiscono quasi la metà di tutti i clasti esaminati.

Depositi di terrazzo alluvionale recente

Si tratta dei depositi presenti presso il terrazzo di quota inferiore (compresa tra circa 82 e 87 m s.l.m.), di età più recente rispetto agli altri terrazzi presenti nel territorio comunale. In base ai dati acquisiti in fase di rilevamento sul campo, la litologia principale risulta essere costituita principalmente da ciottoli e ghiaia con sabbia subordinata. Sono stati riconosciuti anche, in alternanza con i precedenti, alcuni orizzonti più fini costituiti da sabbia fine limosa o da limo sabbioso, con ghiaia subordinata.

Si presume che questi depositi rappresentino episodi distinti di uno stesso evento deposizionale legato all'azione del fiume Ticino, deposti in successione sia temporale che laterale gli uni con gli altri. Gli affioramenti principali di queste litologie sono presenti presso un'incisione a Sud della C.na Prato Ronco, dove è evidente l'eteropia tra i due orizzonti. Dal punto di vista petrografico i clasti presentano caratteristiche simili ai "depositi alluvionali attuali".

Tuttavia sono stati riconosciuti in percentuale maggiore clasti provenienti dallo smantellamento dei depositi fluvio-glaciali precedenti, di natura principalmente sedimentaria.

I suoli presenti presso questa unità sono in genere poco profondi a tessitura mediamente grossolana e non molto evoluti. Ricoprono diffusamente i depositi di terrazzo.

Presso le risorgive sono presenti depositi fini, prevalentemente organici e torbosi, generati dalla presenza di acquitrini che favoriscono l'accumulo delle particelle più fini portate in sospensione dalle venute idriche e, conseguentemente, il ristagno di sostanza organica.

Depositi di terrazzo alluvionale antico

Sono i depositi presenti presso il terrazzo di quota intermedia (compresa tra circa 87 e 97 m s.l.m.), messi in posto in età precedente a quelli del terrazzo appena descritto. Si tratta di depositi aventi caratteristiche molto simili ai precedenti: la litologia principale risulta essere costituita principalmente da ghiaia e sabbia ciottolosa; talvolta sono stati riconosciuti orizzonti debolmente cementati, con matrice fine limosa. Sono presenti anche, in alternanza con i precedenti, alcuni orizzonti più fini costituiti da sabbia limosa e rara ghiaia, spesso contenente una notevole frazione organica.

Gli affioramenti di questi depositi sono visibili presso l'orlo del terrazzo, ad Est delle caschine Cerina di Mezzo e Cerina di Sotto. Presso questi affioramenti sono chiaramente visibili le alternanze di facies dovute a maggiore (granulometria più grossolana) o minore (granulometria fine con depositi organici) energia fluviale, che ha deposto di volta in volta sedimenti di tipo differente, formando ampie lenti che si sovrappongono le une sulle altre. I suoli sono da sottili a moderatamente profondi, a tessitura moderatamente grossolana, non molto evoluti.

Anche in questo caso, presso le risorgive, sono presenti depositi torbosi, neri; possiedono localmente anche spessore dell'ordine del metro.

Depositi fluvioglaciali (Livello Fondamentale della Pianura)

Questi depositi costituiscono il cosiddetto livello fondamentale della pianura e si estendono, nell'area orientale del territorio comunale, fino all'orlo di terrazzo a ridosso del centro abitato di Morimondo. La quota media, in ambito comunale, è compresa tra 105 e 115 m s.l.m. Litologicamente sono costituiti da sabbie a volte ghiaiose, con ridotta percentuale di materiale fine, prevalentemente limoso; sono alternate a livelli più fini, di sabbia e limo, in alcuni casi argilloso. Sono altresì presenti lenti ghiaiose poligeniche subordinate.

Gli affioramenti sono molto scarsi e limitati alle incisioni presenti presso l'orlo del terrazzo, in corrispondenza della Roggia Schiaffinata e del Fosson Morto. I suoli sono moderatamente profondi, con tessitura da media a moderatamente grossolana.

Il livello fondamentale della pianura raggruppa, infatti, le varie morfologie riconoscibili entro la piana fluvioglaciale pedalpina, formata per colmamento fluviale nella fase finale della glaciazione würmiana, all'esterno della cerchia morenica, mediante l'accumulo del carico grossolano trasportato dai corsi d'acqua alimentati dalle acque di fusione dei ghiacciai.

Il sistema si divide in sottosistemi, in funzione della granulometria dei sedimenti e dell'idrologia superficiale e profonda; nel territorio comunale in esame sono distinguibili due sottosistemi:

- Sottosistema della media pianura idromorfa: è la zona della piana fluvioglaciale in cui, per la diminuzione di permeabilità conseguente alla riduzione granulometrica dei sedimenti, la falda freatica emerge in superficie o permane a scarsa profondità. Questo sottosistema, coincidente con la fascia delle risorgive, è delimitato a nord dalla linea ideale che congiunge i primi fontanili e termina a sud ove questi si organizzano in corsi d'acqua veri e propri. Si tratta di superfici relativamente stabili meglio conservate, a morfologia subpianeggiante od ondulata, parzialmente interessate dalle principali linee di flusso e di raccolta delle acque di risorgiva. È presente presso l'area Nord-Est del Comune.
- Sottosistema della bassa pianura sabbiosa: coincide con la piana alluvionale dei torrenti e fiumi würmiani, i quali vi depositavano sabbie, limi e in minor misura argille. È il tratto della bassa pianura in cui le acque di risorgiva si organizzano in un reticolo a meandri, sempre più inciso nei terreni circostanti. La morfologia diviene più varia e movimentata per la presenza di aree in rilievo oppure variamente incise e ribassate. La morfologia e l'idrologia superficiale condizionano la profondità della falda freatica, prossima alla superficie nelle bassure (orizzonti profondi nel suolo), più profonda in

prossimità delle valli fluviali che esercitano una funzione di richiamo. È presente presso l'area Sud-Est del Comune ed il centro abitato di Morimondo.

L'area in esame, dal punto di vista geomorfologico, appare relativamente pianeggiante ed è possibile riconoscere due elementi principali: il Livello Fondamentale della Pianura Padana, di età Pleistocenica, ed i terrazzi che formano la sponda idrografica sinistra della valle dove scorre il F. Ticino (Figura 3.1).

Il Livello Fondamentale della Pianura è stato inciso e rimodellato dall'attività erosiva esercitata dai corsi d'acqua, in particolare, dal F. Ticino, che ha determinato l'instaurarsi di due Terrazzi Alluvionali separati da altrettante scarpate.

La prima scarpata, che divide il Livello Fondamentale della Pianura (quote variabili tra 105 e 115 m s.l.m) dal terrazzo intermedio (quote variabili tra 87 e 97 m s.l.m), presenta altezze medie di circa 12 m con pendenze che variano tra circa 5° e 15°.

La seconda scarpata divide il terrazzo intermedio dal terrazzo basso (quote variabili tra 82 e 87 m s.l.m) e presenta altezze medie di circa 8-9 m con pendenze che variano tra circa 5° e 15°.

Entrambe hanno un andamento grossomodo diretto Nord-Sud ed attraversano per intero il territorio comunale.

L'assetto geomorfologico è condizionato da una serie di processi, tra cui i principali, sono riferibili a:

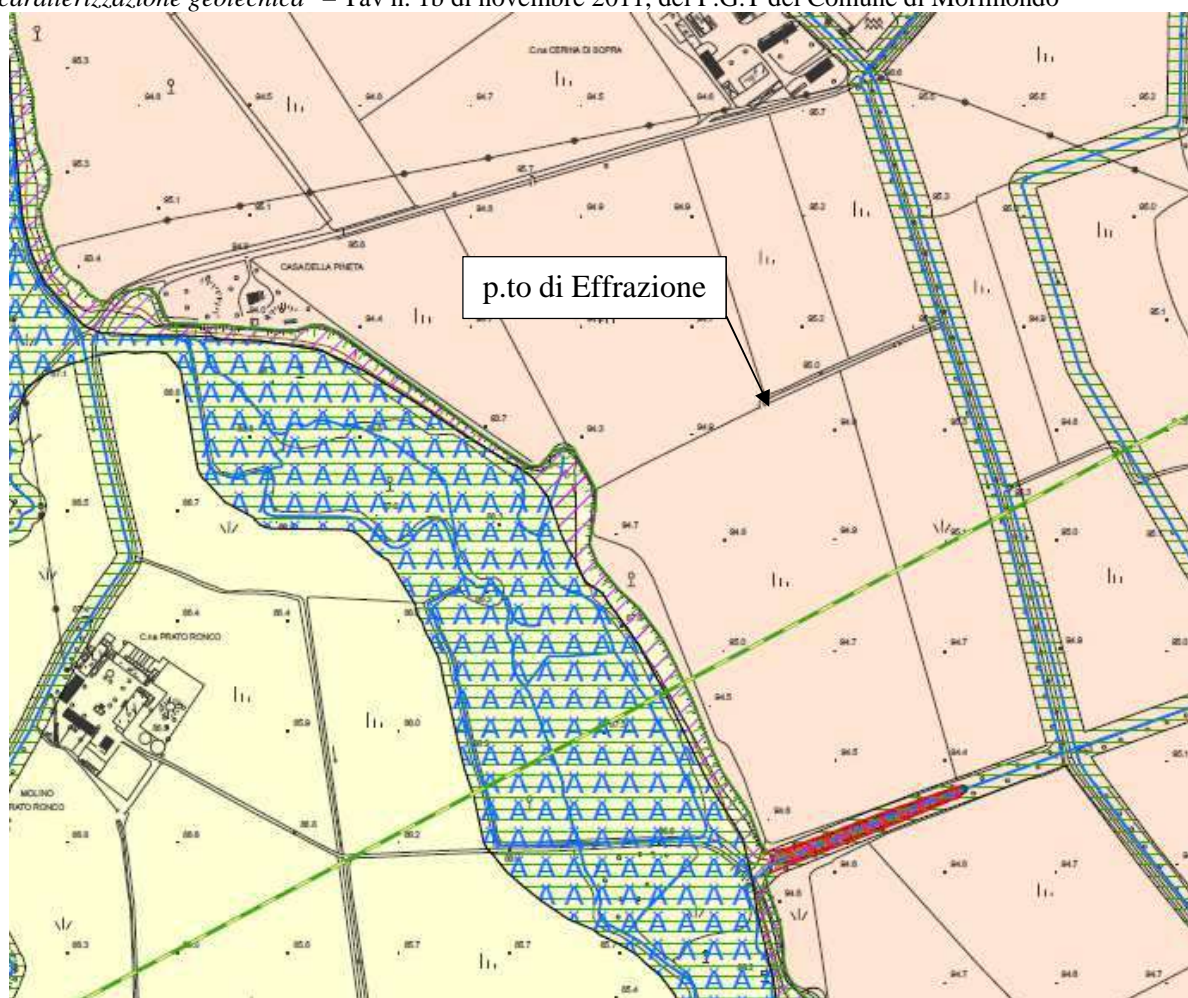
- Forme e processi poligenici, come orli di terrazzo, orli di scarpata e aree a pendenza elevata (30°);
- Forme e processi legati all'azione delle acque, come zone ad emergenza idrica diffusa, ruscellamento superficiale, aree frequentemente inondabili o potenzialmente interessabili da fenomeni di esondazione fluviale;
- Forme e processi legati alla gravità come creep e soliflusso;
- Forme antropiche come tombinature, opere di difesa spondale e cave.

3.2. ASPETTI DI DETTAGLIO

Dalla *“Carta litologica e della dinamica geomorfologica con elementi di prima caratterizzazione geotecnica”* del PGT del comune di Morimondo (Tavola I, Figura 3.2) si evince che nell'area oggetto di studio sono presenti *“Depositi di terrazzo alluvionale antico”* (sub-affioranti) e *“Depositi di terrazzo alluvionale recente”* (affioranti).

Nel dettaglio, le alluvioni antiche (superfici terrazzate sospese) sono depositi messi in posto successivamente al Livello Fondamentale della Pianura, a quota inferiore ad esso, costituiti generalmente da ghiaie e sabbie ciottolose passanti a ghiaie sabbiose. Possono inoltre essere intercalati dei livelli sabbioso-limosi riconducibili ad eventi di esondazione. Le alluvioni recenti (piane alluvionali inondabili), invece, sono depositi costituiti da ghiaie e sabbie con lenti argillose e limose più o meno estese.

Figura 3.2: stralcio della “Carta litologica e della dinamica geomorfologica con elementi di prima caratterizzazione geotecnica” – Tav n. 1b di novembre 2011, del P.G.T del Comune di Morimondo



LEGENDA

Unità litologico-deposizionali

- Depositi alluvionali attuali
- Depositi di terrazzo alluvionale recente
- Depositi di terrazzo alluvionale antico
- Depositi fluvioglaciali (livello fondamentale della pianura)

a) affiorante, s) subaffiorante

Forme e processi poligenici

- Orli di scarpata
- Orli di terrazzo
- Aree ad acclività media (10° - 30°)
- Aree ad acclività elevata ($>30^{\circ}$)

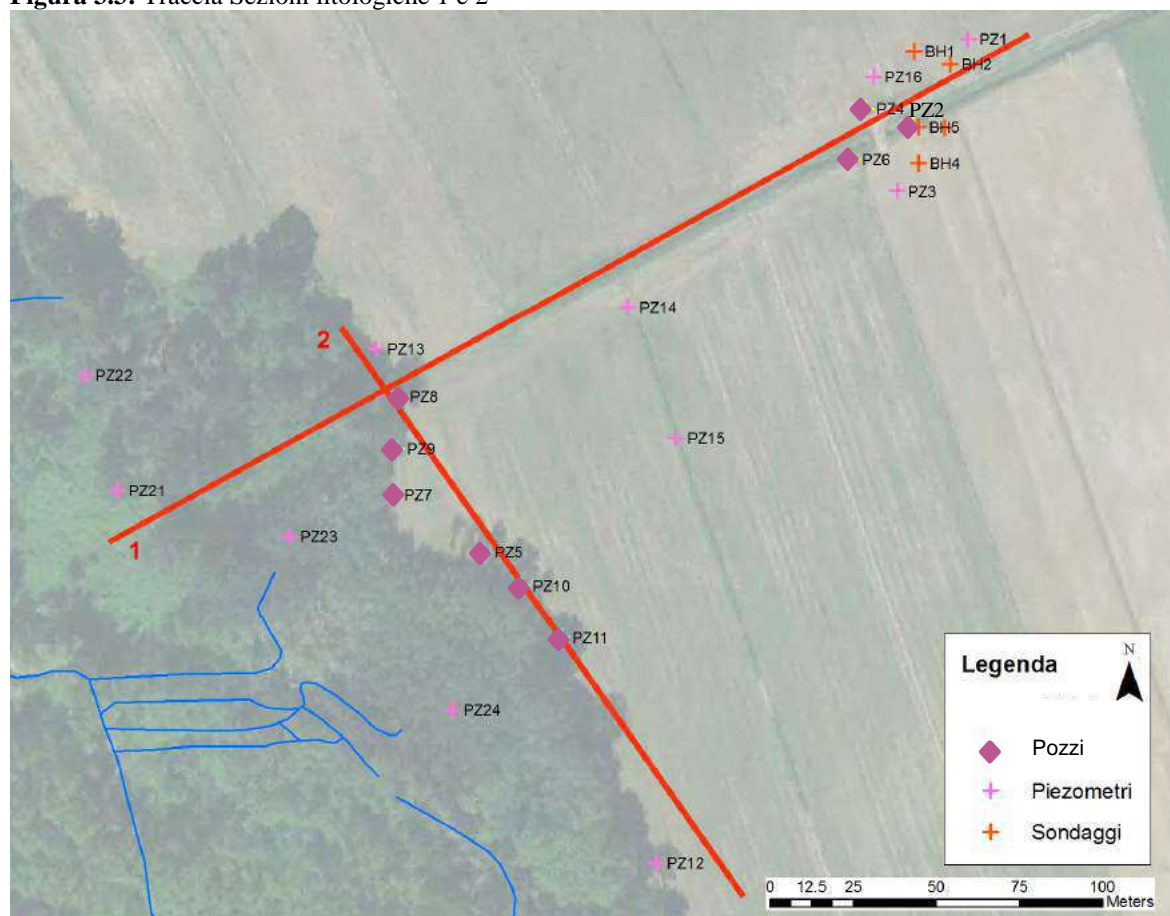
Forme e processi legati all'azione delle acque

- Aree palustri/ di ristagno
- Aree di ruscellamento diffuso
- Aree potenzialmente interessabili da fenomeni di dinamica fluviale a pericolosità bassa
- Aree frequentemente inondabili o potenzialmente interessabili da fenomeni di esondazione fluviale

Al fine di ricostruire con maggior dettaglio l'assetto litologico dell'area d'interesse, indagata nel periodo di ottobre 2015-giugno 2016 con la realizzazione di n. 30 sondaggi geognostici (di cui n. 25 attrezzati a piezometro/pozzo), sono state elaborate n. 2 sezioni litologiche, una orientata nord-ovest sud-est (Sezione n.1) e una orientata nord-sud (Sezione n. 2), così come riportato in nelle Tavole II e III.

Come evidenziato in Figura 3.3, la Sezione 1 si estende dal piezometro PZ1 a nord-est al PZ21 a sud-ovest, per una lunghezza complessiva di circa 300 m. È stata elaborata utilizzando le stratigrafie di n. 10 sondaggi, aventi profondità massima pari a 13 m da p.c.. Data la profondità dei sondaggi, nessuno di essi ha intercettato la base dell'acquifero A, che in quest'area si pone a circa 40 m di profondità.

Figura 3.3: Traccia Sezioni litologiche 1 e 2



Il piano campagna lungo la sezione risulta sub pianeggiante dal piezometro PZ1 al PZ8, con quote poco inferiori a 94,5 m s.l.m.; procedendo oltre il PZ8, la quota del piano campagna (p.c.) tende a diminuire fino a circa 87 m s.l.m. (PZ21).

A partire dal piano campagna, si identifica la presenza di ghiaia sabbiosa fino a circa 7 m di profondità da p.c., sostituita più in profondità da sabbia medio-fine ghiaiosa debolmente limosa. Sono presenti alcune lenti di materiale più fine, costituite da sabbia limosa e limo sabbioso, che non risultano continue spazialmente.

Lungo la Sezione 1, tra i piezometri PZ1 e PZ23, affiorano i depositi del terrazzo alluvionale antico, identificati nel PGT del comune di Morimondo, a quote comprese tra 87 e 97 m s.l.m. e composti principalmente da ghiaia e ciottoli con sabbia; mentre spostandosi verso sud-ovest rispetto al PZ23, affiorano i depositi del terrazzo alluvionale recente, identificati nel PGT del comune di Morimondo, a quote comprese tra 82 e 87 m s.l.m. e composti principalmente da ghiaia con sabbia.

La Sezione 2 si estende dal piezometro PZ13 a nord-ovest al PZ12 a sud-est, per una lunghezza complessiva di circa 180 m. Tale sezione è stata elaborata utilizzando le stratigrafie di n. 8 sondaggi, aventi profondità massima pari a 13 m da p.c.. Come per la Sezione 1, nessun

piezometro ha intercettato la base dell'acquifero A.

Il piano campagna lungo la Sezione 2 risulta sub pianeggiante, con quote comprese tra 94,1 e 94,4 m s.l.m.. Tale sezione è disposta in direzione parallela all'orlo del terrazzo e risultano affioranti i depositi del terrazzo alluvionale antico.

A partire dal piano campagna, si identifica la presenza di ghiaia sabbiosa con uno spessore di circa 6 m a nord che aumenta fino a 10 m circa spostandosi verso sud. In corrispondenza del piezometro PZ9, lo spessore del livello di ghiaia si riduce a 4 m circa.

Al di sotto della ghiaia sabbiosa è presente sabbia medio-fine ghiaiosa debolmente limosa, con intercalazioni di alcune lenti di materiale fine che non risultano continue spazialmente.

L'area in esame, dal punto di vista geomorfologico, ricade in corrispondenza di uno dei terrazzi di origine fluvio-glaciale che formano la sponda idrografica sinistra della valle dove scorre il Fiume Ticino, denominato terrazzo "intermedio".

Quest'ultimo presenta quote variabili tra 87 e 97 m s.l.m. e va a raccordarsi al terrazzo sottostante denominato "basso" (con quote variabili tra 82 e 87 m s.l.m.) con una scarpata di altezza media di circa 8-9 m e pendenza variabile tra circa 5° e 15°.

Nel dettaglio, a scala locale, sono state individuate le seguenti aree d'interesse (Tavola II):

- *Area di effrazione*: area posta in corrispondenza dell'oleodotto dove è avvenuta la fuoriuscita degli idrocarburi, posta ad una quota media di 94,21 m s.l.m (terrazzo "intermedio");
- *Area a monte delle risorgive*: a valle dell'effrazione, in corrispondenza del bordo del terrazzo "intermedio" (al limite dei campi con il bosco), posta sempre ad una quota media di 94,21 m s.l.m.;
- *Area risorgive*: in corrispondenza della scarpata del terrazzo "intermedio" (area boschiva);
- *Area esterna*: posta in corrispondenza del terrazzo "basso", con una quota media di circa 86,21 m s.l.m.

La Figura 4.1 (stralcio della "*Carta litologica e della dinamica geomorfologica con elementi di prima caratterizzazione geotecnica*" – Tav n. 1b di novembre 2011, del P.G.T del Comune di Morimondo) riporta l'orlo del terrazzo "intermedio" e l'area di acclività.

Al fine di avere una base cartografica di dettaglio dell'area boschiva (Area Risorgive), a febbraio 2016, Eni ha incaricato la Società Hera Ambiente di eseguire una battitura topografica dell'area d'interesse (area cantiere) e n.7 sezioni topografiche (Sezioni A÷G), riportate in Allegato VII, a cui si rimanda per i dettagli.

recente interpretazione della geologia del sottosuolo a livello regionale (Regione Lombardia, Eni Divisione Agip, Geologia degli acquiferi Padani della Regione Lombardia, 2002), è costituita dalle alluvioni più recenti, ed è caratterizzata dalla presenza di falda freatica; la seconda, Gruppo Acquifero B, più in profondità, è costituita da sedimenti più antichi con presenza di conglomerati e arenarie basali (Ceppo auct.), e con falda a volte semiconfinata. Le due parti sono separate localmente da depositi semipermeabili, che possono dare origine a differenze di livello piezometrico. La base della prima litozona, nell'area in esame, si dispone tra circa m -10 e m -40 s.l.m., degradando gradualmente verso SudEst. La produttività dell'acquifero raggiunge valori significativi, compresi fra 10 e 30 l/s e conducibilità idraulica di 10-3 m/s.

Litozona sabbioso-argillosa

Tale unità, in cui è contenuto l'acquifero in pressione (II acquifero), corrispondente all'unità stratigrafica villafranchiana, è suddivisibile in Gruppo Acquifero C al tetto (Pleistocene medio-inferiore) e Gruppo Acquifero D alla base (Pleistocene inferiore); è caratterizzata da orizzonti argillosi prevalenti con intercalazioni sabbiose e ghiaiose, sedimentatisi in ambiente continentale, e a volte torbe, di ambiente palustre. Nella parte inferiore, al passaggio con l'unità sottostante argillosa, compaiono fossili che indicano un ambiente di sedimentazione marino. La base della seconda unità non è stata individuata dalle perforazioni effettuate nella zona. Le lenti sabbioso-ghiaiose sono localmente comunicanti fra loro, ma la produttività è inferiore a quella dell'acquifero superficiale per la ridotta permeabilità degli orizzonti e per la scarsa alimentazione. Gli acquiferi più importanti si trovano in corrispondenza dei sedimenti sabbiosi-ghiaiosi di spiaggia e secondariamente sabbiosi di ambiente deltizio.

Al di sotto della seconda litozona è presente l'unità argillosa, non individuata dalle perforazioni effettuate nella zona ma ipotizzabile da correlazioni con aree limitrofe; all'interno di questa litozona sono presenti rari e poco sviluppati orizzonti sabbiosi, contenenti acque con caratteristiche chimiche scadenti e di scarsa portata che non vengono sfruttati a scopo idropotabile (III acquifero).

Si riporta di seguito la sezione realizzata da Eni durante una campagna di indagine degli acquiferi padani (Figura 4.1) e la sezione idrogeologica del P.G.T. del Comune di Morimondo (Figura 4.2), nella quali è possibile individuare i gruppi acquiferi precedentemente descritti: Gruppo Acquifero A e B (1° acquifero) e Gruppo Acquifero C e D (2° acquifero).

FIGURA 4.1: SEZIONE IDROSTRATIGRAFICA PASSANTE PER IL TERRITORIO COMUNALE DI MORIMONDO (TRATTA DA: REGIONE LOMBARDIA, ENI DIVISIONE AGIP, 2002: GEOLOGIA DEGLI ACQUIFERI PADANI DELLA REGIONE LOMBARDIA, A CURA DI C. CARCANO E A. PICCIN. S.EL.CA., FIRENZE – MODIFICATA)

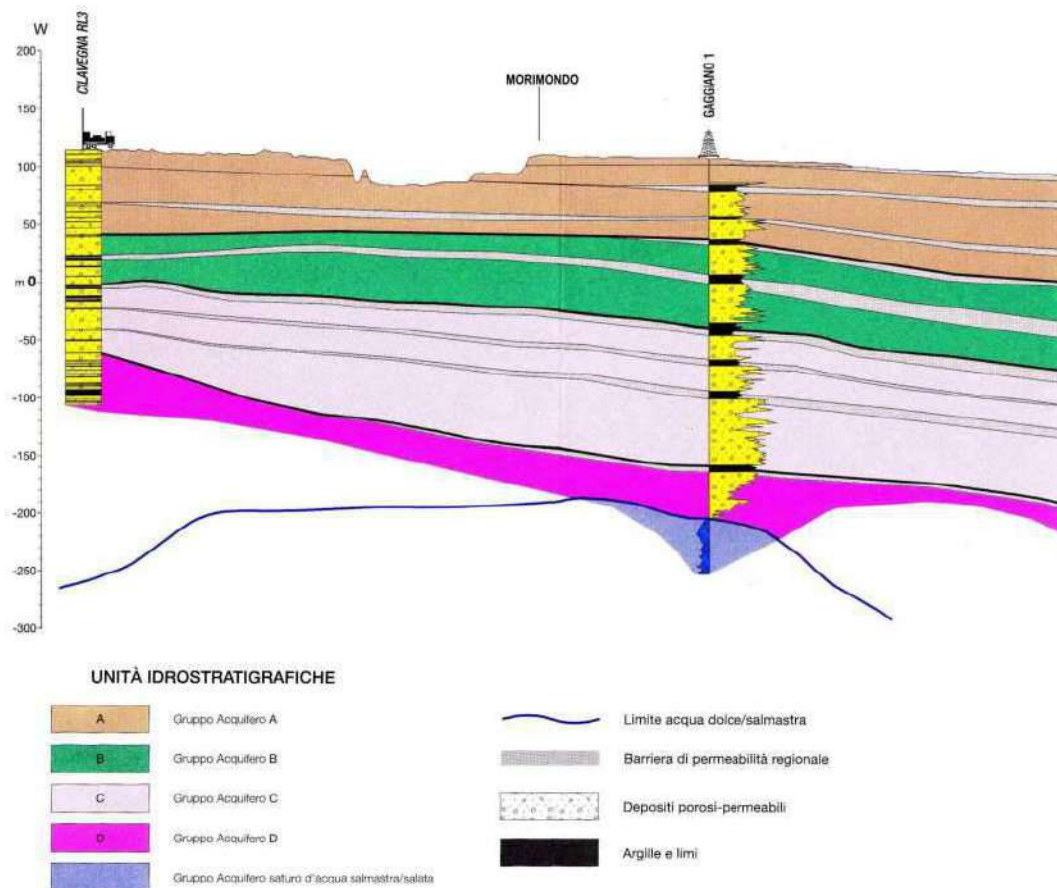
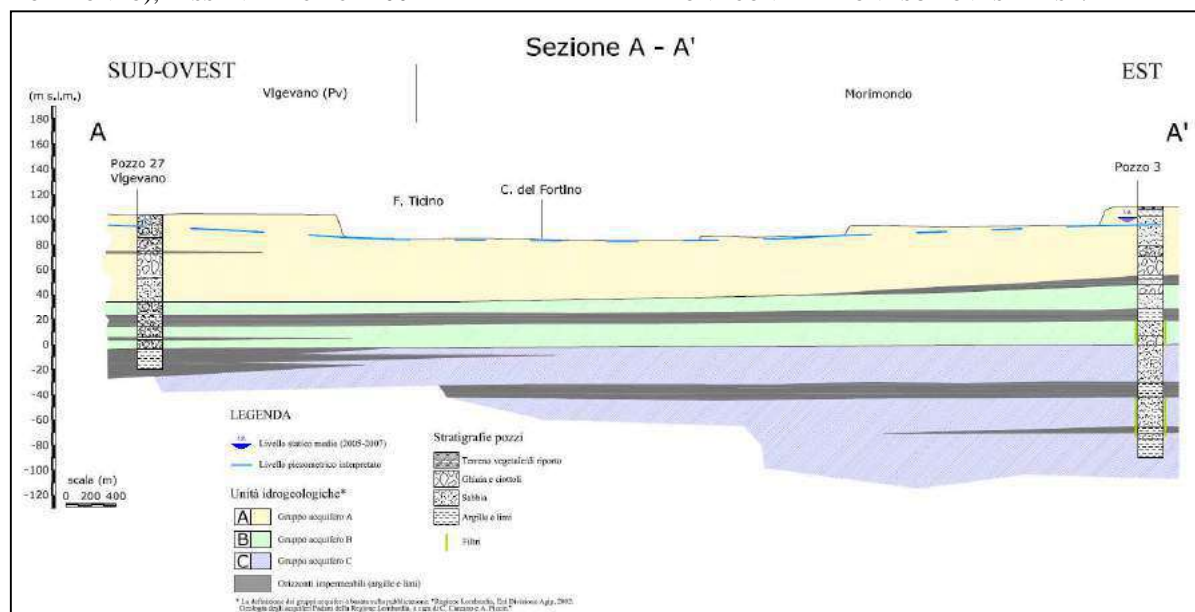


FIGURA 4.2 – STRALCIO DELLA SEZIONE A-A' (TAVOLA 3 – SEZIONI IDROGEOLOGICHE DEL PGT DEL COMUNE DI MORIMONDO), PASSANTE A CIRCA 200 M DALL' AREA DI EFFRAZIONE CON DIREZIONE SUD OVEST – EST.



Nel sottosuolo dell'area si distinguono sostanzialmente due unità litologiche, ulteriormente suddivisibili al loro interno per le caratteristiche idrogeologiche, contenenti acquiferi sfruttati ad uso idropotabile: la prima unità, a partire dalla superficie, è l'unità ghiaioso-sabbiosa a cui segue più in profondità l'unità sabbioso-argillosa.

Nella prima unità litologica, costituita oltre che da orizzonti sabbiosi e ghiaiosi, anche da intercalazioni argillose e conglomeratiche di spessore variabile, è contenuto l'acquifero superficiale (1° acquifero), molto produttivo in quanto alimentato dall'infiltrazione delle acque meteoriche e delle acque superficiali. E' costituita da sedimenti depositatisi in ambienti fluviali di alta energia instauratesi durante le fasi glaciali del Quaternario (Pleistocene superiore e medio).

Sulla base dei bibliografici disponibili¹, la base dell'acquifero A è posta a circa 40 m di profondità.

L'andamento della superficie freatica nella parte sud-occidentale della provincia, quella di interesse per il presente studio, risulta essere fortemente influenzato anche dall'azione drenante del fiume Ticino. Infatti, presso il Comune di Morimondo la falda piega leggermente in direzione di tale fiume, assumendo pertanto direzione da Nord-Est verso Sud-Ovest.

La morfologia della superficie piezometrica è documentata su scala provinciale, dalle carte elaborate dal Servizio Informativo Falda della Città Metropolitana di Milano. L'ultima campagna di monitoraggio disponibile risale al settembre 2013.

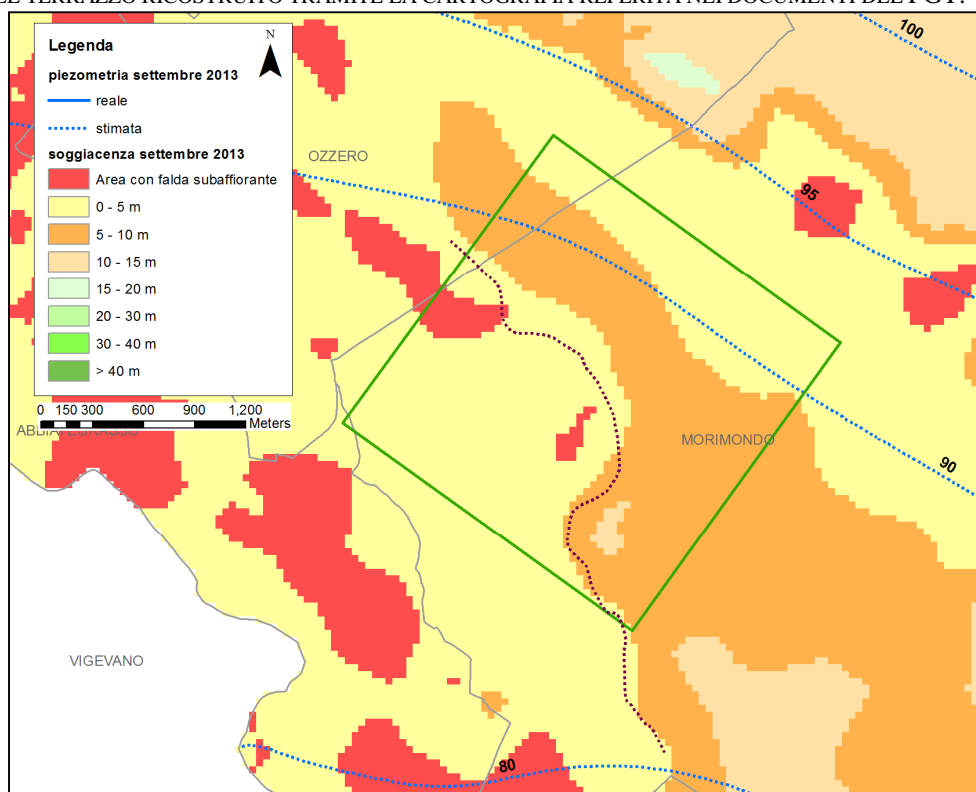
L'andamento della piezometria della prima falda evidenzia una direzione di deflusso

¹ Provincia di Milano – Assessorato all'Ambiente e Politecnico di Milano D.S.T.M. Geologia Applicata, "Le risorse idriche sotterranee nella Provincia di Milano, Vol I: Lineamenti idrogeologici", Milano, dicembre 1995

prevalentemente NE-SO, come visibile in Figura 4.3, con quote variabili fra i 90 m s.l.m. e gli 85 m s.l.m. circa.

La quota della prima falda rilevata a marzo 2014 (dato disponibile più recente), in un piezometro distante circa 2 km dall'area dell'effrazione, ed ubicato nei pressi della Cascina Coronate (codice SIF 0151500013²) risulta essere pari a 91,8 m s.l.m., con una soggiacenza pari a 11,64 m da piano campagna.

FIGURA 4.3 – ANDAMENTO DELLA PIEZOMETRIA E SOGGIACENZA DELLA FALDA A SCALA PROVINCIALE (SIA, SETTEMBRE 2013). IN VERDE È RAPPRESENTATA L'AREA DI STUDIO, MENTRE IN MARRONE (LINEA TRATTEGGIATA) L'ORLO DEL TERRAZZO RICOSTRUITO TRAMITE LA CARTOGRAFIA REPERITA NEI DOCUMENTI DEL PGT.



La soggiacenza all'interno dell'area d'interesse varia notevolmente, come visibile in Figura 3.4: in corrispondenza dei depositi più antichi (ad est) i valori risultano più alti, fino a 10 m da p.c., mentre all'interno dei depositi più recenti (ad ovest), in alcune aree la falda risulta sub affiorante.

La soggiacenza della prima falda presso il terrazzo a quota maggiore, dove è ubicato il centro abitato di Morimondo, è di circa 5-10 m da p.c..

La falda affiora, invece, presso la base delle scarpate dei terrazzi a quota più bassa, dove genera

² Banca dati acque sotterranee SIA Provincia di Milano

il fenomeno delle risorgive (emergenza diffusa della falda) drenate da canali di bonifica.

Presso questi terrazzi la falda ha soggiacenza che varia da un minimo di 0 m ad un massimo di 5-7 m da p.c., in prossimità dell'orlo del terrazzo.

Dal punto di vista idrografico l'area comunale è delimitata ad Ovest dall'asta fluviale del F. Ticino, mentre una fitta rete di cavi, rogge e fossi, anche di origine antropica, interessa tutto il territorio. Tra questi, alcuni fanno parte del reticolo principale: la roggia Rabica, la roggia Ticinello, la Roggia Rile, il Naviglio di Bereguardo ed il Fosson Morto.

4.2. ASPETTI DI DETTAGLIO

L'area in esame è caratterizzata da un acquifero freatico impostato in "sabbie ghiaiose, localmente limose" (depositi fluvio-glaciali, con una permeabilità pari a $10^{-3} \div 10^{-4}$ m/sec), con una direzione di flusso prevalente orientata da Nord Est verso Sud Ovest.

La morfologia del sito, caratterizzata dalla presenza di un terrazzo fluvio-glaciale con un dislivello di quota di circa 8 metri, condiziona la soggiacenza della falda e fa sì che:

- in *Area effrazione e Monte risorgive*, in corrispondenza del terrazzo "intermedio", la soggiacenza media si attesta a circa 5 m da p.c. in area Effrazione e circa 6 da p.c. in area a monte delle risorgive;
- in *Area risorgive*, in corrispondenza della scarpata del terrazzo "intermedio", la falda tende ad affiorare generando risorgive e/o ristagni d'acqua e nei punti di monitoraggio eseguiti (piezometri PZ21-PZ22 e PZ24) la falda viene intercettata ad una profondità media di 0,60 m da p.c., in PZ21 e PZ22, di 2,89 m da p.c. in PZ23 e di 4,23 m da p.c. in PZ24;
- in *Area esterna*, in corrispondenza del terrazzo "basso" (alla base del terrazzo "intermedio"), la falda viene intercettata ad una profondità media di circa 0,72 m da p.c..

In Allegato I si riportano i rilievi freaticometrici eseguiti in sito (in corrispondenza dei p.ti di monitoraggio presenti in sito - pozzi/piezometri), nel periodo Ottobre 2015-Gennaio 2017.

Al fine di ottenere una rappresentazione grafica della piezometria locale sono stati elaborati, mediante software di interpolazione (Surfer), i rilievi freaticometrici di Luglio 2016 e Gennaio 2017 (carta delle isofreatiche o piezometrica) (Tavola IV).

Nell'area di indagine l'andamento della piezometria ricalca quello provinciale, con una direzione principale di deflusso NE-SO.

Il gradiente idraulico della falda è mediamente pari a 0,6 % con un incremento dei valori fino al 3,4 % immediatamente a valle dell'orlo del terrazzo fra il PZ23 ed il PZ21.

Pertanto, riassumendo, l'acquifero oggetto di studio ha le seguenti caratteristiche:

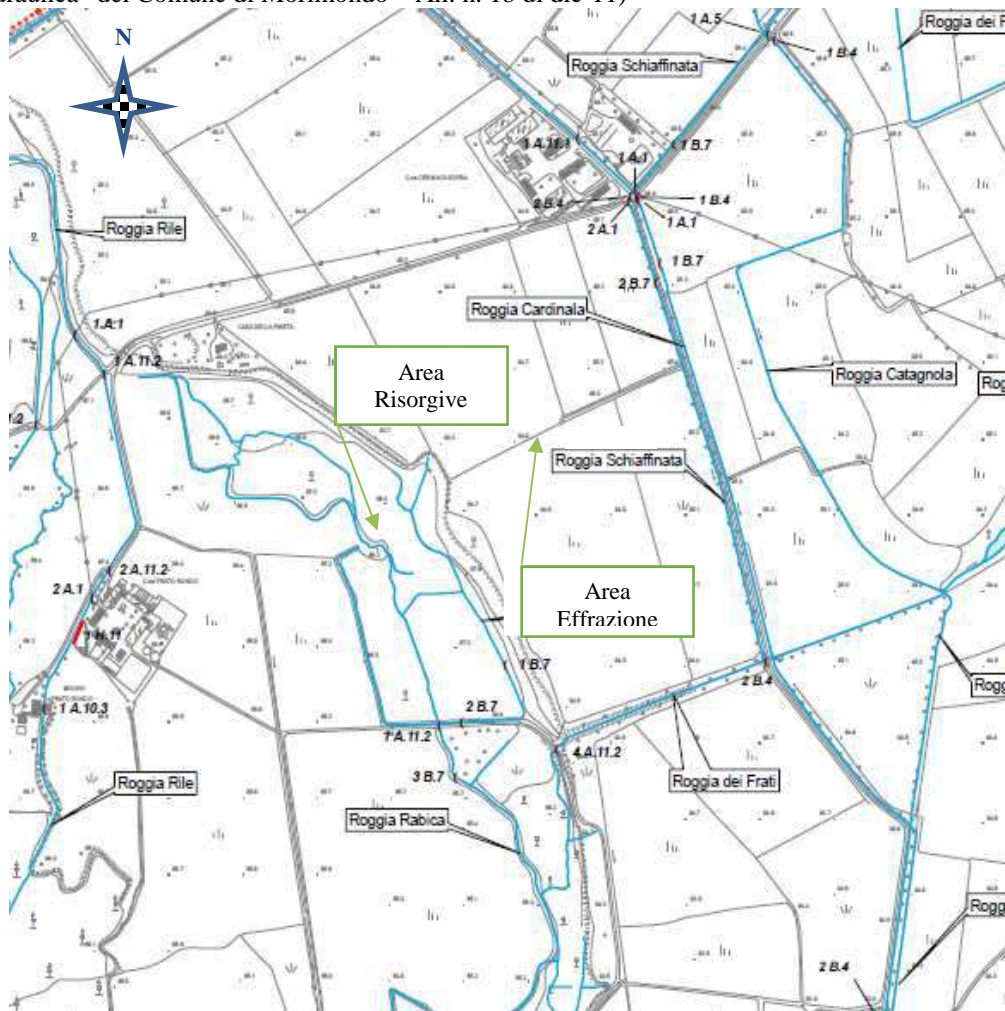
- è impostato in “*sabbia ghiaiosa*”, conducibilità idraulica dell’acquifero è stimata intorno a $10^{-3} \div 10^{-4}$ m/s (da fonti bibliografiche);
- il livello della falda varia da circa 4 a 6 m da p.c. in area effrazione, da circa 5-7 m da p.c. a monte delle risorgive, da circa p.c. a 4,7 m da p.c. in zona risorgive e da p.c. m a 1,28 m da b.p a valle della Roggia Rabica (Area esterna)
- la direzione di flusso va da NE verso SO;
- il gradiente idraulico variabile da 0,6 a 3,4 %.

Dal punto di vista idrografico nell’area d’interesse vi è una fitta rete di cavi, rogge e fossi, anche di origine antropica.

Dalla “*Carta dei canoni di polizia idraulica*” del Comune di Morimondo (Figura 4.4) si evince che nello stretto intorno dell’area oggetto d’indagine vi sono le seguenti Rogge:

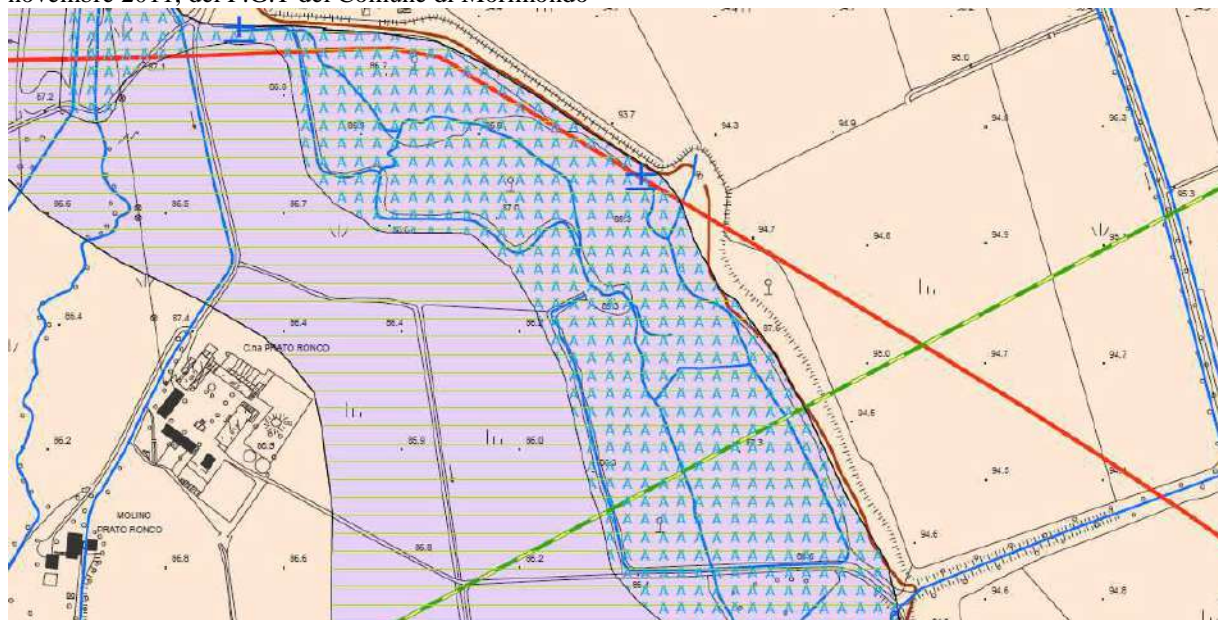
- Roggia Schiaffinata (poste a Nord-Est, a monte idrogologico, rispetto all’area di effrazione);
- Roggia dei Frati (posta a Sud-Est dell’area di effrazione);
- Roggia Rabica (poste a Sud-Ovest, a valle idrogologico, dell’area di effrazione).

Figura 4.4: Rete di cavi, rogge e fossi nell'intorno dell'evento di effrazione (stralcio della "Carta dei canoni di polizia idraulica" del Comune di Morimondo – All. n. 1b di dic'11)








La “*Carta idrogeologica della vulnerabilità con elementi di idrologia*” del PGT del comune di Morimondo (Figura 4.5) riporta all'interno dell'area denominata “*Area Risorgive*” (posta a circa 200 mt a Sud-Ovest dall'area Effrazione) linee preferenziali di ruscellamento oltre alla presenza di risorgive e fontanili abbandonati.

Figura 4.5: stralcio della “Carta idrogeologica della vulnerabilità con elementi di idrologia” – Tav. n. 2b di novembre 2011, del P.G.T del Comune di Morimondo



LEGENDA

-  Testa di fontanile
-  Risorgive e fontanili abbandonati
-  Linee isopiezometriche in m s.l.m.
(sett. 2010 - Fonte: Sistema Informativo Falda della Provincia di Milano)
-  Aree con emergenza idrica diffusa (risorgive)
-  Corso d'acqua

In corrispondenza dell'area d'interesse si è provveduto a verificare l'attuale stato dei corsi d'acqua/canali/ruscellamenti e risorgive d'interesse.

I sopralluoghi eseguiti in sito hanno consentito di cartografare e mettere in evidenza i ruscellamenti, le emergenze idriche, le aree di ristagno/paludose e i corsi d'acqua riportati/e nella Tavola II.

In particolare, nell'area oggetto di studio sono state individuate n. 5 risorgive di rilievo, denominate, per gli usi propri del presente studio, Sorgente N, Sorgente SN, Sorgente Media, Sorgente Alta, Sorgente 3A (in cui è visibile l'affioramento della falda acquifera) e un'area di ristagno d'acqua denominata “Lago Sig. Cattaneo”, oltre ai principali ruscellamenti che collegano tali punti alla Roggia Rabica (Tavola II - Allegato VI).

5. MISURA PORTATE ROGGIA RABICA E SORGENTI

Per la definizione del modello concettuale, propedeutico all'implementazione del modello di flusso eseguito per il dimensionamento definitivo del barrieramento idraulico in essere, da aprile 2016 vengono realizzate (dalla Ditta NCE), con cadenza quindicinale fino a giugno 2016 e poi mensile, misure delle portate in corrispondenza della Roggia Rabica (sezioni RAB1-RAB5) e delle principali sorgenti d'interesse (Sorgente N, Sorgente SN, Sorgente Media, Sorgente Alta, Sorgente 3A), di cui si riporta l'ubicazione nella Tavola II.

Per realizzare le misure di portata si è scelto di ricorrere ad uno strumento pratico ed efficace: il mulinello idrometrico (o correntometro).

Esso consente di misurare la velocità (V) dell'acqua in una sezione del canale grazie ad un'elica ad asse orizzontale che gira a velocità differente in funzione della corrente.

Tale elica è posta al fondo di un'asta graduata ed è collegata a un display sull'estremità opposta (Figura 5.1).

La velocità dell'acqua viene desunta dal numero dei giri che l'elica compie in un intervallo di tempo definito. Dopo aver ricavato l'ampiezza della sezione di flusso (A), si può calcolare la portata istantanea (Q) attraverso la formula:

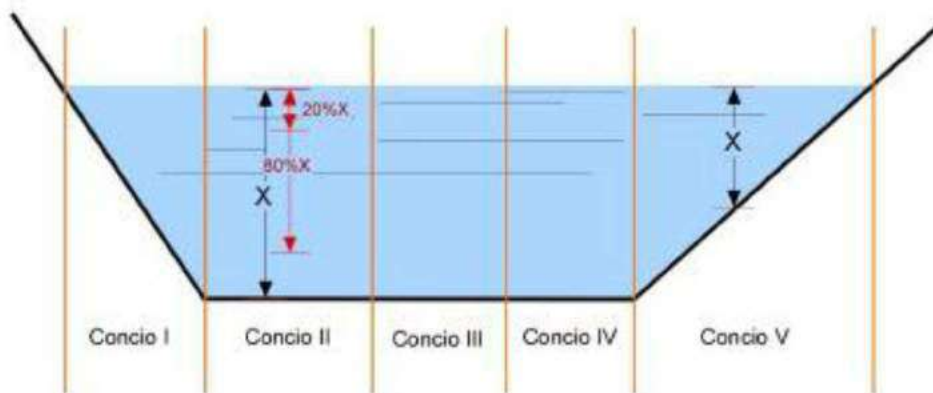
$$Q \text{ (mc/s)} = V * A$$

Figura 5.1. Correntometro (o mulinello) utilizzato, particolare del display e della testa.



I valori di velocità ricavati sono stati elaborati mediante il metodo dei conci. L'intera sezione esaminata, è stata pertanto suddivisa in sezioni verticali più piccole, definite CONCI (Figura 5.2).

Figura 5.2. Schema di una sezione di canale con indicati i concio e le profondità a cui effettuare le misure di velocità.



Per ciascun concio è stata quindi calcolata la sezione e, conoscendo la velocità media dell'acqua nel concio stesso, ricavata la portata.

Per ottenere risultati oggettivi si è fatto riferimento ad appositi standard ASTM, in particolare:

- ASTM D4409 - 95(2008) "Standard Test Method for Velocity Measurements of Water in Open Channels with Rotating Element Current Meters";
- ASTM D3858 - 95(2008) "Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water by Velocity-Area Method".

Per ogni punto oggetto di misura è stato effettuato un rilievo topografico, che ha permesso di ricostruire il profilo delle profondità del fondo di ogni sezione di misura, come riportato in Allegato VII.

In Allegato I si riportano le misure di portata di Aprile 2016-Gennaio 2017, a cui si rimanda per i dettagli, mentre di seguito si riportano i grafici con l'andamento delle portate misurate nel tempo (Grafico 5.1 e 5.2), da cui si evince un importante incremento di portata nel periodo estivo (luglio-agosto) causato dall'apporto dell'acqua d'irrigazione, ben evidente sia nelle sorgenti sia in roggia.

In particolare, risultano maggiormente influenzate dall'apporto idrico stagionale le sorgenti S3(A), Alta e Media e le sezioni di misura RAB3, RAB4 e RAB5.

Grafico 5.1: Trend portata c/o Roggia Rabica (Aprile'16-Gennaio'17)

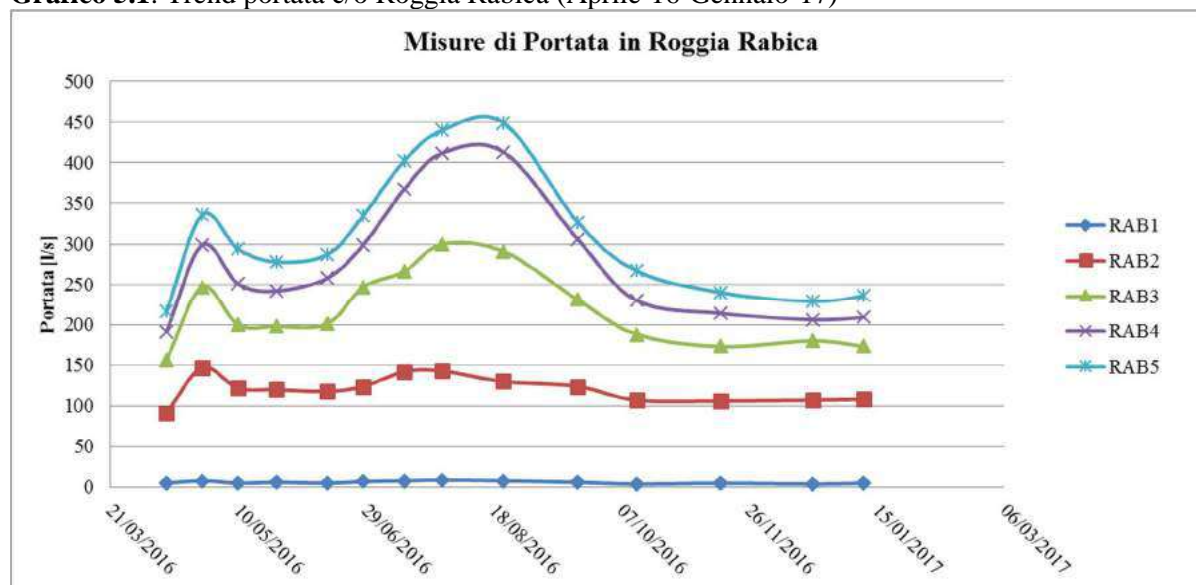
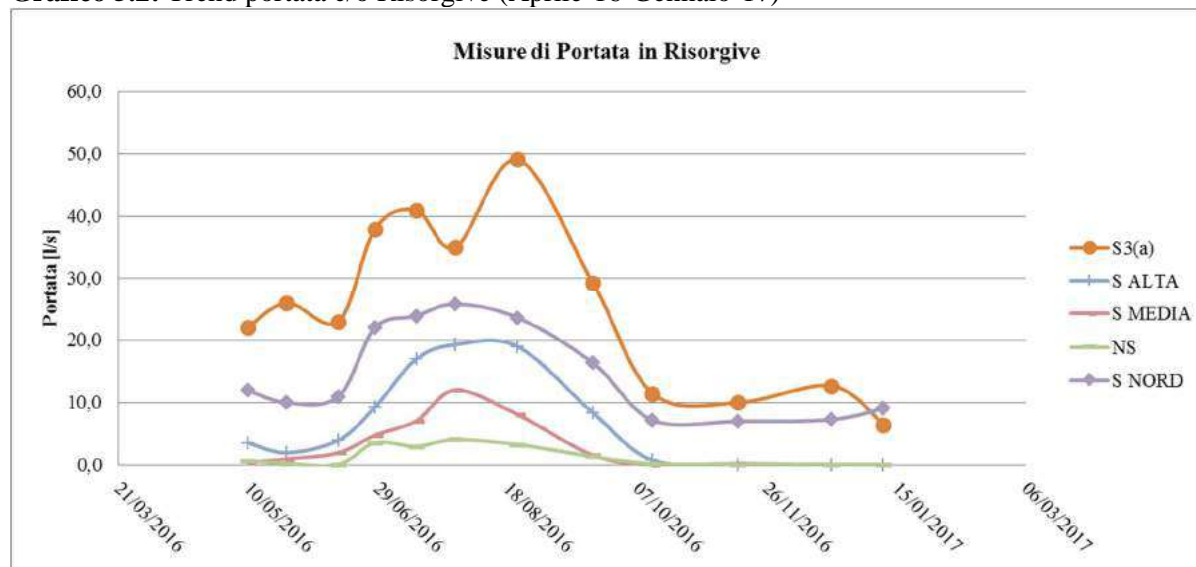
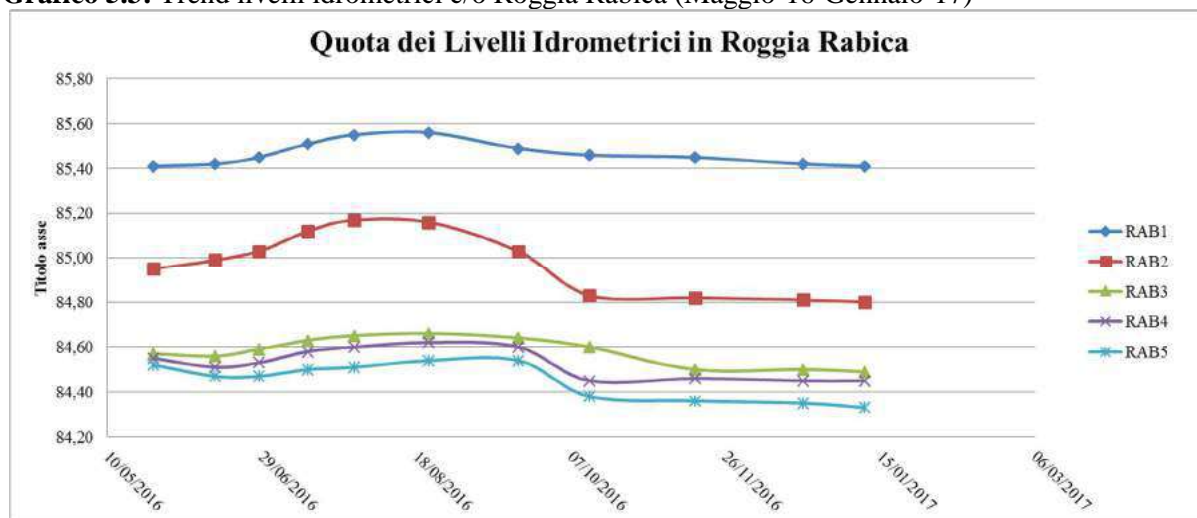


Grafico 5.2: Trend portata c/o Risorgive (Aprile'16-Gennaio'17)



Dal mese di Maggio 2016, inoltre, sono state effettuate n. 11 campagne di misura dei battenti idrici della Roggia Rabica mediante l'installazione di apposite aste graduate, in corrispondenza delle medesime sezioni in cui sono contestualmente realizzate le misure di portata, i cui dati sono riportati in Allegato I e Grafico 5.3.

Grafico 5.3: Trend livelli idrometrici c/o Roggia Rabica (Maggio'16-Gennaio'17)



Anche il trend dei livelli idrometrici evidenzia, sempre nel periodo estivo, un aumento della quantità di acqua in roggia (innalzamento della quota della tavola d'acqua).

6. PROVE IDRAULICHE

Per la caratterizzazione idrodinamica dell'acquifero oggetto di studio, da Marzo ad Agosto 2016, in corrispondenza dell'*Area Effrazione* e dell'*Area a Monte delle Risorgive*, sono state realizzate:

- prove a gradini di portata al fine di determinare la capacità produttiva e l'efficienza idraulica del pozzo in pompaggio tramite l'individuazione della portata critica e della portata ottimale di esercizio nonché una valutazione preliminare degli effetti dell'emungimento sull'acquifero stesso (raggio di influenza);
- prove di pompaggio a lunga durata a portata costante e slug test per definire la caratterizzazione idrodinamica dell'acquifero d'interesse (definizione dei parametri idrodinamici).

Nello specifico, sono state eseguite:

- n. 7 prove di portata in falda, di cui:
 - n. 2 prove a portata costante con n. 4 incrementi (o gradini) di portata di breve durata (1 ora circa per ciascun gradino), i cui pozzi di emungimento sono PZ3 e PZ10;
 - n. 2 prove a portata costante a lunga durata (36 ore circa), i cui pozzi di emungimento sono rappresentati da PZ3 e PZ10;
 - n. 3 prove di tipo puntuale (Slug Test), eseguite nei piezometri PZ1, PZ8 e PZ11.

Nei paragrafi seguenti sono riportati i dettagli relativi alle prove di portata realizzate e i risultati ottenuti a seguito delle elaborazioni eseguite.

6.1. PROVE A GRADINI

Le prove di portata a gradini, realizzate (su incarico di Eni) dalla Ditta NCE S.r.l. nel mese di Marzo 2016, sono state eseguite in corrispondenza dei pozzi PZ3 e PZ10, situati rispettivamente in Area Effrazione e in Area a Monte delle Risorgive.

Per ciascuna delle n. 2 prove sono stati individuati dei punti di monitoraggio posti nelle immediate vicinanze del pozzo di emungimento allo scopo di osservare gli effetti dell'azione di prelievo di acqua sul livello della falda ad una determinata distanza dal pozzo pilota.

Nel dettaglio, la realizzazione delle prove di portata a gradini sono state impostate con le configurazioni di seguito descritte:

- PROVA n°1:
 - PZ3 – Pozzo attivo a pompaggio controllato;
 - PZ2, PZ6 – Punti di monitoraggio;
- PROVA n°2:

- PZ10 – Pozzo attivo a pompaggio controllato;
- PZ5, PZ11 – Punti di monitoraggio.

Le caratteristiche dei suddetti pozzi/piezometri sono riepilogate in Tabella 6.1.

TABELLA 6.1: SPECIFICHE DEI POZZI/PIEZOMETRI INTERESSATI DALLE PROVE DI PORTATA A GRADINI

N° prova	ID Pozzo/Piezometro	Uso del Pozzo/Piezometro	Distanza dal Pozzo attivo	Φ	Profondità da p.c.	Tratto cieco	Tratto finestrato
			m	inch	m	m	m
1	PZ3	Emungimento	-	4"	10	0 - 1	1 - 10
	PZ2	Osservazione	20,5	4"	10	0 - 1	1 - 10
	PZ6	Osservazione	16,7	6"	12	0 - 1 11 - 12	1 - 11
2	PZ10	Emungimento	-	6"	13	0 - 1 12 - 13	1 - 12
	PZ5	Osservazione	15,2	6"	12	0 - 1 11 - 12	1 - 11
	PZ11	Osservazione	19,9	6"	13	0 - 1 12 - 13	1 - 12

Le succitate prove sono state eseguite in modo da realizzare n. 4 gradini incrementali di portata costante (la portata aumenta ad ogni salto) la cui durata è strettamente dipendente dal raggiungimento delle condizioni di equilibrio del livello della falda.

I dettagli delle prove di portata a gradini realizzate in sito sono riassunti in Tabella 6.2.

TABELLA 6.2: DETTAGLI PROVE DI PORTATA A GRADINI

N° prova	Data esecuzione	ID Piezometro	Portata gradino	Durata gradino
			l/min	min
AREA EFFRAZIONE				
1	02/03/2016	PZ3	Q1=15	D1=64
		PZ2	Q2=35	D2=82
			Q3=50	D3=93
			PZ6	Q4=100
AREA MONTE RISORGIVE				
2	08/03/2016	PZ10	Q1=15	D1=67

N° prova	Data esecuzione	ID Piezometro	Portata gradino	Durata gradino
			l/min	min
		PZ5	Q2=35	D2=98
		PZ11	Q3=50	D3=99
			Q4=100	D4=73

L'esecuzione di queste prove di portata ha richiesto l'impiego di strumentazioni e mezzi quali:

- pompa elettrosommersa (Grundfos SQE-7), posizionata alle profondità di 9, 11 e 11 metri da b.p. nei punti PZ3, PZ9 e PZ10, rispettivamente;
- generatore elettrico;
- contaltri per la misura della portata erogata;
- sensori di livello data-logger per la misura degli abbassamenti del livello di falda nel pozzo e nei punti di osservazione (posizionati ad una profondità tra 7 e 8 metri da b.p.), in grado di misurare e registrare i dati in continuo con passo temporale di 30 secondi;
- sonda di interfaccia;
- tubo di scarico (per allontanare le acque emunte dal punto di prelievo ed evitare rialimentazioni della falda).

RISULTATI

L'esecuzione delle prove di portata a gradini ha avuto come scopo primario quello di ottenere delle informazioni circa l'efficienza di captazione del pozzo, la portata critica, la portata ottimale e le perdite di carico nel pozzo, utili per la corretta esecuzione delle prove di portata a lunga durata, previste in un secondo momento.

Diagrammando i gradini di portata e gli abbassamenti relativi della falda si è ottenuta la curva caratteristica del pozzo per ciascun pozzo/piezometro (descrivibile da una parabola di secondo grado): dall'analisi di quest'ultima, è stata ricavata la portata critica del pozzo/piezometro (che indica il passaggio dalle condizioni di moto laminare a quelle di tipo turbolento) e, di conseguenza, la depressione critica e la portata ottimale di funzionamento del pozzo/piezometro (da adottare come portata di esercizio in occasione dell'esecuzione delle prove di portata a lunga durata).

La portata ottimale di esercizio è sempre inferiore a quella critica e può essere considerata pari a circa il 90% di quella critica.

L'abbassamento misurato nel pozzo/piezometro può essere espresso mediante l'equazione di Dupuit per le falde artesiane (Jacob, 1947; Rorabangh, 1953), dalla cui espressione

$$s = BQ + CQ^2$$

si evince che l'abbassamento misurato nell'opera di captazione s è la somma di due componenti:

1. la “*perdita di carico lineare*”, provocata nell'acquifero dal deflusso laminare nei pressi del pozzo, indicata con BQ ;
2. la “*perdita di carico quadratica*”, funzione del condizionamento del pozzo, provocata dal deflusso turbolento nell'opera di captazione, indicata con CQ^2 .

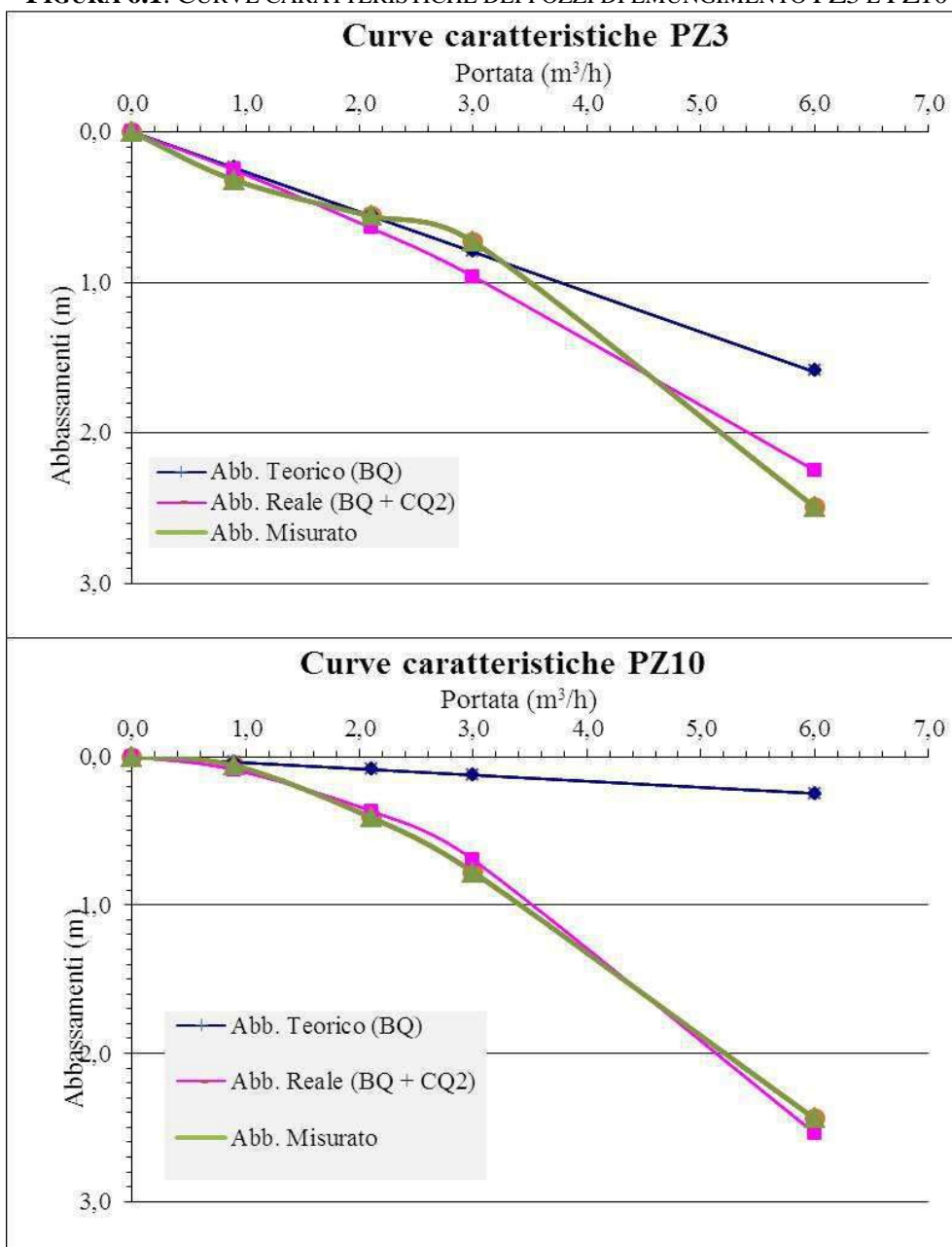
Quindi, la prova a gradini di portata permette di stabilire la relazione tra portata e abbassamento specifico s/Q , dove la pendenza della retta è rappresentata dal valore C , mentre l'intercetta con l'asse s/Q è fornito dal valore B .

Le curve caratteristiche dei tre pozzi di emungimento PZ3 e PZ10 sono rappresentate in Figura 6.1. In Tabella 6.3 si riassumono i risultati ottenuti.

TABELLA 6.3: RISULTATI DELLE PROVE DI PORTATA A GRADINI – PORTATA CRITICA, PORTATA OTTIMALE E EFFICIENZA DEL POZZO

<i>Data prove</i>	<i>Punto in emungimento</i>	<i>Portata critica</i>	<i>Portata ottimale di esercizio</i>	<i>Efficienza Pozzo – Perdite di carico non lineari</i>
		<i>m³/h</i>	<i>m³/h</i>	<i>%</i>
02/03/2016	PZ3	3	2,7	83
08/03/2016	PZ10	1,1	0,99	34

FIGURA 6.1: CURVE CARATTERISTICHE DEI POZZI DI EMUNGIMENTO PZ3 E PZ10



I risultati delle prove di portata a gradini, inoltre, sono stati utilizzati anche per la determinazione della conducibilità idraulica e della trasmissività dell'acquifero, la cui affidabilità e accuratezza di stima è strettamente dipendente dal modello matematico che si è scelto di adottare per l'interpretazione delle prove di portata.

Gli approcci analitici elaborati negli anni sono molteplici e differiscono tra loro per le ipotesi sulle quale si basano, relative, ad esempio, al regime di flusso (stazionario, transitorio), alla tipologia di acquifero investigato (confinato, non confinato, semiconfinato), alla geometria di completamento del pozzo (completamente o solo parzialmente penetrante l'acquifero), etc..

L'interpretazione delle prove di portata a gradini eseguite in corrispondenza dei piezometri PZ3 e PZ10 è stata effettuata facendo uso del software AquiferTest, confrontando l'andamento dei dati ottenuti (variazione del livello di falda) con le curve caratteristiche dei metodi di interpretazione scelti.

Per tali ragioni, l'individuazione del modello o dei modelli da utilizzare per ottenere la stima dei parametri idrologici dell'acquifero si rivela un aspetto di fondamentale importanza, poiché essi debbono, con le ovvie approssimazioni, tenere conto delle condizioni idrauliche presenti in sito.

Ciò detto, i metodi analitici considerati per l'interpretazione di queste prove sono:

- il *Metodo di Theis con correzione di Jacob* (Jacob, 1944), per acquiferi non confinati, infinitamente estesi, isotropi e per geometria completa del pozzo;
- il *Metodo di Neuman* (Neuman, 1975), per acquiferi non confinati, infinitamente estesi, anisotropi e per geometria completa o non completa del pozzo;
- il *Metodo di Boulton* (Boulton, 1963), per acquifero non confinati, infinitamente estesi, isotropi o anisotropi e per geometria completa o non completa del pozzo.

Ognuno di questi metodi fornisce delle curve teoriche che, in modo più o meno approssimato, descrivono l'andamento del livello della falda misurato in funzione del tempo.

L'interpretazione delle prove di portata a gradini, in particolare, ha previsto dapprima la modellazione dei dati ottenuti per i singoli gradini e, successivamente, di tutta la prova nel suo insieme (compresa la risalita).

Nella fase di interpretazione delle prove, sono stati considerati due differenti spessori dell'acquifero:

1. spessore pari a 40 metri, ovvero la profondità, secondo le informazioni bibliografiche in possesso, alla quale si osserva la separazione tra l'acquifero superficiale (A) e quello profondo (B);
2. spessore compreso tra il livello di falda statico misurato nel pozzo e la base della fenestratura, al fine di rappresentare la situazione di completa perforazione nel mezzo saturo del pozzo/piezometro stesso.

I valori di conducibilità idraulica e di trasmissività dell'acquifero ricavati nella configurazione di pozzo parzialmente penetrante il mezzo saturo sono stati ottenuti impiegando esclusivamente l'approccio di Boulton.

I risultati ottenuti dall'esecuzione delle prove di portata a gradini sono riassunti in Tabella 6.4.

In corrispondenza di tutti i punti di osservazione non sono stati osservati abbassamenti nel corso della prova.

In Allegato A sono riportati i dati utilizzati e i grafici ottenuti a seguito dell'interpretazione delle prove di portata a gradini effettuate.

TABELLA 6.4: RISULTATI DELLE PROVE DI PORTATA A GRADINI

Pozzo	Tratto Prova	Spessore acquifero [m]	Theis & Jacob		Neuman		Boulton	
			k [m/s]	T [m ² /s]	k [m/s]	T [m ² /s]	k [m/s]	T [m ² /s]
PZ3	1° gradino	40	-	-	-	-	1,66E-04	6,62E-03
		4,38	3,40E-04	1,49E-03	5,35E-04	2,34E-03	2,25E-04	9,86E-04
	2° gradino	40	-	-	-	-	1,79E-04	7,16E-03
		4,22	4,17E-04	1,76E-03	4,42E-04	1,87E-03	2,37E-04	1,00E-03
	3° gradino	40	-	-	-	-	4,15E-04	1,66E-02
		3,80	6,26E-04	2,38E-03	9,03E-04	3,43E-03	4,00E-04	1,52E-03
	4° gradino	40	-	-	-	-	2,87E-04	1,15E-02
		3,66	4,86E-04	1,78E-03	5,22E-04	1,91E-03	2,03E-04	7,42E-04
	totale prova	40	-	-	-	-	1,27E-04	5,06E-03
		4,38	4,52E-04	1,98E-03	6,29E-04	2,75E-03	2,74E-04	1,2E-03
PZ10	1° gradino	40	-	-	-	-	3,95E-04	1,58E-02
		5,64	6,43E-04	3,63E-03	6,33E-04	3,57E-03	7,93E-04	4,47E-03
	2° gradino	40	-	-	-	-	1,90E-04	7,60E-03
		5,57	1,46E-04	8,15E-04	2,03E-04	1,13E-03	3,66E-04	2,04E-03
	3° gradino	40	-	-	-	-	1,66E-04	6,65E-03
		5,19	4,18E-04	2,17E-03	6,26E-04	3,25E-03	2,70E-04	1,40E-03
	4° gradino	40	-	-	-	-	1,09E-04	4,34E-03
		4,86	3,42E-04	1,66E-03	3,95E-04	1,92E-03	1,73E-04	8,43E-04
	totale prova	40	-	-	-	-	8,48E-05	3,39E-03
		5,64	3,17E-04	1,79E-03	4,40E-04	2,48E-03	2,00E-04	1,13E-03

N.B. k = conducibilità idraulica

T = trasmissività

6.2. PROVE A LUNGA DURATA

Le prove di portata a lunga durata, realizzate dalla Ditta NCE S.r.l. nel periodo di Luglio-Agosto 2016, sono state eseguite in corrispondenza dei pozzi PZ3 e PZ10, situati in Area Effrazione e in Area a Monte delle Risorgive, rispettivamente.

Per entrambe le prove sono stati individuati dei punti di monitoraggio allo scopo di osservare gli effetti dell'emungimento sul livello della falda ad una determinata distanza dal pozzo pilota.

La scelta dei punti di osservazione è ricaduta sui pozzi/piezometri limitrofi al pozzo di emungimento; tuttavia, data l'assenza di perfori da utilizzare come punti di osservazione nelle immediate vicinanze dei pozzi attivi, si è proceduto con la realizzazione (con tecnica di

perforazione a distruzione) di n. 2 ulteriori punti di monitoraggio, PM1 e PM2, posizionati rispettivamente a 2,7 m e 4,7 m dai relativi punti da mettere in emungimento.

Nel dettaglio, per le prove di portata a lunga durata si è fatto uso dei seguenti pozzi/piezometri:

- **PROVA n°1:**
 - PZ3 – Pozzo attivo di emungimento;
 - PM2, PZ2, PZ6 – Punti di monitoraggio;
- **PROVA n°2:**
 - PZ10 – Pozzo attivo di emungimento;
 - PM1, PZ5, PZ11 – Punti di monitoraggio.

Le caratteristiche dei suddetti pozzi sono riepilogati in Tabella 6.5.

TABELLA 6.5: SPECIFICHE DEI POZZI/PIEZOMETRI INTERESSATI DALLE PROVE DI PORTATA A LUNGA DURATA

N° prova	ID Pozzo/Piezometro	Uso del Pozzo/Piezometro	Distanza dal Pozzo attivo	Φ	Profondità da p.c.	Tratto cieco	Tratto finestrato
			m	inch.	m	m	m
1	PZ3	Emungimento	-	4"	10	0 – 1	1 – 10
	PM2	Osservazione	4,7	4"	12	0 – 1	1 – 12
	PZ2	Osservazione	20,5	4"	10	0 – 1	1 – 10
	PZ6	Osservazione	16,7	6"	12	0 – 1 11 – 12	1 – 11
2	PZ10	Emungimento	-	6"	13	0 – 1 12 – 13	1 – 12
	PM1	Osservazione	2,7	4"	12	0 – 1	1 – 12
	PZ5	Osservazione	15,2	6"	12	0 – 1 11 – 12	1 – 11
	PZ11	Osservazione	19,9	6"	13	0 – 1 12 – 13	1 – 12

Le prove in questione sono state eseguite prelevando una portata costante per circa 35 ore al fine di raggiungere la condizione di stazionarietà del livello piezometrico; lungo tutta la durata di emungimento e nel periodo di tempo successivo (risalita), in ciascun piezometro di controllo è stata registrata, ad intervalli di tempo regolari, la variazione del livello di falda indotta dall'azione di emungimento, il quale determina un richiamo di acqua dalle aree limitrofe al pozzo attivo.

I dettagli delle prove di portata a lunga durata realizzate in Sito sono riassunti in Tabella 6.6.

TABELLA 6.6: DETTAGLI PROVE DI PORTATA A LUNGA DURATA

N° prova idraulica	Data esecuzione	ID Piezometro	Portata	Durata
			l/min	ore
AREA EFFRAZIONE				
1	dal 02/08/2016 al 03/08/2016	PZ3	100	35
		PM2		
		PZ2		
		PZ6		
AREA MONTE RISORGIVE				
2	dal 20/07/2016 al 21/07/2016	PZ10	50	35
		PM1		
		PZ5		
		PZ11		

Nota: in grassetto il pozzo in emungimento

L'esecuzione di queste prove di portata ha richiesto l'impiego di strumentazioni e mezzi quali:

- pompa elettrosommersa (Grundfos SQE-7), con tubo di scarico collegato alla pompa del diametro di 9 cm;
- generatore elettrico;
- contalitri per la misura della portata erogata;
- sensori di livello data-logger per la misura delle variazioni di livello nel pozzo in pompaggio e nei punti di osservazione (posti a profondità comprese tra 8 m e 11 m da b.p.), in grado di registrare i dati in continuo con un passo temporale di 6 secondi;
- sonda di interfaccia.

RISULTATI

Analogamente a quanto effettuato per le prove di portata a gradini, l'interpretazione delle prove di portata a lunga durata eseguite in corrispondenza dei piezometri PZ3 e PZ10 è stata effettuata facendo uso del software AquiferTest e modellando l'andamento dei dati ottenuti (variazione del livello di falda) con le curve caratteristiche dei seguenti metodi:

- *Metodo di Theis con correzione di Jacob* (Jacob, 1944), per acquiferi non confinati, infinitamente estesi, isotropi e per geometria completa del pozzo;
- *Metodo di Neuman* (Neuman, 1975), per acquiferi non confinati, infinitamente estesi, anisotropi e per geometria completa/incompleta del pozzo;
- *Metodo di Boulton* (Boulton, 1963), per acquifero non confinati, infinitamente estesi, isotropi o anisotropi e per geometria completa/incompleta del pozzo.

Allo stesso tempo, così come fatto anche per le prove di portata a gradini, nella fase di interpretazione dei dati ricavati dalle prove in questione sono stati considerati due differenti spessori dell'acquifero oggetto di studio:

1. spessore pari a 40 metri, ovvero la profondità, secondo informazioni bibliografiche, alla quale si osserva la separazione tra l'acquifero superficiale (A) e quello profondo (B);
2. spessore compreso tra il livello di falda statico misurato nel pozzo e la base della fenestratura, al fine di rappresentare la situazione di completa perforazione nel mezzo saturo del pozzo stesso.

I valori di conducibilità idraulica e di trasmissività dell'acquifero ricavati nella configurazione di pozzo parzialmente penetrante il mezzo saturo, sono stati ottenuti impiegando esclusivamente l'approccio di Boulton.

Tuttavia, prima ancora di procedere all'interpretazione delle prove in questione, in fase di analisi dei dati sono state riscontrate le seguenti anomalie:

Prova a lunga durata in PZ3:

- nel PZ3 (pozzo di emungimento), l'entità dell'abbassamento indotto dall'emungimento, a parità di portata, è nettamente inferiore rispetto a quanto osservato durante l'esecuzione della prova a gradini (4° gradino) eseguita nel medesimo punto (0,51 m contro 2,49 m);
- nel PZ3 il livello della falda, dopo un primo trend di abbassamento della durata di 15,48 ore circa, a causa di uno stacco del generatore elettrico della pompa di 17 minuti ritorna grossomodo al valore statico misurato prima dell'inizio della prova (l'innalzamento osservato è di 0,49 m);
- nel PZ3, successivamente al primo stacco, il pozzo ritorna ad emungere acqua generando un abbassamento della falda, pur tuttavia non raggiungendo mai gli abbassamenti misurati poco prima del primo stacco;
- nel PZ3, dopo 15,48 ore, motivi tecnici anomali hanno compromesso il resto della prova

- nei punti di monitoraggio PM2, PZ2 e PZ6 il trend della falda è sì decrescente, ma nel punto di osservazione più vicino al pozzo di emungimento (PM2) l'abbassamento rilevato (0,12 m) è inferiore rispetto a quelli misurati nei piezometri più lontani (0,30 m in PZ6 e 0,15 m in PZ2);
- il livello della falda, in tutti i punti interessati dalla prova, non raggiunge mai una condizione di equilibrio stazionario.

Prova a lunga durata in PZ10:

- la prova, ai fini della determinazione dei parametri idrogeologici dell'acquifero, è da ritenersi sostanzialmente nulla in quanto il livello della falda tende a crescere in tutti i punti interessati dal test a causa, probabilmente, di una intensa attività irrigua, superando in alcuni casi (nel PZ10) addirittura il livello statico misurato negli istanti precedenti l'inizio della prova; tale comportamento, essendo assolutamente anomalo e quindi non previsto da alcun modello analitico di interpretazione, ha reso tale prova non interpretabile.

A seguito delle analisi sopra riportate è stato possibile determinare, con tutte le approssimazioni e gli errori dovuti alla presenza di questi comportamenti anomali, i valori di conducibilità idraulica e di trasmissività dell'acquifero solo interpretando la prova eseguita emungendo acqua dal PZ3.

Nel dettaglio, sono stati interpretati i dati ottenuti nei punti di monitoraggio (PM2, PZ2 e PZ6) e nel pozzo di emungimento (PZ3): per quest'ultimo, tuttavia, è stato esclusivamente considerato ed interpretato il tratto in cui si osserva un abbassamento della falda (le prime 15,48 ore della prova).

I risultati ottenuti dall'esecuzione delle prove di portata a lunga durata sono riassunti in Tabella 6.7.

TABELLA 6.7: RISULTATI DELLE PROVE DI PORTATA A LUNGA DURATA

Pozzo	Spessore acquifero	Theis & Jacob		Neuman		Boulton	
		<i>k</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>T</i>
	<i>m</i>	<i>m/s</i>	<i>m²/s</i>	<i>m/s</i>	<i>m²/s</i>	<i>m/s</i>	<i>m²/s</i>
PZ3 - 1° segmento	40	-	-	-	-	5,35E-04	2,14E-02
	5,63	1,64E-03	9,23E-03	1,50E-03	8,45E-03	6,87E-03	6,87E-03
PM2	40	-	-	-	-	5,13E-04	2,05E-02
	5,95	1,10E-03	6,55E-03	1,08E-03	6,43E-03	1,21E-03	7,20E-03
PZ2	40	-	-	-	-	3,13E-04	1,25E-02
	5,95	3,00E-04	1,79E-03	1,68E-04	1,00E-03	3,19E-04	1,90E-03

Pozzo	Spessore acquifero	Theis & Jacob		Neuman		Boulton	
		<i>k</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>T</i>
	<i>m</i>	<i>m/s</i>	<i>m²/s</i>	<i>m/s</i>	<i>m²/s</i>	<i>m/s</i>	<i>m²/s</i>
PZ6	40	-	-	-	-	1,07E-04	4,28E-03
	6,59	2,47E-04	1,63E-03	1,78E-04	1,17E-03	2,79E-04	1,84E-03

N.B. *k* = conducibilità idraulica

T = trasmissività

In Allegato III sono riportati i dati utilizzati e i grafici ottenuti a seguito dell'interpretazione delle prove di portata a lunga durata effettuate.

6.3. SLUG TEST

Ai fini della determinazione dei parametri idrologici dell'acquifero (conducibilità idraulica e trasmissività) in Sito sono stati eseguiti da parte della ditta operativa NCE S.r.l., in data 09/03/2016, n. 3 Slug Test in corrispondenza dei piezometri PZ1, PZ8 e PZ11, localizzati in Area Effrazione il primo e in Area a Monte delle Risorgive i restanti due.

Lo Slug Test è una prova di tipo puntuale eseguita in regime transitorio che consente di stimare in modo rapido i principali parametri idrogeologici degli acquiferi limitatamente alla porzione adiacente al tratto filtrante del pozzo attivo.

L'esecuzione dello Slug Test consiste nel generare, in modo pressoché istantaneo, una variazione del livello statico nel perforo di interesse e di misurare, in funzione del tempo, il ristabilirsi del livello iniziale.

In tutti gli Slug Test effettuati in Sito è stato indotto inizialmente un brusco aumento del livello statico misurato nel pozzo mediante l'introduzione di un cilindro metallico di volume noto pari a 6,8 litri, ed è stato successivamente misurato il progressivo abbassamento del carico idraulico fino al raggiungimento delle condizioni iniziali. Tale prova è definita come Slug Test a carico decrescente.

Il flusso indotto da uno Slug Test è molto limitato, pertanto la risposta all'istantanea variazione del livello prodotto e il conseguente valore di conducibilità idraulica ottenuto dipendono fortemente dalle condizioni idrauliche esistenti nelle immediate vicinanze del pozzo (modalità di perforazione, geometria di completamento, eventuale danneggiamento di permeabilità).

In Tabella 6.8 sono riepilogate le caratteristiche dei pozzi/piezometri interessati dagli Slug Test.

TABELLA 6.8: SPECIFICHE DEI POZZI/PIEZOMETRI INTERESSATI DAGLI SLUG TEST

ID Pozzo/Piezometro	Φ	Profondità da p.c.	Tratto cieco	Tratto finestrato
	inch.	m	m	m
PZ1	4"	10	0 – 1	1 – 10
PZ8	6"	13	0 – 1 12 – 13	1 – 12
PZ11	6"	13	0 – 1 12 – 13	1 – 12

RISULTATI

Per l'interpretazione di questi test esistono in letteratura numerosi approcci analitici, i quali si distinguono tra loro per le assunzioni sulle quali si basano. A tal riguardo, prima ancora di selezionare i metodi da utilizzare in fase di interpretazione della prova, è fondamentale innanzitutto definire la tipologia del sistema idrogeologico in cui lo Slug Test è stato eseguito, cercando di descriverlo in tutte le sue peculiarità.

Nel caso in questione, considerando la geometria di completamento del pozzo (non completo) e la tipologia di acquifero presente in sito (non confinato), sono stati opportunamente scelti i seguenti metodi:

- *Bouwer e Rice* (Bouwer & Rice, 1976);
- *Dagan* (Dagan, 1978).

La soluzione proposta da *Bouwer e Rice* poggia sulle seguenti assunzioni:

- l'acquifero (libero, confinato o semiconfinato) è omogeneo, isotropo (la permeabilità nell'intorno del pozzo non è danneggiata) ed illimitatamente esteso in tutte le direzioni;
- è valida la legge di Darcy;
- l'immagazzinamento della formazione acquifera è trascurabile;
- la variazione del carico idraulico all'inizio della prova è istantaneo;
- le perdite di carico del pozzo sono trascurabili;
- il flusso è esclusivamente orizzontale (i limiti inferiore e superiore dell'acquifero si comportano come strati impermeabili);
- la posizione della tavola d'acqua è perfettamente orizzontale prima dell'inizio del test e non cambia con il tempo;

- il flusso nella zona insatura è trascurabile;
- il pozzo attraversa totalmente o parzialmente la formazione acquifera;
- l'immagazzinamento del pozzo non è trascurabile.

Il metodo di interpretazione di Dagan, invece, permette di determinare la conducibilità idraulica di acquiferi non confinati, omogenei e anisotropi, nell'intorno di quei pozzi la cui lunghezza è almeno 50 volte il raggio del pozzo.

Questi approcci propongono soluzioni analitiche e semianalitiche per l'analisi dei dati ricavati dagli Slug Test e prevedono la stima delle proprietà idrauliche attraverso rappresentazioni grafiche che confrontano le grandezze osservate in campo e i loro andamenti con le curve/rette teoriche che idealizzano il comportamento dell'acquifero durante l'esecuzione della prova.

L'interpretazione degli Slug Test eseguiti il 09/03/2016 è stata effettuata considerando un acquifero di spessore pari a 40 metri e, quindi, una parziale penetrazione dei pozzi nel messo saturo.

In tabella 6.9 si riassumono i risultati ottenuti in termini di conducibilità idraulica, mentre in Allegato C si riportano i grafici e i dati utilizzati per l'interpretazione delle prove.

TABELLA 6.9: RISULTATI DEGLI SLUG TEST

<i>ID Pozzo/Piezometro</i>	<i>Spessore Acquifero</i>	<i>Bouwer & Rice</i>	<i>Dagan</i>
		<i>k</i>	<i>k</i>
	<i>m</i>	<i>m/s</i>	<i>m/s</i>
PZ1	40	5,73E-06	5,91E-06
PZ8		1,63E-04	-
PZ11		6,16E-06	6,32E-06

6.4. RIEPILOGO DEI VALORI DI CONDUCEBILITÀ IDRAULICA E DI TRASMISSIVITÀ OTTENUTI

Di seguito si riassumono tutti i valori di conducibilità idraulica e di trasmissività ottenuti dalle varie interpretazioni/prove.

TABELLA 6.10: RISULTATI PROVE DI PORTATA A GRADINI

<i>Pozzo</i>	<i>Tratto Prova</i>	<i>Spessore acquifero [m]</i>	<i>Theis & Jacob</i>		<i>Neuman</i>		<i>Boulton</i>	
			<i>k [m/s]</i>	<i>T [m²/s]</i>	<i>k [m/s]</i>	<i>T [m²/s]</i>	<i>k [m/s]</i>	<i>T [m²/s]</i>
PZ3	1° gradino	40	-	-	-	-	1,66E-04	6,62E-03
		4,38	3,40E-04	1,49E-03	5,35E-04	2,34E-03	2,25E-04	9,86E-04
	2° gradino	40	-	-	-	-	1,79E-04	7,16E-03
		4,22	4,17E-04	1,76E-03	4,42E-04	1,87E-03	2,37E-04	1,00E-03
	3° gradino	40	-	-	-	-	4,15E-04	1,66E-02
		3,80	6,26E-04	2,38E-03	9,03E-04	3,43E-03	4,00E-04	1,52E-03
	4° gradino	40	-	-	-	-	2,87E-04	1,15E-02
		3,66	4,86E-04	1,78E-03	5,22E-04	1,91E-03	2,03E-04	7,42E-04
	totale prova	40	-	-	-	-	1,27E-04	5,06E-03
		4,38	4,52E-04	1,98E-03	6,29E-04	2,75E-03	2,74E-04	1,2E-03
PZ10	1° gradino	40	-	-	-	-	3,95E-04	1,58E-02
		5,64	6,43E-04	3,63E-03	6,33E-04	3,57E-03	7,93E-04	4,47E-03
	2° gradino	40	-	-	-	-	1,90E-04	7,60E-03
		5,57	1,46E-04	8,15E-04	2,03E-04	1,13E-03	3,66E-04	2,04E-03
	3° gradino	40	-	-	-	-	1,66E-04	6,65E-03
		5,19	4,18E-04	2,17E-03	6,26E-04	3,25E-03	2,70E-04	1,40E-03
	4° gradino	40	-	-	-	-	1,09E-04	4,34E-03
		4,86	3,42E-04	1,66E-03	3,95E-04	1,92E-03	1,73E-04	8,43E-04
	totale prova	40	-	-	-	-	8,48E-05	3,39E-03
		5,64	3,17E-04	1,79E-03	4,40E-04	2,48E-03	2,00E-04	1,13E-03

TABELLA 6.11: RISULTATI PROVE DI PORTATA A LUNGA DURATA

<i>Pozzo</i>	<i>Spessore acquifero</i>	<i>Theis & Jacob</i>		<i>Neuman</i>		<i>Boulton</i>	
		<i>k</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>T</i>
	<i>m</i>	<i>m/s</i>	<i>m²/s</i>	<i>m/s</i>	<i>m²/s</i>	<i>m/s</i>	<i>m²/s</i>
PZ3 - 1° segmento	40	-	-	-	-	5,35E-04	2,14E-02
	5,63	1,64E-03	9,23E-03	1,50E-03	8,45E-03	6,87E-03	6,87E-03
PM2	40	-	-	-	-	5,13E-04	2,05E-02
	5,95	1,10E-03	6,55E-03	1,08E-03	6,43E-03	1,21E-03	7,20E-03
PZ2	40	-	-	-	-	3,13E-04	1,25E-02
	5,95	3,00E-04	1,79E-03	1,68E-04	1,00E-03	3,19E-04	1,90E-03
PZ6	40	-	-	-	-	1,07E-04	4,28E-03
	6,59	2,47E-04	1,63E-03	1,78E-04	1,17E-03	2,79E-04	1,84E-03

TABELLA 6.11: RISULTATI SLUG TEST

<i>ID Pozzo/Piezometro</i>	<i>Spessore Acquifero</i>	<i>Bouwer & Rice</i>	<i>Dagan</i>
		<i>k</i>	<i>k</i>
	<i>m</i>	<i>m/s</i>	<i>m/s</i>
PZ1	40	5,73E-06	5,91E-06
PZ8		1,63E-04	-
PZ11		6,16E-06	6,32E-06

6.5. GESTIONE RIFIUTI

Di seguito si riportano i dettagli della gestione dei rifiuti inerenti le prove di portata eseguite e il contributo derivante dai sistemi di P&S attivi prima e successivamente all'esecuzione della prova stessa.

TABELLA 6.12: RIFIUTI PRODOTTI IN SEGUITO ALLE PROVE ESEGUITE SULL'ACQUIFERO

<i>Data FIR</i>	<i>Data Partenza Carico</i>	<i>Data Arrivo Carico</i>	<i>FIR</i>	<i>CER</i>	<i>Quantità [kg]</i>
02/03/2016	02/03/2016	02/03/2016	026457/15	16.10.02	27230
04/03/2016	04/03/2016	04/03/2016	026458/15	16.10.02	29630
09/03/2016	09/03/2016	10/03/2016	026460/15	16.10.02	28230
20/07/2016	20/07/2016	21/07/2016	06143/16	16.10.02	28130

21/07/2016	21/07/2016	21/07/2016	07292/16	16.10.02	27110
21/07/2016	21/07/2016	22/07/2016	015701/15	16.10.02	28220
02/08/2016	02/08/2016	03/08/2016	07291/16	16.10.02	32020
02/08/2016	02/08/2016	03/08/2016	08930/16	16.10.02	28500
03/08/2016	03/08/2016	03/08/2016	08929/16	16.10.02	28170
03/08/2016	03/08/2016	04/08/2016	08923/16	16.10.02	30360
03/08/2016	03/08/2016	04/08/2016	08921/16	16.10.02	28100
04/08/2016	04/08/2016	05/08/2016	08928/16	16.10.02	29580
05/08/2016	05/08/2016	05/08/2016	08927/16	16.10.02	30700
					375980

TAVOLE

TAVOLA I	CARTA LITOLOGICA E DELLA DINAMICA GEOMORFOLOGICA CON ELEMENTI DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA” – TAV N. 1B DI NOVEMBRE 2011, DEL P.G.T DEL COMUNE DI MORIMONDO
TAVOLA II	PLANIMETRIA DEL SITO CON UBICAZIONE DEI RUSCELLAMENTI/CORSI D’ACQUA, RISORGIVE E PUNTI DI MONITORAGGIO D’INTERESSE
TAVOLA IIIA	SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA N. 1
TAVOLA IIIB	SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA N. 2
TAVOLA IVA	CARTA PIEZOMETRICA LUGLIO 2016
TAVOLA IVB	CARTA PIEZOMETRICA GENNAIO 2017

LEGENDA

Unità litologico-deposizionali

- a) Depositi alluvionali attuali
- b) a) Depositi di terrazzo alluvionale recente
- b) a) Depositi di terrazzo alluvionale antico
- b) a) Depositi fluvio glaciali (livello fondamentale della pianura)

a) affiorante, s) subaffiorante

Forme e processi poligenici

- Orli di scarpata
- Orli di terrazzo
- Aree ad accività media (10°-30°)
- Aree ad accività elevata (> 30°)

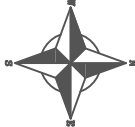
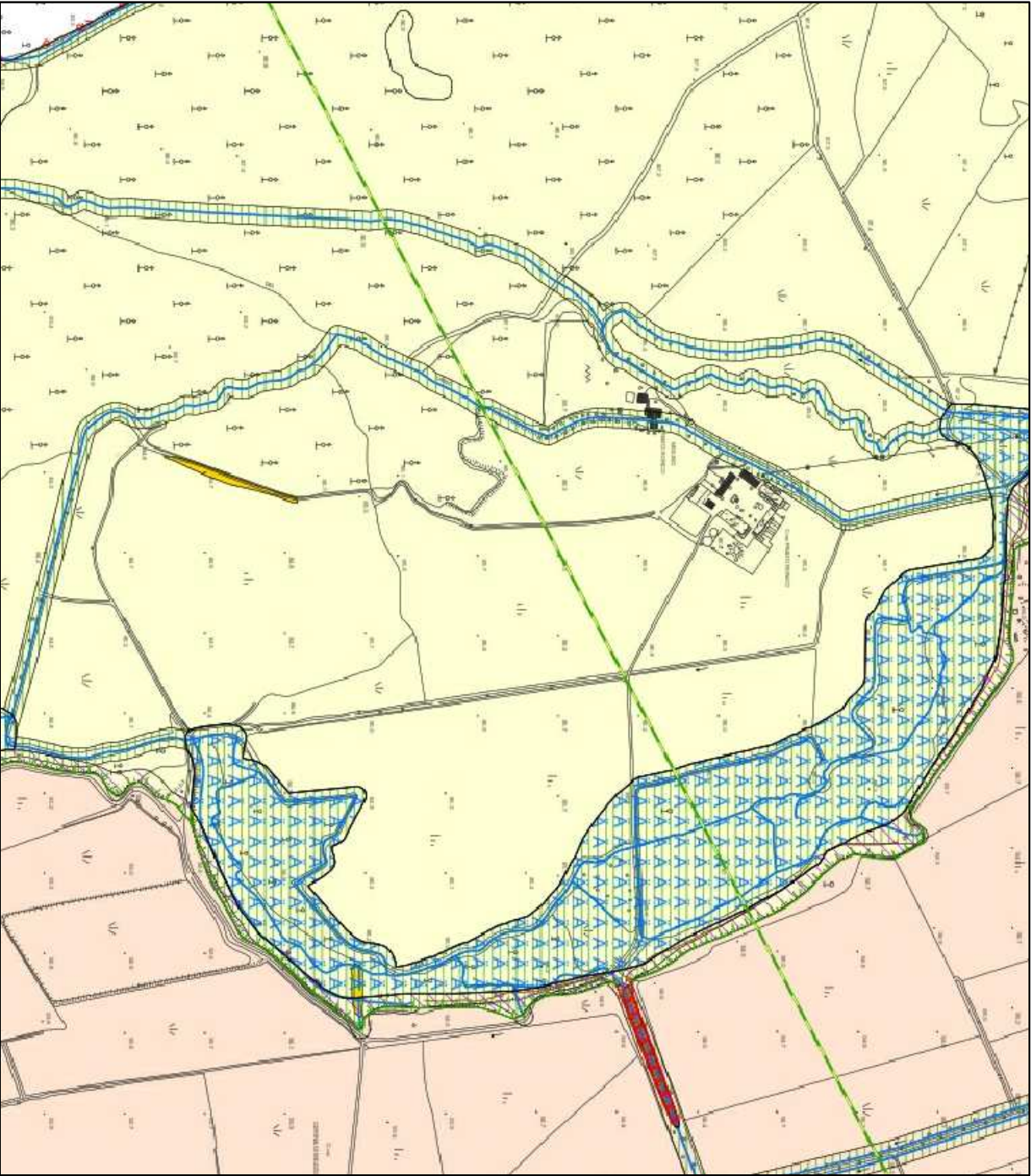
Forme e processi legati all'azione delle acque

- Aree palustri/ di ristagno
- Aree di ruscellamento diffuso
- Aree potenzialmente interessabili da fenomeni di dinamica fluviale a pericolosità bassa
- Aree frequentemente inondabili o potenzialmente interessabili da fenomeni di esondazione fluviale

Forme e processi legati all'azione antropica

- Antiche aree estrattive attualmente bonificate
- Elementi di protezione spondale in cemento
- Elementi di protezione spondale in legname
- Elementi di protezione spondale in pietra
- Elementi idrografici (Naviglio di Bereguardo)
- Chiusa
- Salto
- Stramazzo

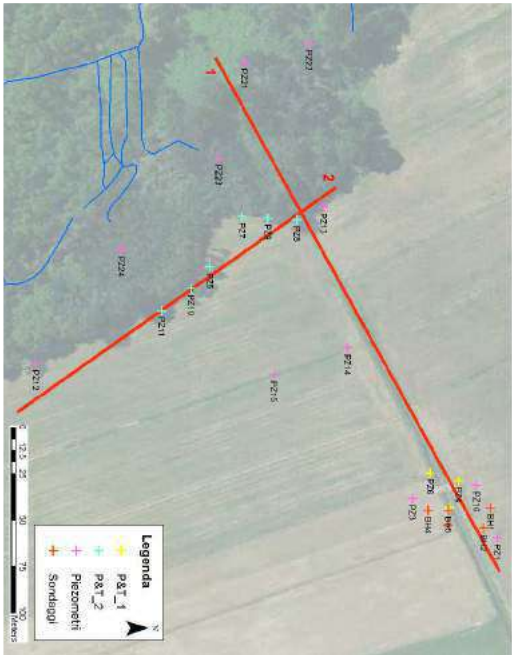
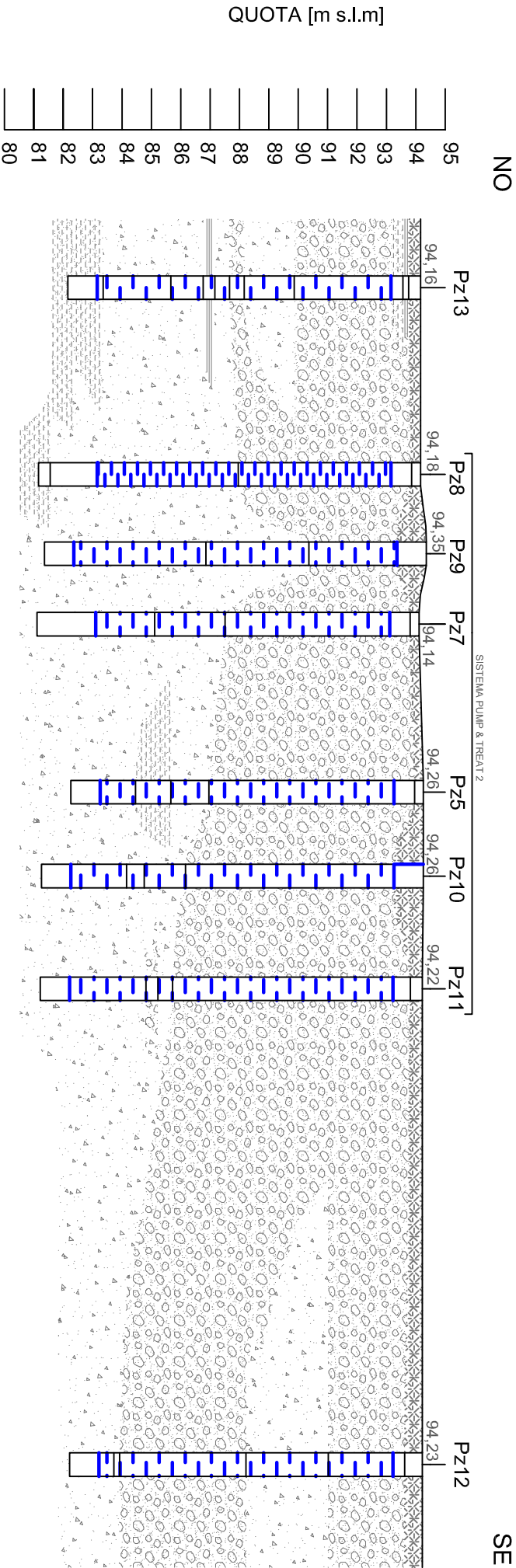
- Traccia sezioni
- Corso d'acqua
- Limiti comunali



 <div>THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20092 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RICATA, 8 00131 ROMA</div> 		PROGETTO N. IACAD FILE: 4018.07-MORIMONDO/RTG	DATA: FEBBRAIO 2017
DS: M.M.	STRALCIO CARTA LITOLOGICA DRL P.G.T. DEL COMUNE DI MORIMONDO		
SCALA: 1:8000			
REVISIONE: 00	CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)		TAVOLA: I
VISTO: E.N.			
QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CUIUSQUE UTILIZZO PRIMO DI AUTORIZZAZIONE E INDEBENTAMENTE PROIBITO.			



SEZIONE 2



Granulometria sedimenti

terreno di riporto

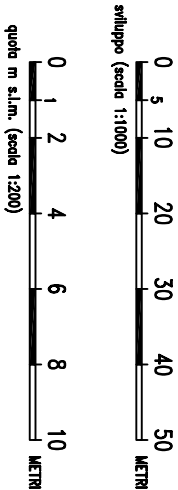
prevalenza ghiaia

prevalenza sabbia

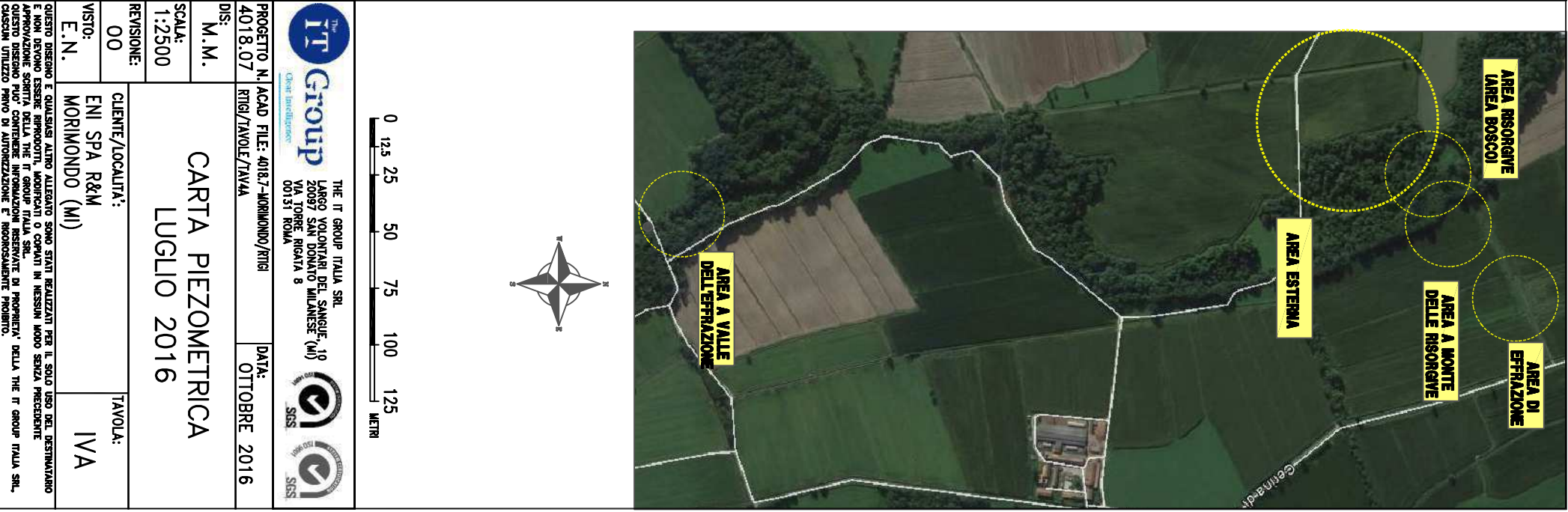
prevalenza sabbia fine

prevalenza limo

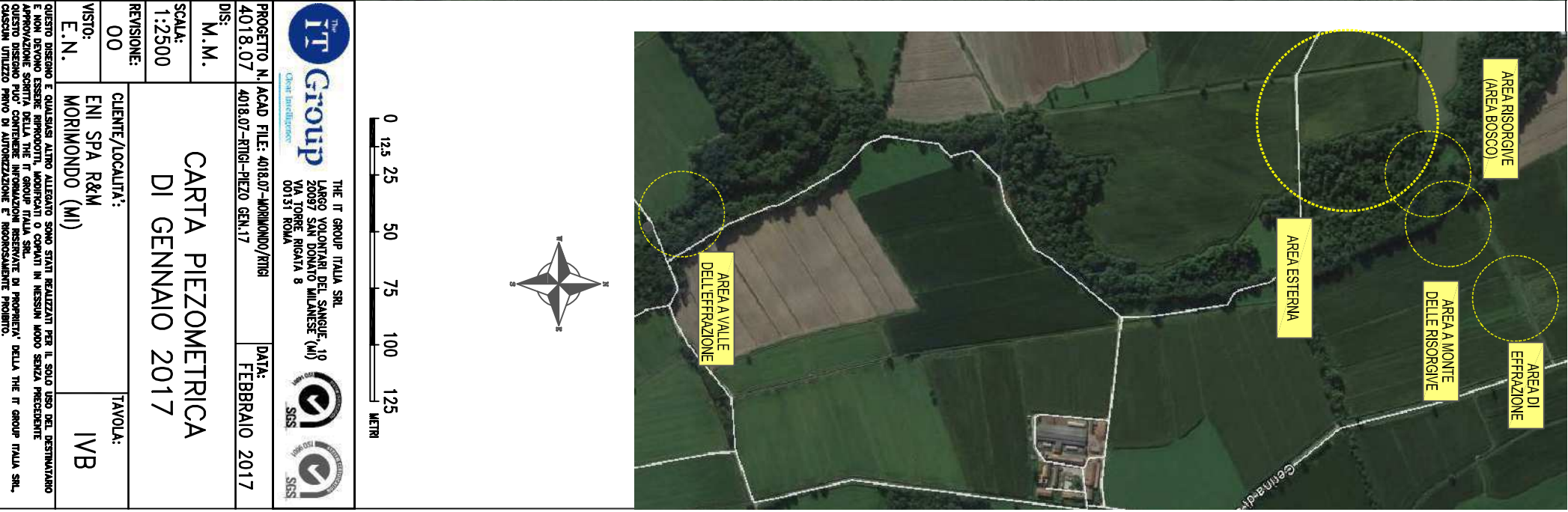
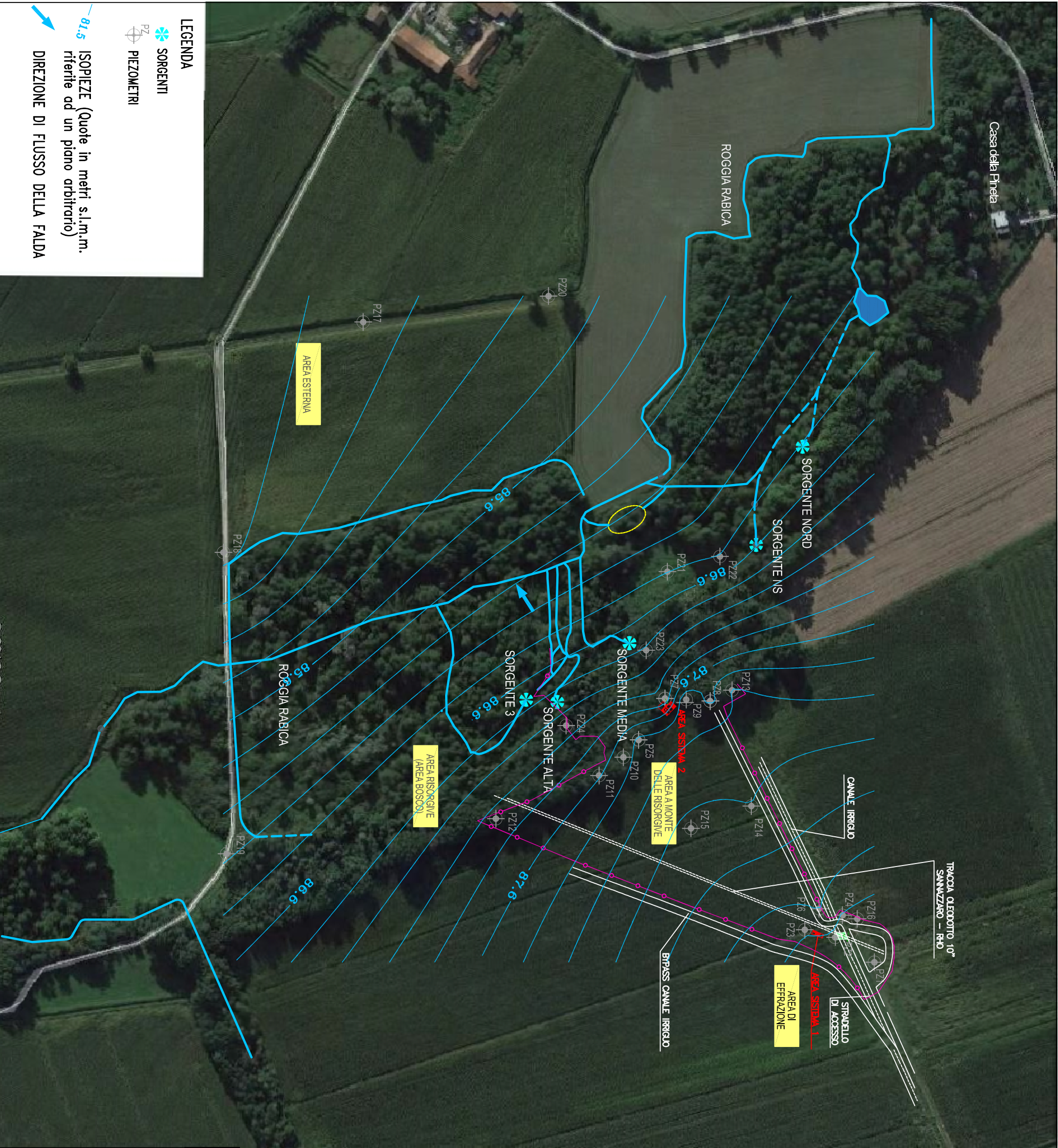
filtri



 <div>THE IT GROUP ITALIA SRL LARGO VOLONTARI DEL SANGUE, 10 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORRE RICATA 8 00131 ROMA</div> <div></div>		PROGETTO N. ACAD FILE: 4018.7-MORIMONDO/RTIG1		DATA: OTTOBRE 2016	
DIS: M.M.		RTIG/TAVOLE/TA/38		SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA 2	
SCALA: varie					
REVISIONE: 00					
VISTO: L.D'A.					
CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)		TAVOLA: IIIB			
QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CUI E' CONCESSO IL DIRITTO DI AUTORIZZAZIONE E INDEBENTAMENTE PROIBITO.					



 The IT Group Open Intelligence		 SGS	
THE IT GROUP ITALIA SRL LAGO VOLONTARI DEL SANGUE 10 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) VIA TORME RIGATA 8 00131 ROMA			
PROGETTO N. ACAD FILE: 4018.7-MORIMONDO/RTIG		DATA: OTTOBRE 2016	
4018.07 RTIG/TAVOLE/TAVIA			
D.S. M.M.			
SCALA: 1:2500			
REVISIONE: 00			
CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORIMONDO (MI)		TAVOLA: IVA	
VISTO: E.N.			
QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CUI SONO UTILIZZO PIANO DI AUTORIZZAZIONE E INDEBENTAMENTE PROIBITO.			



LEGENDA

SORGENTI

PIEZOMETRI

81.5 ISOPLEZE (Quote in metri s.l.m.m. riferite ad un piano arbitrario)

DIREZIONE DI FLUSSO DELLA FALDA

		THE IT GROUP ITALIA SRL LAGO VOLONTARI DEL SANGUE 10 20093 SAN DONATO MILANESE (MI) VA TORRE ROMA 8 00131 ROMA			
PROGETTO N. ACAD FILE: 4018.07-MORMONDO/RTM1		DATA: FEBBRAIO 2017			
DIS: M.M.					
SCALA: 1:2500					
REVISIONE: 00					
VISTO: E.N.					
CLIENTE/LOCALITA': ENI SPA R&M MORMONDO (MI)				TAVOLA: IVB	
CARTA PIEZOMETRICA DI GENNAIO 2017					
QUESTO DISEGNO E QUALSIASI ALTRO ALLEGATO SONO STATI REALIZZATI PER IL SOLO USO DEL DESTINATARIO E NON DEVONO ESSERE RIPRODOTTI, MODIFICATI O COPIATI IN NESSUN MODO SENZA PRECEDENTE APPROVAZIONE SCRITTA DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL. QUESTO DISEGNO PUO' CONTENERE INFORMAZIONI RISERVATE DI PROPRIETA' DELLA THE IT GROUP ITALIA SRL, CUI SONO UTILIZZO PIANO DI AUTORIZZAZIONE E INDELSAMENTE PROIBITO.					

ALLEGATI

ALLEGATO I

RILIEVI FREATIMETRICI; MISURE PORTATE SORGENTI E ROGGIA RABICA,
LIVELLI IDROMETRICI IN ROGGIA RABICA

Data	PZ1 0151500091					PZ2 * 0151500092					PZ3 0151500093					PZ4 * 0151500094					PZ6 * 0151500096				
	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 1	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 1	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 1
	494858,245	5021574,907	94,497	94,285		494841,687	5021549,197	94,250	94,082		494836,941	5021529,411	94,286	94,010		494827,380	5021554,098	94,778	94,566		494823,142	5021538,790	94,409	94,296	
	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta
	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]
11/10/2015	5,16	5,16	0,00	89,34	5,16	5,08	5,25	0,00	89,00	5,25	5,33	5,33	0,00	88,96	5,33	5,73	5,86	0,00	88,92	5,86	n.r				
12/10/2015	5,17	5,17	0,00	89,33	5,17	5,11	5,18	0,00	89,07	5,18	n.r					5,72	5,86	0,00	88,92	5,86	n.r				
13/10/2015	5,18	5,18	0,00	89,32	5,18	5,11	5,20	0,00	89,06	5,20	5,33	5,33	0,00	88,95	5,33	5,73	5,78	0,00	89,00	5,78	n.r				
14/10/2015	5,17	5,17	0,00	89,33	5,17	5,10	5,20	0,00	89,05	5,20	5,33	5,33	0,00	88,96	5,33	5,73	5,86	0,00	88,92	5,86	n.r				
15/10/2015	5,16	5,16	0,00	89,33	5,16	5,10	5,17	0,00	89,08	5,17	5,33	5,33	0,00	88,96	5,33	5,72	5,92	0,00	88,86	5,92	n.r				
16/10/2015	5,16	5,16	0,00	89,34	5,16	5,10	5,15	0,00	89,10	5,15	5,31	5,31	0,00	88,97	5,31	5,71	5,91	0,00	88,86	5,91	5,46	5,46	0,00	88,95	5,46
18/10/2015	5,16	5,16	0,00	89,34	5,16	5,09	5,14	0,00	89,11	5,14	5,31	5,31	0,00	88,98	5,31	5,71	5,93	0,00	88,84	5,93	5,45	5,46	0,00	88,95	5,46
19/10/2015	5,15	5,15	0,00	89,34	5,15	5,09	5,11	0,00	89,14	5,11	5,31	5,31	0,00	88,98	5,31	5,73	5,79	0,00	88,99	5,79	5,44	5,45	0,00	88,96	5,45
20/10/2015	5,16	5,16	0,00	89,34	5,16	5,09	5,13	0,00	89,12	5,13	5,30	5,30	0,00	88,98	5,30	5,71	5,89	0,00	88,89	5,89	5,45	5,45	0,00	88,96	5,45
21/10/2015	5,16	5,16	0,00	89,34	5,16	5,09	5,14	0,00	89,11	5,14	5,31	5,31	0,00	88,98	5,31	5,71	5,89	0,00	88,89	5,89	5,44	5,45	0,00	88,96	5,45
22/10/2015	5,16	5,16	0,00	89,34	5,16	5,10	5,15	0,00	89,10	5,15	5,31	5,31	0,00	88,97	5,31	5,72	5,90	0,00	88,88	5,90	5,45	5,45	0,00	88,96	5,45
23/10/2015	5,17	5,17	0,00	89,33	5,17	5,11	5,14	0,00	89,11	5,14	5,32	5,32	0,00	88,97	5,32	5,74	5,83	0,00	88,95	5,83	5,45	5,45	0,00	88,96	5,45
24/10/2015	5,17	5,17	0,00	89,32	5,17	5,10	5,13	0,00	89,13	5,13	5,32	5,32	0,00	88,96	5,32	5,75	5,80	0,00	88,98	5,80	6,46	6,46	0,00	87,95	6,46
26/10/2015	5,18	5,18	0,00	89,32	5,18	5,12	5,15	0,00	89,10	5,15	5,33	5,33	0,00	88,95	5,33	5,76	5,81	0,00	88,97	5,81	5,48	5,48	0,00	88,93	5,48
27/10/2015	5,18	5,18	0,00	89,32	5,18	5,11	5,18	0,00	89,07	5,18	5,33	5,33	0,00	88,95	5,33	5,74	5,89	0,00	88,89	5,89	velo	5,48	0,00	88,93	5,48
29/10/2015	5,18	5,18	0,00	89,32	5,18	5,11	5,13	0,00	89,12	5,13	5,33	5,33	0,00	88,96	5,33	5,75	5,78	0,00	89,00	5,78	5,47	5,47	0,00	88,94	5,47
30/10/2015	5,17	5,17	0,00	89,33	5,17	5,11	5,12	0,00	89,13	5,12	5,32	5,32	0,00	88,97	5,32	5,74	5,79	0,00	88,99	5,79	velo	5,47	0,00	88,94	5,47
02/11/2015	5,17	5,17	0,00	89,32	5,17	5,11	5,20	0,00	89,06	5,20	5,33	5,33	0,00	88,96	5,33	5,73	5,98	0,00	88,80	5,98	velo	5,48	0,00	88,93	5,48
03/11/2015	5,18	5,18	0,00	89,32	5,18	5,10	5,24	0,00	89,01	5,24	5,33	5,33	0,00	88,96	5,33	5,73	5,92	0,00	88,86	5,92	velo	5,49	0,00	88,92	5,49
04/11/2015	5,18	5,18	0,00	89,32	5,18	5,12	5,13	0,00	89,12	5,13	5,33	5,33	0,00	88,96	5,33	5,76	5,79	0,00	88,99	5,79	5,49	5,49	0,00	88,92	5,49
05/11/2015	5,18	5,18	0,00	89,32	5,18	5,33	5,34	0,00	88,91	5,34	5,33	5,33	0,00	88,95	5,33	5,76	5,79	0,00	88,99	5,79	velo	5,49	0,00	88,92	5,49
06/11/2015	5,18	5,18	0,00	89,32	5,18	5,13	5,13	0,00	89,12	5,13	5,33	5,33	0,00	88,95	5,33	5,76	5,79	0,00	88,99	5,79	5,50	5,50	0,00	88,91	5,50
09/11/2015	5,19	5,19	0,00	89,31	5,19	5,12	5,18	0,00	89,07	5,18	5,34	5,34	0,00	88,95	5,34	5,74	5,88	0,00	88,90	5,88	5,51	5,51	0,00	88,90	5,51
10/11/2015	5,19	5,19	0,00	89,31	5,19	5,13	5,15	0,00	89,10	5,15	5,34	5,34	0,00	88,94	5,34	5,77	5,81	0,00	88,97	5,81	5,51	5,51	0,00	88,90	5,51
11/11/2015	5,18	5,18	0,00	89,32	5,18	5,12	5,15	0,00	89,10	5,15	5,34	5,34	0,00	88,95	5,34	5,75	5,86	0,00	88,92	5,86	5,51	5,51	0,00	88,90	5,51
12/11/2015	5,17	5,17	0,00	89,33	5,17	5,10	5,15	0,00	89,10	5,15	5,32	5,32	0,00	88,96	5,32	5,72	5,91	0,00	88,87	5,91	5,49	5,50	0,00	88,91	5,50
13/11/2015	5,16	5,16	0,00	89,34	5,16	5,10	5,12	0,00	89,13	5,12	5,32	5,3													

Data	PZ1 0151500091					PZ2 * 0151500092					PZ3 0151500093					PZ4 * 0151500094					PZ6 * 0151500096				
	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 1	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 1	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 1
	494858,245	5021574,907	94,497	94,285		494841,687	5021549,197	94,250	94,082		494836,941	5021529,411	94,286	94,010		494827,380	5021554,098	94,778	94,566		494823,142	5021538,790	94,409	94,296	
	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta
	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]
25/02/2016	5,32	5,32	0,00	89,17	5,32	5,27	5,27	0,00	88,99	5,27	velo	5,47	0,00	88,82	5,47	5,91	5,91	0,00	88,86	5,91	5,67	5,73	0,00	88,68	5,73
26/02/2016	5,33	5,33	0,00	89,17	5,33	5,29	5,29	0,00	88,96	5,29	velo	5,47	0,00	88,81	5,47	5,90	5,95	0,00	88,83	5,95	5,68	5,85	0,00	88,56	5,85
29/02/2016	5,32	5,32	0,00	89,18	5,32	5,24	5,29	0,00	88,96	5,29	velo	5,44	0,00	88,85	5,44	5,89	5,89	0,00	88,89	5,89	5,64	5,80	0,00	88,61	5,80
01/03/2016	5,32	5,32	0,00	89,18	5,32	5,18	5,20	0,00	89,05	5,20	5,38	5,38	0,00	88,90	5,38	5,85	5,85	0,00	88,93	5,85	5,57	5,75	0,00	88,66	5,75
02/03/2016	5,16	5,16	0,00	89,34	5,16	5,11	5,11	0,00	89,14	5,11	5,32	5,32	0,00	88,97	5,32	5,76	5,76	0,00	89,02	5,76	5,49	5,71	0,00	88,70	5,71
03/03/2016	5,13	5,13	0,00	89,37	5,13	5,08	5,08	0,00	89,17	5,08	5,28	5,28	0,00	89,01	5,28	5,74	5,74	0,00	89,04	5,74	5,43	5,66	0,00	88,75	5,66
04/03/2016	5,13	5,13	0,00	89,37	5,13	n.r		n.r		5,27		5,27	0,00	89,01	5,27	5,72	5,72	0,00	89,06	5,72	5,42	5,59	0,00	88,82	5,59
07/03/2016	4,99	4,99	0,00	89,50	4,99	4,93	4,93	0,00	89,32	4,93	5,14	5,14	0,00	89,14	5,14	5,58	5,64	0,00	89,14	5,64	5,25	5,42	0,00	88,99	5,42
08/03/2016	4,89	4,89	0,00	89,61	4,89	4,92	4,92	0,00	89,33	4,92	5,05	5,05	0,00	89,24	5,05	5,51	5,53	0,00	89,25	5,53	5,24	5,40	0,00	89,01	5,40
09/03/2016	5,02	5,02	0,00	89,48	5,02	4,98	4,98	0,00	89,27	4,98	5,17	5,17	0,00	89,12	5,17	5,58	5,65	0,00	89,13	5,65	5,27	5,44	0,00	88,97	5,44
10/03/2016	5,05	5,05	0,00	89,44	5,05	4,99	4,99	0,00	89,26	4,99	5,19	5,19	0,00	89,10	5,19	5,52	5,63	0,00	89,15	5,63	5,31	5,44	0,00	88,97	5,44
11/03/2016	5,07	5,07	0,00	89,43	5,07	5,01	5,01	0,00	89,24	5,01	5,21	5,21	0,00	89,08	5,21	5,64	5,68	0,00	89,10	5,68	5,34	5,48	0,00	88,93	5,48
15/03/2016	5,17	5,17	0,00	89,33	5,17	5,10	5,10	0,00	89,15	5,10	5,30	5,30	0,00	88,99	5,30	5,73	5,77	0,00	89,01	5,77	5,46	5,60	0,00	88,81	5,60
16/03/2016	5,19	5,19	0,00	89,31	5,19	5,12	5,12	0,00	89,13	5,12	5,32	5,32	0,00	88,97	5,32	5,75	5,79	0,00	88,99	5,79	5,48	5,62	0,00	88,79	5,62
17/03/2016	5,21	5,21	0,00	89,29	5,21	5,13	5,13	0,00	89,12	5,13	5,33	5,33	0,00	88,96	5,33	5,78	5,78	0,00	89,00	5,78	5,51	5,65	0,00	88,76	5,65
18/03/2016	5,22	5,22	0,00	89,28	5,22	5,17	5,17	0,00	89,08	5,17	5,35	5,35	0,00	88,94	5,35	5,81	5,81	0,00	88,97	5,81	5,53	5,67	0,00	88,74	5,67
21/03/2016	5,28	5,28	0,00	89,22	5,28	5,10	5,10	0,00	89,15	5,10	5,39	5,39	0,00	88,90	5,39	5,64	5,64	0,00	89,14	5,64	5,57	5,61	0,00	88,80	5,61
22/03/2016	5,47	5,47	0,00	89,03	5,47	5,20	5,23	0,00	89,02	5,23	5,41	5,41	0,00	88,88	5,41	5,64	5,64	0,00	89,14	5,64	5,62	5,65	0,00	88,76	5,65
23/03/2016	5,28	5,28	0,00	89,22	5,28	velo	5,22	0,00	89,03	5,22	5,42	5,42	0,00	88,87	5,42	5,88	5,88	0,00	88,90	5,88	velo	5,62	0,00	88,79	5,62
24/03/2016	5,03	5,03	0,00	89,47	5,03	5,24	5,25	0,00	89,00	5,25	5,42	5,42	0,00	88,87	5,42	5,90	5,90	0,00	88,88	5,90	5,65	5,68	0,00	88,73	5,68
25/03/2016	5,30	5,30	0,00	89,20	5,30	velo	5,24	0,00	89,01	5,24	5,44	5,44	0,00	88,85	5,44	5,91	5,91	0,00	88,87	5,91	5,65	5,67	0,00	88,74	5,67
29/03/2016	5,37	5,37	0,00	89,13	5,37	velo	5,30	0,00	88,95	5,30	5,60	5,60	0,00	88,69	5,60	5,94	5,94	0,00	88,84	5,94	velo	5,71	0,00	88,70	5,71
31/03/2016	5,34	5,34	0,00	89,16	5,34	velo	5,29	0,00	88,96	5,29	5,48	5,48	0,00	88,81	5,48	5,94	5,94	0,00	88,84	5,94	velo	5,70	0,00	88,71	5,70
01/04/2016	5,35	5,35	0,00	89,15	5,35	velo	5,29	0,00	88,96	5,29	5,49	5,49	0,00	88,80	5,49	5,96	5,96	0,00	88,82	5,96	velo	5,70	0,00	88,71	5,70
04/04/2016	5,37	5,37	0,00	89,13	5,37	5,30	5,37	0,00	88,88	5,37	5,51	5,51	0,00	88,78	5,51	5,96	5,99	0,00	88,79	5,99	6,67	6,67	0,00	87,74	6,67

Data	PZ1 0151500091					PZ2 * 0151500092					PZ3 0151500093					PZ4 * 0151500094					PZ6 * 0151500096				
	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 1	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 1	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 1
	494858,245	5021574,907	94,497	94,285		494841,687	5021549,197	94,250	94,082		494836,941	5021529,411	94,286	94,010		494827,380	5021554,098	94,778	94,566		494823,142	5021538,790	94,409	94,296	
	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta
	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]
01/07/2016	4,48	4,48	0,00	90,02	4,48	4,44	4,44	0,00	89,81	4,44	4,65	4,65	0,00	89,64	4,65	5,05	5,05	0,00	89,73	5,05	velo	4,80	0,00	89,61	4,80
04/07/2016	4,35	4,35	0,00	90,15	4,35	4,30	4,30	0,00	89,95	4,30	4,53	4,53	0,00	89,76	4,53	4,91	4,91	0,00	89,87	4,91	velo	4,66	0,00	89,75	4,66
05/07/2016	4,45	4,45	0,00	90,05	4,45	4,41	4,41	0,00	89,84	4,41	4,63	4,63	0,00	89,66	4,63	5,02	5,02	0,00	89,76	5,02	velo	4,77	0,00	89,64	4,77
06/07/2016	4,50	4,50	0,00	90,00	4,50	4,47	4,47	0,00	89,78	4,47	4,68	4,68	0,00	89,61	4,68	5,08	5,08	0,00	89,70	5,08	velo	4,63	0,00	89,78	4,63
07/07/2016	4,40	4,40	0,00	90,10	4,40	4,40	4,40	0,00	89,85	4,40	4,63	4,63	0,00	89,66	4,63	5,03	5,03	0,00	89,75	5,03	velo	4,79	0,00	89,62	4,79
08/07/2016	4,40	4,40	0,00	90,10	4,40	4,38	4,38	0,00	89,87	4,38	4,62	4,62	0,00	89,67	4,62	4,98	4,98	0,00	89,80	4,98	velo	4,75	0,00	89,66	4,75
11/07/2016	4,32	4,32	0,00	90,18	4,32	4,28	4,28	0,00	89,97	4,28	4,52	4,52	0,00	89,77	4,52	4,89	4,89	0,00	89,89	4,89	velo	5,64	0,00	88,77	5,64
12/07/2016	4,39	4,39	0,00	90,11	4,39	4,25	4,25	0,00	90,00	4,25	4,57	4,57	0,00	89,72	4,57	4,96	4,96	0,00	89,82	4,96	velo	4,72	0,00	89,69	4,72
13/07/2016	4,38	4,38	0,00	90,12	4,38	4,31	4,31	0,00	89,95	4,31	4,58	4,58	0,00	89,71	4,58	4,97	4,97	0,00	89,81	4,97	velo	4,73	0,00	89,68	4,73
14/07/2016	4,38	4,38	0,00	90,12	4,38	4,37	4,37	0,00	89,88	4,37	4,60	4,60	0,00	89,69	4,60	4,97	4,97	0,00	89,80	4,97	velo	4,74	0,00	89,67	4,74
15/07/2016	4,38	4,38	0,00	90,12	4,38	4,27	4,27	0,00	89,98	4,27	4,55	4,55	0,00	89,74	4,55	4,98	4,98	0,00	89,80	4,98	velo	4,71	0,00	89,70	4,71
18/07/2016	4,30	4,30	0,00	90,20	4,30	4,28	4,28	0,00	89,97	4,28	4,52	4,52	0,00	89,77	4,52	4,89	4,89	0,00	89,89	4,89	velo	4,65	0,00	89,76	4,65
19/07/2016	4,29	4,29	0,00	90,21	4,29	4,27	4,27	0,00	89,98	4,27	4,50	4,50	0,00	89,79	4,50	4,89	4,89	0,00	89,89	4,89	4,65	4,65	0,00	89,76	4,65
20/07/2016	4,13	4,13	0,00	90,37	4,13	4,15	4,15	0,00	90,10	4,15	4,43	4,43	0,00	89,86	4,43	4,75	4,75	0,00	90,03	4,75	4,73	4,73	0,00	89,68	4,73
21/07/2016	4,06	4,06	0,00	90,44	4,06	4,09	4,09	0,00	90,16	4,09	4,35	4,35	0,00	89,94	4,35	4,65	4,65	0,00	90,13	4,65	4,61	4,61	0,00	89,80	4,61
22/07/2016	3,74	3,74	0,00	90,76	3,74	3,74	3,74	0,00	90,51	3,74	4,09	4,09	0,00	90,20	4,09	4,29	4,29	0,00	90,49	4,29	4,10	4,10	0,00	90,31	4,10
25/07/2016	4,37	4,37	0,00	90,13	4,37	4,31	4,31	0,00	89,94	4,31	4,56	4,56	0,00	89,73	4,56	4,94	4,94	0,00	89,84	4,94	velo	4,71	0,00	89,70	4,71
26/07/2016	4,41	4,41	0,00	90,09	4,41	4,38	4,38	0,00	89,87	4,38	4,60	4,60	0,00	89,69	4,60	4,99	4,99	0,00	89,79	4,99	velo	4,75	0,00	89,66	4,75
27/07/2016	4,40	4,40	0,00	90,10	4,40	4,35	4,35	0,00	89,90	4,35	4,60	4,60	0,00	89,69	4,60	4,96	4,96	0,00	89,82	4,96	4,73	4,73	0,00	89,68	4,73
28/07/2016	4,32	4,32	0,00	90,18	4,32	4,30	4,30	0,00	89,95	4,30	4,56	4,56	0,00	89,73	4,56	4,90	4,90	0,00	89,88	4,90	4,71	4,71	0,00	89,70	4,71
29/07/2016	4,25	4,25	0,00	90,25	4,25	4,24	4,24	0,00	90,01	4,24	4,52	4,52	0,00	89,77	4,52	4,83	4,83	0,00	89,95	4,83	velo	4,61	0,00	89,80	4,61
01/08/2016	3,92	3,92	0,00	90,58	3,92	3,94	3,94	0,00	90,31	3,94	4,31	4,31	0,00	89,98	4,31	4,47	4,47	0,00	90,31	4,47	velo	4,28	0,00	90,13	4,28
02/08/2016	3,92	3,92	0,00	90,58	3,92	3,94	3,94	0,00	90,31	3,94	4,31	4,31	0,00	89,98	4,31	4,47	4,47	0,00	90,31	4,47	velo	4,28	0,00	90,13	4,28
04/08/2016	4,24	4,24	0,00	90,26	4,24	4,22	4,22	0,00	90,04	4,22	4,47	4,47	0,00	89,82	4,47	4,83	4,83	0,00	89,95	4,83	4,59	4,59	0,00	89,82	4,59
05/08/2016	4,28	4,28	0,00	90,22	4,28	4,27	4,27	0,00	89,99	4,27	4,51	4,51	0,00	89,78	4,51	4,87	4,87	0,00	89,91						

ALLEGATO I
Rilievi freatimetrici



Data	PZ1 0151500091					PZ2 * 0151500092					PZ3 0151500093					PZ4 * 0151500094					PZ6 * 0151500096				
	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 1	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 1	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 1
	494858,245	5021574,907	94,497	94,285		494841,687	5021549,197	94,250	94,082		494836,941	5021529,411	94,286	94,010		494827,380	5021554,098	94,778	94,566		494823,142	5021538,790	94,409	94,296	
	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta
	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]
28/12/2016	5,33	5,33	0,00	89,17	5,33	velo	5,32	0,00	88,93	5,32	5,49	5,49	0,00	88,80	5,49	5,92	6,00	0,00	88,78	6,00	velo	5,70	0,00	88,71	5,70
29/12/2016	5,35	5,35	0,00	89,15	5,35	velo	5,33	0,00	88,92	5,33	5,49	5,49	0,00	88,80	5,49	5,94	6,00	0,00	88,78	6,00	velo	5,72	0,00	88,69	5,72
04/01/2017	5,32	5,32	0,00	89,18	5,32	5,38	5,45	0,00	88,81	5,45	5,44	5,44	0,00	88,85	5,44	5,88	5,99	0,00	88,79	5,99	5,66	5,67	0,00	88,74	5,67
05/01/2017	5,32	5,32	0,00	89,18	5,32	5,41	5,43	0,00	88,82	5,43	5,46	5,46	0,00	88,83	5,46	5,90	5,97	0,00	88,81	5,97	5,62	5,65	0,00	88,76	5,65
09/01/2017	5,34	5,34	0,00	89,16	5,34	5,28	5,48	0,00	88,77	5,48	5,49	5,49	0,00	88,80	5,49	5,99	6,04	0,00	88,74	6,04	5,70	5,72	0,00	88,69	5,72
11/01/2017	5,30	5,30	0,00	89,20	5,30	5,28	5,48	0,00	88,77	5,48	5,50	5,50	0,00	88,79	5,50	5,88	5,92	0,00	88,86	5,92	5,57	5,61	0,00	88,80	5,61
16/01/2017	5,35	5,35	0,00	89,15	5,35	5,35	5,50	0,00	88,75	5,50	5,48	5,48	0,00	88,81	5,48	6,00	6,10	0,00	88,68	6,10	5,72	5,80	0,00	88,61	5,80
17/01/2017	5,36	5,36	0,00	89,14	5,36	5,34	5,51	0,00	88,74	5,51	5,47	5,47	0,00	88,82	5,47	6,00	6,10	0,00	88,68	6,10	5,74	5,81	0,00	88,60	5,81
19/01/2017	5,37	5,37	0,00	89,13	5,37	5,44	5,56	0,00	88,69	5,56	5,51	5,51	0,00	88,78	5,51	6,08	6,13	0,00	88,65	6,13	5,84	5,97	0,00	88,44	5,97
23/01/2017	5,37	5,37	0,00	89,13	5,37	5,38	5,40	0,00	88,85	5,40	5,52	5,52	0,00	88,77	5,52	5,99	6,03	0,00	88,75	6,03	5,75	5,77	0,00	88,64	5,77
25/01/2017	5,36	5,36	0,00	89,14	5,36	5,42	5,50	0,00	88,75	5,50	5,50	5,50	0,00	88,79	5,50	5,95	5,98	0,00	88,80	5,98	5,81	5,85	0,00	88,56	5,85
30/01/2017	5,38	5,38	0,00	89,12	5,38	5,49	5,52	0,00	88,73	5,52	5,53	5,53	0,00	88,76	5,53	velo	6,01	0,00	88,77	6,01	5,80	5,89	0,00	88,52	5,89

DTW=Profondità della superficie freatica dal boccapozzo (m)
DTP= Profondità del prodotto in galleggiamento dal boccapozzo (m)

ALLEGATO I
Rilievi freatimetrici



Data	PZ5 * 0151500095					PZ7 * 0151500097					PZ8 * 0151500098					PZ9 * 0151500099					PZ10 * 0151500100					PZ11 * 0151500101							
	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 2	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 2	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 2	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 2	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 2	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]					
	494712,560	5021420,692	94,527	94,26		494685,512	5021437,978	94,111	94,146		494687,213	5021467,494	94,362	94,186		494686,231	5021451,826	94,385	94,351		494723,982	5021410,573	94,469	94,264		494735,969	5021394,842	94,301					
	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto apparente	Quota falda corretta	Soggiacienza falda corretta	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto apparente	Quota falda corretta	Soggiacienza falda corretta	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto apparente	Quota falda corretta	Soggiacienza falda corretta	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto apparente	Quota falda corretta	Soggiacienza falda corretta	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto apparente	Quota falda corretta	Soggiacienza falda corretta	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto apparente					
[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]					
14/10/2015	6,48	6,48	0,00	88,05	6,48		n.r.					n.r.					n.r.					n.r.					n.r.						
16/10/2015	6,48	6,48	0,00	88,05	6,48		n.r.					n.r.					n.r.					n.r.					n.r.						
18/10/2015	6,47	6,47	0,00	88,06	6,47		n.r.					n.r.					n.r.					n.r.					n.r.						
19/10/2015	6,47	6,47	0,00	88,06	6,47		n.r.					n.r.					n.r.					n.r.					n.r.						
20/10/2015	6,45	6,45	0,00	88,08	6,45	5,84	9,19	0,00	84,93	9,19	6,29	6,29	0,00	88,07	6,29			n.r.				n.r.					n.r.						
21/10/2015	6,45	6,45	0,00	88,08	6,45	6,21	7,02	0,00	87,09	7,02	6,24	6,24	0,00	88,12	6,24			n.r.				n.r.					n.r.						
22/10/2015	6,45	6,45	0,00	88,08	6,45	6,43	6,43	0,00	87,68	6,43			n.r.					n.r.					n.r.				n.r.						
23/10/2015	6,46	6,46	0,00	88,07	6,46	6,34	6,96	0,00	87,15	6,96	6,21	6,22	0,00	88,15	6,22			n.r.				n.r.					n.r.						
24/10/2015	6,46	6,46	0,00	88,07	6,46	6,26	6,43	0,00	87,68	6,43	6,20	6,20	0,00	88,16	6,20			n.r.				n.r.					n.r.						
26/10/2015	6,46	6,46	0,00	88,07	6,46	6,19	6,25	0,00	87,86	6,25	6,18	6,18	0,00	88,18	6,18			n.r.				n.r.					n.r.						
27/10/2015	6,46	6,46	0,00	88,07	6,46	6,25	6,36	0,00	87,75	6,36	velo	6,18	0,00	88,18	6,18			n.r.				n.r.					n.r.						
29/10/2015	6,45	6,45	0,00	88,08	6,45	6,24	6,48	0,00	87,64	6,48	6,14	6,14	0,00	88,23	6,14			n.r.				n.r.					n.r.						
30/10/2015	6,45	6,45	0,00	88,08	6,45	6,27	6,48	0,00	87,63	6,48	velo	6,13	0,00	88,23	6,13			n.r.				n.r.			6,47	6,64	0,00	87,83	6,64	6,46	6,46	0,00	
02/11/2015	6,46	6,46	0,00	88,07	6,46	6,27	6,47	0,00	87,65	6,47	velo	6,32	0,00	88,05	6,32	6,13	6,14	0,00	88,25	6,14	6,48	6,82	0,00	87,65	6,82	6,48	6,82	0,00	87,65	6,82	6,49	6,49	0,00
03/11/2015	6,45	6,45	0,00	88,08	6,45	6,25	6,33	0,00	87,79	6,33	velo	6,33	0,00	88,03	6,33	6,13	6,13	0,00	88,25	6,13	6,49	6,80	0,00	87,67	6,80	6,48	6,80	0,00	87,67	6,80	6,48	6,48	0,00
04/11/2015	6,46	6,46	0,00	88,07	6,46	6,23	6,25	0,00	87,86	6,25	6,32	6,32	0,00	88,05	6,32	6,13	6,13	0,00	88,25	6,13	6,49	6,72	0,00	87,75	6,72	6,47	6,72	0,00	87,75	6,72	6,47	6,47	0,00
05/11/2015	velo	6,46	0,00	88,07	6,46	6,28	6,32	0,00	87,79	6,32	6,31	6,31	0,00	88,05	6,31	velo	6,13	0,00	88,25	6,13	6,49	6,75	0,00	87,72	6,75	6,48	6,75	0,00	87,72	6,75	6,48	6,48	0,00
06/11/2015	6,46	6,46	0,00	88,07	6,46	6,25	6,32	0,00	87,79	6,32	velo	6,45	0,00	87,92	6,45	velo	6,14	0,00	88,25	6,14	6,52	6,61	0,00	87,86	6,61	6,48	6,61	0,00	87,86	6,61	6,48	6,48	0,00
09/11/2015	6,46	6,46	0,00	88,06	6,46	6,42	6,42	0,00	87,69	6,42	6,42	6,42	0,00	87,95	6,42	velo	6,14	0,00	88,25	6,14	6,50	6,72	0,00	87,75	6,72	6,48	6,72	0,00	87,75	6,72	6,48	6,48	0,00
10/11/2015	6,46	6,46	0,00	88,06	6,46	6,33	6,33	0,00	87,78	6,33	velo	6,41	0,00	87,95	6,41	6,14	6,14	0,00	88,25	6,14	6,50	6,68	0,00	87,79	6,68	6,48	6,68	0,00	87,79	6,68	6,48	6,48	0,00
11/11/2015	6,47	6,47	0,00	88,06	6,47	6,28	6,35	0,00	87,77	6,35	6,41	6,41	0,00	87,96	6,41	6,14	6,14	0,00	88,24	6,14	6,50	6,67	0,00	87,80	6,67	6,48	6,67	0,00	87,80	6,67	6,48	6,48	0,00
12/11/2015	6,45	6,45	0,00	88,07	6,45	6,22	6,53	0,00	87,58	6,53	6,34	6,34	0,00	88,02	6,34	6,13	6,13	0,00	88,25	6,13	6,49	6,69	0,00	87,78	6,69	6,48	6,69	0,00	87,78	6,69	6,48	6,47	0,00
13/11/2015	4,45	4,45	0,00	90,08	4,45	6,28	6,33	0,00	87,78	6,33	6,38	6,38	0,00	87,98	6,38	6,12	6,12	0,00	88,26	6,12	6,48	6,67	0,00	87,80	6,67	6,46	6,67	0,00	87,80	6,67	6,46	6,49	0,00
17/11/2015	6,46	6,46	0,00	88,07	6,46	6,28	6,33	0,00	87,78	6,33	6,37	6,37	0,00	87,99	6,37	6,1																	

ALLEGATO I
Rilievi freatimetrici



Data	PZ5 * 0151500095					PZ7 * 0151500097					PZ8 * 0151500098					PZ9 * 0151500099					PZ10 * 0151500100					PZ11 * 0151500101		
	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 2	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 2	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 2	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 2	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 2	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]
	494712,560	5021420,692	94,527	94,26		494685,512	5021437,978	94,111	94,146		494687,213	5021467,494	94,362	94,186		494686,231	5021451,826	94,385	94,351		494723,982	5021410,573	94,469	94,264		494735,969	5021394,842	94,301
	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto apparente	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto apparente	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto apparente	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto apparente	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto apparente	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto apparente
[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]
23/03/2016	6,76	6,76	0,00	87,77	6,76	6,60	6,60	0,00	87,52	6,60	6,43	6,43	0,00	87,93	6,43	6,26	6,26	0,00	88,13	6,26	6,64	6,64	0,00	87,83	6,64	6,62	6,62	0,00
24/03/2016	6,58	6,58	0,00	87,95	6,58	6,65	6,65	0,00	87,47	6,65	6,50	6,50	0,00	87,86	6,50	6,27	6,27	0,00	88,12	6,27	6,66	6,66	0,00	87,81	6,66	6,62	6,62	0,00
25/03/2016	6,60	6,60	0,00	87,93	6,60	6,64	6,64	0,00	87,48	6,64	6,48	6,48	0,00	87,88	6,48	6,28	6,28	0,00	88,11	6,28	6,67	6,67	0,00	87,80	6,67	6,63	6,63	0,00
29/03/2016	6,64	6,64	0,00	87,89	6,64	6,67	6,67	0,00	87,45	6,67	6,59	6,59	0,00	87,77	6,59	6,33	6,33	0,00	88,06	6,33	6,73	6,73	0,00	87,74	6,73	6,68	6,68	0,00
31/03/2016	6,62	6,62	0,00	87,91	6,62	velo	6,71	0,00	87,40	6,71	6,58	6,58	0,00	87,78	6,58	6,32	6,32	0,00	88,07	6,32	6,74	6,74	0,00	87,73	6,74	6,68	6,68	0,00
01/04/2016	6,65	6,65	0,00	87,88	6,65	velo	6,81	0,00	87,30	6,81	6,67	6,67	0,00	87,69	6,67	6,32	6,32	0,00	88,07	6,32	velo	6,75	0,00	87,72	6,75	6,70	6,70	0,00
04/04/2016	6,65	6,65	0,00	87,88	6,65	velo	6,82	0,00	87,29	6,82	6,68	6,68	0,00	87,68	6,68	6,33	6,33	0,00	88,06	6,33	velo	6,76	0,00	87,71	6,76	6,71	6,71	0,00
05/04/2016	6,67	6,67	0,00	87,86	6,67	velo	6,76	0,00	87,35	6,76	6,61	6,61	0,00	87,75	6,61	6,35	6,35	0,00	88,04	6,35	velo	6,77	0,00	87,70	6,77	6,71	6,71	0,00
06/04/2016	6,68	6,68	0,00	87,85	6,68	6,71	6,71	0,00	87,40	6,71	6,61	6,61	0,00	87,75	6,61	6,35	6,35	0,00	88,04	6,35	velo	6,77	0,00	87,70	6,77	6,72	6,72	0,00
07/04/2016	6,68	6,68	0,00	87,85	6,68	6,70	6,70	0,00	87,42	6,70	6,62	6,62	0,00	87,74	6,62	6,36	6,36	0,00	88,03	6,36	velo	6,77	0,00	87,70	6,77	6,72	6,72	0,00
08/04/2016	6,67	6,67	0,00	87,86	6,67	6,80	6,80	0,00	87,32	6,80	6,62	6,62	0,00	87,74	6,62	6,35	6,35	0,00	88,04	6,35	velo	6,77	0,00	87,70	6,77	6,70	6,70	0,00
11/04/2016	6,68	6,68	0,00	87,85	6,68	velo	6,81	0,00	87,30	6,81	velo	6,66	0,00	87,70	6,66	6,36	6,36	0,00	88,03	6,36	6,77	6,80	0,00	87,67	6,80	6,72	6,72	0,00
12/04/2016	6,69	6,69	0,00	87,84	6,69	velo	6,82	0,00	87,29	6,82	6,68	6,68	0,00	87,68	6,68	6,37	6,37	0,00	88,02	6,37	6,77	6,80	0,00	87,67	6,80	6,73	6,73	0,00
13/04/2016	6,68	6,68	0,00	87,85	6,68	6,60	6,60	0,00	87,52	6,60	velo	6,67	0,00	87,69	6,67	6,37	6,37	0,00	88,02	6,37	6,78	6,80	0,00	87,67	6,80	6,72	6,72	0,00
14/04/2016	6,63	6,63	0,00	87,90	6,63	velo	6,59	0,00	87,52	6,59	6,54	6,54	0,00	87,82	6,54	6,32	6,32	0,00	88,07	6,32	velo	6,72	0,00	87,75	6,72	6,67	6,67	0,00
15/04/2016	6,60	6,60	0,00	87,93	6,60	velo	6,56	0,00	87,55	6,56	6,60	6,60	0,00	87,76	6,60	6,31	6,31	0,00	88,08	6,31	velo	6,68	0,00	87,79	6,68	6,64	6,64	0,00
18/04/2016	6,50	6,50	0,00	88,03	6,50	6,34	6,35	0,00	87,77	6,35	6,33	6,33	0,00	88,04	6,33	6,21	6,21	0,00	88,18	6,21	velo	6,55	0,00	87,92	6,55	6,53	6,53	0,00
19/04/2016	6,82	6,82	0,00	87,71	6,82	6,42	6,42	0,00	87,70	6,42	6,64	6,64	0,00	87,72	6,64	6,36	6,36	0,00	88,02	6,36	velo	6,68	0,00	87,79	6,68	6,68	6,68	0,00
20/04/2016	6,38	6,38	0,00	88,15	6,38	6,14	6,14	0,00	87,98	6,14	velo	6,19	0,00	88,17	6,19	6,23	6,23	0,00	88,16	6,23	velo	6,43	0,00	88,04	6,43	6,43	6,43	0,00
21/04/2016	6,37	6,37	0,00	88,16	6,37	5,98	5,98	0,00	88,14	5,98	velo	6,17	0,00	88,19	6,17	velo	6,11	0,00	88,28	6,11	6,70	6,70	0,00	87,77	6,70	6,71	6,71	0,00
22/04/2016	6,30	6,30	0,00	88,23	6,30	velo	5,93	0,00	88,18	5,93	velo	6,13	0,00	88,23	6,13	6,10	6,10	0,00	88,29	6,10	6,35	6,35	0,00	88,12	6,35	6,33	6,33	0,00
26/04/2016	6,06	6,06	0,00	88,47	6,06	5,61	5,61	0,00	88,50	5,61	velo	5,82	0,00	88,54	5,82	5,86	5,86	0,00	88,53	5,86								

ALLEGATO I
Rilievi freatimetrici



Data	PZ5 * 0151500095					PZ7 * 0151500097					PZ8 * 0151500098					PZ9 * 0151500099					PZ10 * 0151500100					PZ11 * 0151500101		
	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 2	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 2	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 2	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 2	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	P&S - Area 2	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]
	494712,560	5021420,692	94,527	94,26		494685,512	5021437,978	94,111	94,146		494687,213	5021467,494	94,362	94,186		494686,231	5021451,826	94,385	94,351		494723,982	5021410,573	94,469	94,264		494735,969	5021394,842	94,301
	Sociacenza prodotto - DTP	Sociacenza falda - DTW	spessore prodotto apparente	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacenza prodotto - DTP	Sociacenza falda - DTW	spessore prodotto apparente	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacenza prodotto - DTP	Sociacenza falda - DTW	spessore prodotto apparente	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacenza prodotto - DTP	Sociacenza falda - DTW	spessore prodotto apparente	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacenza prodotto - DTP	Sociacenza falda - DTW	spessore prodotto apparente	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacenza prodotto - DTP	Sociacenza falda - DTW	spessore prodotto apparente
[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]
22/08/2016	5,66	5,66	0,00	88,87	5,66	5,27	5,27	0,00	88,85	5,27	5,49	5,49	0,00	88,88	5,49	5,55	5,55	0,00	88,84	5,55	5,76	5,76	0,00	88,71	5,76	5,70	5,70	0,00
23/08/2016	5,68	5,68	0,00	88,85	5,68	5,32	5,32	0,00	88,80	5,32	5,53	5,53	0,00	88,83	5,53	5,59	5,59	0,00	88,80	5,59	5,81	5,81	0,00	88,66	5,81	5,75	5,75	0,00
24/08/2016	5,71	5,71	0,00	88,82	5,71	5,33	5,33	0,00	88,79	5,33	5,54	5,54	0,00	88,82	5,54	5,60	5,60	0,00	88,79	5,60	5,82	5,82	0,00	88,65	5,82	5,76	5,76	0,00
25/08/2016	5,76	5,76	0,00	88,77	5,76	5,37	5,37	0,00	88,75	5,37	5,59	5,59	0,00	88,77	5,59	5,64	5,64	0,00	88,75	5,64	5,84	5,84	0,00	88,63	5,84	5,80	5,80	0,00
26/08/2016	5,80	5,80	0,00	88,73	5,80	5,41	5,41	0,00	88,71	5,41	5,63	5,63	0,00	88,73	5,63	5,68	5,68	0,00	88,71	5,68	5,88	5,88	0,00	88,59	5,88	5,86	5,86	0,00
29/08/2016	5,93	5,93	0,00	88,60	5,93	5,52	5,52	0,00	88,60	5,52	5,74	5,74	0,00	88,62	5,74	5,78	5,78	0,00	88,61	5,78	6,00	6,00	0,00	88,47	6,00	6,01	6,01	0,00
30/08/2016	5,93	5,93	0,00	88,60	5,93	5,57	5,57	0,00	88,55	5,57	5,76	5,76	0,00	88,60	5,76	5,80	5,80	0,00	88,59	5,80	6,02	6,02	0,00	88,45	6,02	6,00	6,00	0,00
31/08/2016	5,94	5,94	0,00	88,59	5,94	5,57	5,57	0,00	88,55	5,57	5,76	5,76	0,00	88,60	5,76	5,79	5,79	0,00	88,60	5,79	6,04	6,04	0,00	88,43	6,04	6,01	6,01	0,00
01/09/2016	5,94	5,94	0,00	88,59	5,94	5,53	5,53	0,00	88,59	5,53	5,74	5,74	0,00	88,62	5,74	5,79	5,79	0,00	88,60	5,79	6,02	6,02	0,00	88,45	6,02	6,01	6,01	0,00
02/09/2016	5,94	5,94	0,00	88,59	5,94	5,53	5,53	0,00	88,59	5,53	5,73	5,73	0,00	88,63	5,73	5,78	5,78	0,00	88,61	5,78	6,02	6,02	0,00	88,45	6,02	6,01	6,01	0,00
05/09/2016	5,95	5,95	0,00	88,58	5,95	5,53	5,53	0,00	88,59	5,53	5,73	5,73	0,00	88,63	5,73	5,80	5,80	0,00	88,59	5,80	6,03	6,03	0,00	88,44	6,03	6,01	6,01	0,00
06/09/2016	5,92	5,92	0,00	88,61	5,92	5,54	5,54	0,00	88,58	5,54	5,74	5,74	0,00	88,62	5,74	5,80	5,80	0,00	88,59	5,80	6,04	6,04	0,00	88,43	6,04	6,01	6,01	0,00
07/09/2016	5,96	5,96	0,00	88,57	5,96	5,55	5,55	0,00	88,57	5,55	5,74	5,74	0,00	88,62	5,74	5,78	5,78	0,00	88,61	5,78	6,03	6,03	0,00	88,44	6,03	6,10	6,10	0,00
08/09/2016	5,94	5,94	0,00	88,59	5,94	5,53	5,53	0,00	88,59	5,53	5,73	5,73	0,00	88,64	5,73	5,79	5,79	0,00	88,60	5,79	6,03	6,03	0,00	88,44	6,03	6,02	6,02	0,00
09/09/2016	5,95	5,95	0,00	88,58	5,95	5,59	5,59	0,00	88,53	5,59	5,77	5,77	0,00	88,59	5,77	5,82	5,82	0,00	88,57	5,82	6,08	6,08	0,00	88,39	6,08	6,08	6,08	0,00
13/09/2016	5,85	5,85	0,00	88,68	5,85	5,48	5,48	0,00	88,64	5,48	5,08	5,08	0,00	89,28	5,08	5,74	5,74	0,00	88,65	5,74	6,01	6,01	0,00	88,46	6,01	5,98	5,98	0,00
14/09/2016	5,84	5,84	0,00	88,69	5,84	5,51	5,51	0,00	88,61	5,51	5,71	5,71	0,00	88,65	5,71	5,76	5,76	0,00	88,63	5,76	6,02	6,02	0,00	88,45	6,02	5,99	5,99	0,00
15/09/2016			n.r.			5,55	5,55	0,00	88,57	5,55			n.r.		5,80	5,80	0,00	88,59	5,80	5,58	5,58	0,00	88,89	5,58	6,01	6,01	0,00	
16/09/2016	5,99	5,99	0,00	88,54	5,99	5,58	5,58	0,00	88,54	5,58	5,77	5,77	0,00	88,59	5,77	5,84	5,84	0,00	88,55	5,84	6,08	6,08	0,00	88,39	6,08	6,06	6,06	0,00
19/09/2016	6,17	6,17	0,00	88,36	6,17	5,72	5,72	0,00	88,40	5,72	5,94	5,94	0,00	88,42	5,94	6,01	6,01	0,00	88,38	6,01	6,13	6,13	0,00	88,34	6,13	6,25	6,25	0,00
20/09/2016	6,16	6,16	0,00	88,37	6,16	5,71	5,71	0,00	88,41	5,71	5,91	5,91	0,00	88,45	5,91	5,97	5,97	0,00	88,42	5,97	6,15	6,15	0,00	88,32	6,15	6,18	6,18	0,00
22/09/2016	6,20	6,20	0,00	88,33	6,20	5,79	5,79	0,00	88,33	5,79	5,94	5,94	0,00	88,42	5,94	6,01	6,01	0,00	88,38	6,01	6,22	6,22	0,00	88,25	6,22	6,26	6,26	0,00
23/09/2016	6,19	6,19	0,00	88,34	6,19	5,75	5,75	0,00	88,37	5,75	5,94	5,94	0,00	88,42	5,94	5,99	5,99	0,00	88,40	5,99	6,20	6,20	0,00	88,27	6,20	6,22	6,22	0,00
26/09/2016	6,41	6,41	0,00	88,12	6,41	5,90	5,90	0,00	88,22	5,90	6,11	6,11	0,00	88,25	6,11	6,12	6,12	0,00	88,27	6,12	6,32	6,32	0,00	88,15	6,32	6,39	6,39	0,00
27/09/2016	6,42	6,42	0,00	88,11	6,42	5,90	5,90	0,00	88,22	5,90	6,10	6,10	0,00	88,26	6,10	6,09	6,09	0,00	88,30	6,09	6,31	6,31	0,00	88,16	6,31	6,37	6,37	0,00
29/09/2016	6,32	6,32	0,00	88,21	6,32	5,83	5,83	0,00	88,29	5,83	6,04	6,04	0,00	88,32	6,04	6,09	6,09	0,00	88,30	6,09	6,36	6,36	0,00	88,11	6,36	6,35	6,35	0,00
03/10/2016	6,36	6,36	0,00	88,17	6,36	5,84	5,84	0,00	88,28	5,84	6,10	6,10	0,00	88,26	6,10	6,12	6,12	0,00	88,27	6,12	6,44	6,44	0,00	88,03	6,44	6,45	6,45	0,00
05/10/2016	6,49	6,49	0,00	88,04	6,49	6,01	6,01	0,00	88,11	6,01	6,24	6,24	0,00	88,12	6,24	6,27	6,27	0,00	88,12	6,27	6,56	6,56	0,00	87,91	6			

ALLEGATO I
Rilievi freatimetrici



Data	PZ17 0151500107					PZ18 0151500108					PZ19 0151500109					PZ20 0151500110				
	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	
	494439,27	5021240,62	85,65	85,89		494590,09	5021149,09	85,85	86,01		494787,27	5021151,23	86,75	86,88		494422,32	5021361,72	85,88	86,06	
	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta
	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]
02/05/2016	0,59	0,59	0,00	85,06	0,59	0,99	0,99	0,00	84,86	0,99	0,21	0,21	0,00	86,54	0,21	0,49	0,49	0,00	85,39	0,49
03/05/2016	0,60	0,60	0,00	85,05	0,60	1,00	1,00	0,00	84,85	1,00	0,20	0,20	0,00	86,55	0,20	0,49	0,49	0,00	85,39	0,49
04/05/2016	0,60	0,60	0,00	85,05	0,60	0,99	0,99	0,00	84,86	0,99	0,21	0,21	0,00	86,54	0,21	0,49	0,49	0,00	85,39	0,49
05/05/2016	0,59	0,59	0,00	85,06	0,59	1,10	1,10	0,00	84,75	1,10	0,21	0,21	0,00	86,54	0,21	0,48	0,48	0,00	85,40	0,48
06/05/2016	0,58	0,58	0,00	85,07	0,58	1,10	1,10	0,00	84,75	1,10	0,21	0,21	0,00	86,54	0,21	0,48	0,48	0,00	85,40	0,48
09/05/2016	0,63	0,63	0,00	85,02	0,63	1,00	1,00	0,00	84,85	1,00	0,24	0,24	0,00	86,51	0,24	0,56	0,56	0,00	85,32	0,56
10/05/2016	0,62	0,62	0,00	85,03	0,62	0,99	0,99	0,00	84,86	0,99	0,23	0,23	0,00	86,52	0,23	0,55	0,55	0,00	85,33	0,55
11/05/2016	0,66	0,66	0,00	84,99	0,66	1,01	1,01	0,00	84,84	1,01	0,25	0,25	0,00	86,50	0,25	0,55	0,55	0,00	85,33	0,55
12/05/2016	0,53	0,53	0,00	85,12	0,53	0,93	0,93	0,00	84,92	0,93	0,23	0,23	0,00	86,52	0,23	0,45	0,45	0,00	85,43	0,45
16/05/2016	0,61	0,61	0,00	85,04	0,61	1,00	1,00	0,00	84,85	1,00	0,24	0,24	0,00	86,51	0,24	0,49	0,49	0,00	85,39	0,49
17/05/2016	0,63	0,63	0,00	85,02	0,63	1,01	1,01	0,00	84,84	1,01	0,27	0,27	0,00	86,48	0,27	0,52	0,52	0,00	85,36	0,52
18/05/2016	0,64	0,64	0,00	85,01	0,64	1,02	1,02	0,00	84,83	1,02	0,27	0,27	0,00	86,48	0,27	0,51	0,51	0,00	85,37	0,51
19/05/2016	0,63	0,63	0,00	85,02	0,63	1,01	1,01	0,00	84,84	1,01	0,26	0,26	0,00	86,49	0,26	0,50	0,50	0,00	85,38	0,50
20/05/2016	0,58	0,58	0,00	85,07	0,58	0,97	0,97	0,00	84,88	0,97	0,25	0,25	0,00	86,50	0,25	0,49	0,49	0,00	85,39	0,49
23/05/2016	0,61	0,61	0,00	85,04	0,61	1,00	1,00	0,00	84,85	1,00	0,27	0,27	0,00	86,48	0,27	0,50	0,50	0,00	85,38	0,50
24/05/2016	0,61	0,61	0,00	85,04	0,61	1,00	1,00	0,00	84,85	1,00	0,27	0,27	0,00	86,48	0,27	0,51	0,51	0,00	85,37	0,51
25/05/2016	0,61	0,61	0,00	85,04	0,61	1,00	1,00	0,00	84,85	1,00	0,27	0,27	0,00	86,48	0,27	0,51	0,51	0,00	85,37	0,51
26/05/2016	0,62	0,62	0,00	85,03	0,62	1,00	1,00	0,00	84,85	1,00	0,27	0,27	0,00	86,48	0,27	0,51	0,51	0,00	85,37	0,51
27/05/2016	0,63	0,63	0,00	85,02	0,63	1,08	1,08	0,00	84,77	1,08	0,30	0,30	0,00	86,45	0,30	0,52	0,52	0,00	85,36	0,52
30/05/2016	0,57	0,57	0,00	85,08	0,57	0,97	0,97	0,00	84,88	0,97	0,26	0,26	0,00	86,49	0,26	0,47	0,47	0,00	85,41	0,47
31/05/2016	0,54	0,54	0,00	85,11	0,54	0,95	0,95	0,00	84,90	0,95	0,24	0,24	0,00	86,51	0,24	0,45	0,45	0,00	85,43	0,45
01/06/2016	0,55	0,55	0,00	85,10	0,55	0,95	0,95	0,00	84,90	0,95	0,23	0,23	0,00	86,52	0,23	0,45	0,45	0,00	85,43	0,45
03/06/2016	0,56	0,56	0,00	85,09	0,56	0,97	0,97	0,00	84,88	0,97	0,22	0,22	0,00	86,53	0,22	0,46	0,46	0,00	85,42	0,46
06/06/2016	0,58	0,58	0,00	85,07	0,58	0,98	0,98	0,00	84,87	0,98	0,23	0,23	0,00	86,52	0,23	0,47	0,47	0,00	85,41	0,47
07/06/2016	0,57	0,57	0,00	85,08	0,57	0,99	0,99	0,00	84,86	0,99	0,22	0,22	0,00	86,53	0,22	0,46	0,46	0,00	85,42	0,46
08/06/2016	0,58	0,58	0,00	85,07	0,58	0,98	0,98	0,00	84,87	0,98	0,21	0,21	0,00	86,54	0,21	0,47	0,47	0,00	85,41	0,47
09/06/2016	0,58	0,58	0,00	85,07	0,58	0,98	0,98	0,00	84,87	0,98	0,22	0,22	0,00	86,53	0,22	0,47	0,47	0,00	85,41	0,47
10/06/2016	0,59	0,59	0,00	85,06	0,59	1,01	1,01	0,00	84,84	1,01	0,19	0,19	0,00	86,56	0,19	0,47	0,47	0,00	85,41	0,47
13/06/2016	0,61	0,61	0,00	85,04	0,61	1,00	1,00	0,00	84,85	1,00	0,20	0,20	0,00	86,55	0,20	0,49	0,49	0,00	85,39	0,49
14/06/2016	0,60	0,60	0,00	85,05	0,60	1,00	1,00	0,00	84,85	1,00	0,22	0,22	0,00	86,53	0,22	0,40	0,40	0,00	85,48	0,40
15/06/2016	0,51	0,51	0,00	85,14	0,51	0,92	0,92	0,00	84,93	0,92	0,16	0,16	0,00	86,59	0,16	0,42	0,42	0,00	85,46	0,42
16/06/2016	0,50	0,50	0,00	85,15	0,50	0,92	0,92	0,00	84,93	0,92	0,15	0,15	0,00	86,60	0,15	0,40	0,40	0,00	85,48	0,40
17/06/2016	0,49	0,49	0,00	85,16	0,49	0,91	0,91	0,00	84,94	0,91	0,15	0,15	0,00	86,60	0,15	0,41	0,41	0,00	85,47	0,41
20/06/2016	0,50	0,50	0,00	85,15	0,50	0,92	0,92	0,00	84,93	0,92	0,13	0,13	0,00	86,62	0,13	0,42	0,42	0,00	85,46	0,42
21/06/2016	0,53	0,53	0,00	85,12	0,53	0,96	0,96	0,00	84,89	0,96	0,14	0,14	0,00	86,61	0,14	0,42	0,42	0,00	85,46	0,42
22/06/2016	0,57	0,57	0,00	85,08	0,57	0,98	0,98	0,00	84,87	0,98	0,17	0,17	0,00	86,58	0,17	0,44	0,44	0,00	85,44	0,44
23/06/2016	0,53	0,53	0,00	85,12	0,53	0,95	0,95	0,00	84,90	0,95	0,16	0,16	0,00	86,59	0,16	0,42	0,42	0,00	85,46	0,42
24/06/2016	0,56	0,56	0,00	85,09	0,56	0,98	0,98	0,00	84,87	0,98	0,17	0,17	0,00	86,58	0,17	0,46	0,46	0,00	85,42	0,46
27/06/2016	0,44	0,44	0,00	85,21	0,44	0,95	0,95	0,00	84,90	0,95	0,15	0,15	0,00	86,60	0,15	0,40	0,40	0,00	85,48	0,40
28/06/2016	0,39	0,39	0,00	85,26	0,39	0,91	0,91	0,00	84,94	0,91	0,07	0,07	0,00	86,68	0,07	0,32	0,32	0,00	85,56	0,32
29/06/2016	0,48	0,48	0,00	85,17	0,48	1,05	1,05	0,00	84,80	1,05	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,37	0,37	0,00	85,51	0,37
30/06/2016	0,46	0,46	0,00	85,19	0,46	0,92	0,92	0,00	84,93	0,92	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,35	0,35	0,00	85,53	0,35
01/07/2016	0,61	0,61	0,00	85,04	0,61	1,00	1,00	0,00	84,85	1,00	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,46	0,46	0,00	85,42	0,46
04/07/2016	0,51	0,51	0,00	85,14	0,51	0,94	0,94	0,00	84,91	0,94	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,37	0,37	0,00	85,51	0,37
05/07/2016	0,51	0,51	0,00	85,14	0,51	0,95	0,95	0,00	84,90	0,95	0,01	0,01	0,00	86,74	0,01	0,37	0,37	0,00	85,51	0,37
06/07/2016	0,51	0,51	0,00	85,14	0,51	0,95	0,95	0,00	84,90	0,95	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,36	0,36	0,00	85,52	0,36
07/07/2016	0,50	0,50	0,00	85,15	0,50	0,95	0,95	0,00	84,90	0,95	0,09	0,09	0,00	86,66	0,09	0,36	0,36	0,00	85,52	0,36
08/07/2016	0,37	0,37	0,00	85,28	0,37	0,92	0,92	0,00	84,93	0,92	0,01	0,01	0,00	86,74	0,01	0,29	0,29	0,00	85,59	0,29
11/07/2016	0,43	0,43	0,00	85,22	0,43	0,90	0,90	0,00	84,95	0,90	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,30	0,30	0,00	85,58	0,30
12/07/2016	0,47	0,47	0,00	85,18	0,47	0,92	0,92	0,00	84,93	0,92	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,32	0,32	0,00	85,56	0,32
13/07/2016	0,42	0,42	0,00	85,23	0,42	0,89	0,89	0,00	84,96	0,89	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,28	0,28	0,00	85,60	0,28
14/07/2016	0,37	0,37	0,00	85,28	0,37	0,87	0,87	0,00	84,98	0,87	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,25	0,25	0,00	85,63	0,25
15/07/2016	0,46	0,46	0,00	85,19	0,46	0,90	0,90	0,00	84,95	0,90	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,31	0,31	0,00	85,57	0,31
18/07/2016	0,42	0,42	0,00	85,23	0,42	0,89	0,89	0,00	84,96	0,89	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,27	0,27	0,00	85,61	0,27</

ALLEGATO I
Rilievi freatimetrici



Data	PZ17 0151500107					PZ18 0151500108					PZ19 0151500109					PZ20 0151500110				
	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	
	494439,27	5021240,62	85,65	85,89		494590,09	5021149,09	85,85	86,01		494787,27	5021151,23	86,75	86,88		494422,32	5021361,72	85,88	86,06	
	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Soggiacenza prodotto - DTP	Soggiacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta
[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	
16/08/2016	0,37	0,37	0,00	85,28	0,37	0,85	0,85	0,00	85,00	0,85	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,22	0,22	0,00	85,66	0,22
18/08/2016	0,41	0,41	0,00	85,24	0,41	0,88	0,88	0,00	84,97	0,88	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,25	0,25	0,00	85,63	0,25
19/08/2016	0,39	0,39	0,00	85,26	0,39	0,88	0,88	0,00	84,97	0,88	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,30	0,30	0,00	85,58	0,30
22/08/2016	0,43	0,43	0,00	85,23	0,42	0,90	0,90	0,00	84,96	0,89	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,28	0,28	0,00	85,60	0,28
23/08/2016	0,43	0,43	0,00	85,22	0,43	0,90	0,90	0,00	84,95	0,90	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,29	0,29	0,00	85,59	0,29
24/08/2016	0,46	0,46	0,00	85,20	0,45	0,91	0,91	0,00	84,94	0,91	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,31	0,31	0,00	85,57	0,31
25/08/2016	0,45	0,45	0,00	85,20	0,45	0,90	0,90	0,00	84,95	0,90	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,31	0,31	0,00	85,57	0,31
26/08/2016	0,46	0,46	0,00	85,19	0,46	0,91	0,91	0,00	84,94	0,91	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,32	0,32	0,00	85,57	0,31
29/08/2016	0,41	0,41	0,00	85,24	0,41	1,12	1,12	0,00	84,73	1,12	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,35	0,35	0,00	85,53	0,35
30/08/2016	0,48	0,48	0,00	85,17	0,48	0,93	0,93	0,00	84,92	0,93	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,34	0,34	0,00	85,54	0,34
31/08/2016	0,48	0,48	0,00	85,17	0,48	0,92	0,92	0,00	84,93	0,92	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,34	0,34	0,00	85,54	0,34
01/09/2016	0,40	0,40	0,00	85,25	0,40	0,90	0,90	0,00	84,95	0,90	0,09	0,09	0,00	86,66	0,09	0,28	0,28	0,00	85,60	0,28
02/09/2016	0,47	0,47	0,00	85,18	0,47	0,93	0,93	0,00	84,92	0,93	0,09	0,09	0,00	86,66	0,09	0,28	0,28	0,00	85,60	0,28
05/09/2016	0,38	0,38	0,00	85,27	0,38	0,93	0,93	0,00	84,92	0,93	0,04	0,04	0,00	86,71	0,04	0,33	0,33	0,00	85,55	0,33
06/09/2016	0,49	0,49	0,00	85,16	0,49	0,93	0,93	0,00	84,92	0,93	0,02	0,02	0,00	86,73	0,02	0,35	0,35	0,00	85,53	0,35
07/09/2016	0,50	0,50	0,00	85,15	0,50	0,94	0,94	0,00	84,92	0,94	0,07	0,07	0,00	86,68	0,07	0,37	0,37	0,00	85,51	0,37
08/09/2016	0,50	0,50	0,00	85,16	0,50	0,94	0,94	0,00	84,92	0,94	0,08	0,08	0,00	86,67	0,08	0,36	0,36	0,00	85,52	0,36
09/09/2016	0,51	0,51	0,00	85,14	0,51	0,95	0,95	0,00	84,90	0,95	0,06	0,06	0,00	86,69	0,06	0,36	0,36	0,00	85,52	0,36
13/09/2016	0,42	0,42	0,00	85,23	0,42	0,83	0,83	0,00	85,02	0,83	0,00	0,00	0,00	86,75	0,00	0,24	0,24	0,00	85,64	0,24
14/09/2016	0,50	0,50	0,00	85,15	0,50	0,95	0,95	0,00	84,90	0,95	0,08	0,08	0,00	86,67	0,08	0,36	0,36	0,00	85,52	0,36
16/09/2016	0,47	0,47	0,00	85,18	0,47	0,91	0,91	0,00	84,94	0,91	0,08	0,08	0,00	86,67	0,08	0,34	0,34	0,00	85,54	0,34
19/09/2016	0,49	0,49	0,00	85,16	0,49	0,92	0,92	0,00	84,93	0,92	0,14	0,14	0,00	86,61	0,14	0,39	0,39	0,00	85,49	0,39
20/09/2016	0,58	0,58	0,00	85,08	0,58	0,98	0,98	0,00	84,88	0,97	0,20	0,20	0,00	86,55	0,20	0,46	0,46	0,00	85,43	0,45
22/09/2016	0,46	0,46	0,00	85,19	0,46	0,89	0,89	0,00	84,96	0,89	0,20	0,20	0,00	86,55	0,20	0,40	0,40	0,00	85,48	0,40
23/09/2016	0,51	0,51	0,00	85,14	0,51	0,93	0,93	0,00	84,92	0,93	0,21	0,21	0,00	86,54	0,21	0,42	0,42	0,00	85,46	0,42
26/09/2016	0,60	0,60	0,00	85,05	0,60	0,98	0,98	0,00	84,87	0,98	0,25	0,25	0,00	86,50	0,25	0,48	0,48	0,00	85,40	0,48
27/09/2016	0,61	0,61	0,00	85,04	0,61	0,99	0,99	0,00	84,86	0,99	0,27	0,27	0,00	86,48	0,27	0,48	0,48	0,00	85,40	0,48
29/09/2016	0,64	0,64	0,00	85,01	0,64	1,02	1,02	0,00	84,83	1,02	0,31	0,31	0,00	86,44	0,31	0,54	0,54	0,00	85,34	0,54
03/10/2016	1,12	1,12	0,00	84,53	1,12	1,05	1,05	0,00	84,80	1,05	0,36	0,36	0,00	86,39	0,36	0,56	0,56	0,00	85,32	0,56
05/10/2016	0,68	0,68	0,00	84,97	0,68	1,05	1,05	0,00	84,80	1,05	0,37	0,37	0,00	86,38	0,37	0,57	0,57	0,00	85,31	0,57
10/10/2016	0,66	0,66	0,00	84,99	0,66	1,02	1,02	0,00	84,83	1,02	0,38	0,38	0,00	86,37	0,38	0,57	0,57	0,00	85,31	0,57
12/10/2016	0,68	0,68	0,00	84,97	0,68	1,05	1,05	0,00	84,80	1,05	0,40	0,40	0,00	86,35	0,40	0,58	0,58	0,00	85,30	0,58
17/10/2016	0,68	0,68	0,00	84,97	0,68	1,05	1,05	0,00	84,80	1,05	0,40	0,40	0,00	86,35	0,40	0,58	0,58	0,00	85,30	0,58
19/10/2016	0,56	0,56	0,00	85,09	0,56	1,03	1,03	0,00	84,82	1,03	0,40	0,40	0,00	86,35	0,40	0,56	0,56	0,00	85,32	0,56
21/10/2016	0,56	0,56	0,00	85,09	0,56	1,03	1,03	0,00	84,82	1,03	0,40	0,40	0,00	86,35	0,40	0,56	0,56	0,00	85,32	0,56
24/10/2016	0,69	0,69	0,00	84,96	0,69	1,05	1,05	0,00	84,80	1,05	0,43	0,43	0,00	86,32	0,43	0,58	0,58			

ALLEGATO I
Rilievi freatimetrici



Data	PZ21 0151500111					PZ22 0151500112					PZ23 0151500113					PZ24 0151500114				
	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c.[m s.l.m.]	
	494602,51	5021439,34	87,07	87,32		494592,60	5021473,83	86,73	86,83		494654,18	5021425,48	90,82	91,05		494703,20	5021373,18	91,96	92,14	
	Sociacenza prodotto - DTP	Sociacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacenza prodotto - DTP	Sociacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacenza prodotto - DTP	Sociacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacenza prodotto - DTP	Sociacenza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta
	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]
02/05/2016	0,93	1,08	124,50	86,11	0,96	0,11	0,11	0,00	86,62	0,11	2,82	2,82	0,00	88,00	2,82	4,15	4,15	0,00	87,81	4,15
03/05/2016	0,70	0,86	132,80	86,34	0,73	0,16	0,16	0,00	86,57	0,16	2,63	2,63	0,00	88,19	2,63	4,15	4,15	0,00	87,81	4,15
04/05/2016	0,85	0,85	0,00	86,22	0,85	0,17	0,17	0,00	86,56	0,17	2,61	2,61	0,00	88,21	2,61	4,15	4,15	0,00	87,81	4,15
05/05/2016	velo	0,85	0,00	86,22	0,85	0,16	0,16	0,00	86,57	0,16	2,62	2,62	0,00	88,20	2,62	4,12	4,12	0,00	87,84	4,12
06/05/2016	velo	0,85	0,00	86,22	0,85	0,15	0,15	0,00	86,58	0,15	2,62	2,62	0,00	88,20	2,62	4,11	4,11	0,00	87,85	4,11
09/05/2016	velo	0,87	0,00	86,20	0,87	0,20	0,20	0,00	86,53	0,20	2,61	2,61	0,00	88,21	2,61	4,30	4,30	0,00	87,66	4,30
10/05/2016	0,87	0,87	0,00	86,20	0,87	0,20	0,20	0,00	86,53	0,20	2,60	2,60	0,00	88,22	2,60	4,35	4,35	0,00	87,61	4,35
11/05/2016	velo	0,87	0,00	86,20	0,87	0,20	0,20	0,00	86,53	0,20	2,60	2,60	0,00	88,22	2,60	4,13	4,13	0,00	87,83	4,13
12/05/2016	0,80	0,82	16,60	86,27	0,80	0,18	0,18	0,00	86,55	0,18	2,54	2,54	0,00	88,28	2,54	4,07	4,07	0,00	87,89	4,07
16/05/2016	velo	0,90	0,00	86,17	0,90	0,16	0,16	0,00	86,57	0,16	2,61	2,61	0,00	88,21	2,61	4,17	4,17	0,00	87,79	4,17
17/05/2016	0,90	0,90	0,00	86,17	0,90	0,20	0,20	0,00	86,53	0,20	2,63	2,63	0,00	88,19	2,63	4,18	4,18	0,00	87,78	4,18
18/05/2016	velo	0,91	0,00	86,16	0,91	0,19	0,19	0,00	86,54	0,19	2,63	2,63	0,00	88,19	2,63	4,19	4,19	0,00	87,77	4,19
19/05/2016	velo	0,90	0,00	86,17	0,90	0,18	0,18	0,00	86,55	0,18	2,62	2,62	0,00	88,20	2,62	4,18	4,18	0,00	87,78	4,18
20/05/2016	velo	0,86	0,00	86,21	0,86	velo	0,18	0,00	86,55	0,18	2,61	2,61	0,00	88,21	2,61	velo	4,17	0,00	87,80	4,17
23/05/2016	0,90	0,90	0,00	86,17	0,90	0,21	0,21	0,00	86,52	0,21	2,65	2,65	0,00	88,17	2,65	4,20	4,20	0,00	87,76	4,20
24/05/2016	0,86	0,87	8,30	86,21	0,86	n.r.					2,60	2,60	0,00	88,22	2,60	4,19	4,19	0,00	87,77	4,19
25/05/2016	velo	0,86	0,00	86,21	0,86	n.r.					2,60	2,60	0,00	88,22	2,60	4,19	4,19	0,00	87,77	4,19
26/05/2016	0,86	0,87	8,30	86,21	0,86	0,15	0,15	0,00	86,58	0,15	2,62	2,62	0,00	88,20	2,62	4,15	4,15	0,00	87,81	4,15
27/05/2016	0,87	0,87	0,00	86,20	0,87	0,19	0,19	0,00	86,54	0,19	2,86	2,86	0,00	87,96	2,86	4,18	4,18	0,00	87,78	4,18
30/05/2016	velo	0,84	0,00	86,23	0,84	0,02	0,02	0,00	86,71	0,02	2,60	2,60	0,00	88,22	2,60	4,15	4,15	0,00	87,81	4,15
31/05/2016	velo	0,83	0,00	86,24	0,83	0,16	0,16	0,00	86,57	0,16	2,60	2,60	0,00	88,22	2,60	4,14	4,14	0,00	87,82	4,14
01/06/2016	velo	0,86	0,00	86,21	0,86	velo	0,15	0,00	86,58	0,15	2,59	2,59	0,00	88,23	2,59	4,14	4,14	0,00	87,82	4,14
03/06/2016	velo	0,81	0,00	86,26	0,81	velo	0,12	0,00	86,61	0,12	2,60	2,60	0,00	88,22	2,60	4,14	4,14	0,00	87,82	4,14
06/06/2016	0,80	0,81	8,30	86,27	0,80	0,14	0,14	0,00	86,59	0,14	2,55	2,55	0,00	88,27	2,55	velo	4,13	0,00	87,83	4,13
07/06/2016	velo	0,80	0,00	86,27	0,80	0,14	0,14	0,00	86,59	0,14	2,55	2,55	0,00	88,27	2,55	4,11	4,11	0,00	87,85	4,11
08/06/2016	velo	0,79	0,00	86,28	0,79	0,01	0,01	0,00	86,72	0,01	2,54	2,54	0,00	88,28	2,54	velo	4,10	0,00	87,86	4,10
09/06/2016	velo	0,80	0,00	86,27	0,80	0,13	0,13	0,00	86,60	0,13	2,55	2,55	0,00	88,27	2,55	4,10	4,10	0,00	87,86	4,10
10/06/2016	velo	0,79	0,00	86,28	0,79	0,15	0,15	0,00	86,58	0,15	2,56	2,56	0,00	88,26	2,56	4,10	4,10	0,00	87,86	4,10
13/06/2016	0,81	0,81	0,00	86,26	0,81	0,14	0,14	0,00	86,59	0,14	2,57	2,57	0,00	88,25	2,57	4,11	4,11	0,00	87,85	4,11
14/06/2016	velo	0,81	0,00	86,26	0,81	0,14	0,14	0,00	86,59	0,14	2,56	2,56	0,00	88,26	2,56	velo	4,09	0,00	87,87	4,09
15/06/2016	velo	0,77	0,00	86,30	0,77	0,11	0,11	0,00	86,62	0,11	2,35	2,35	0,00	88,47	2,35	4,08	4,08	0,00	87,88	4,08
16/06/2016	velo	0,76	0,00	86,31	0,76	0,10	0,10	0,00	86,63	0,10	2,51	2,51	0,00	88,31	2,51	4,08	4,08	0,00	87,88	4,08
17/06/2016	velo	0,75	0,00	86,32	0,75	0,09	0,09	0,00	86,64	0,09	2,51	2,51	0,00	88,31	2,51	4,00	4,00	0,00	87,96	4,00
20/06/2016	velo	0,75	0,00	86,32	0,75	0,10	0,10	0,00	86,63	0,10	2,49	2,49	0,00	88,33	2,49	3,99	3,99	0,00	87,97	3,99
21/06/2016	velo	0,76	0,00	86,31	0,76	0,10	0,10	0,00	86,63	0,10	2,47	2,47	0,00	88,35	2,47	velo	4,06	0,00	87,90	4,06
22/06/2016	velo	0,78	0,00	86,29	0,78	0,11	0,11	0,00	86,62	0,11	2,									

ALLEGATO I
Rilievi freatimetrici



Data	PZ21 0151500111					PZ22 0151500112					PZ23 0151500113					PZ24 0151500114				
	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c.[m s.l.m.]	
	494602,51	5021439,34	87,07	87,32		494592,60	5021473,83	86,73	86,83		494654,18	5021425,48	90,82	91,05		494703,20	5021373,18	91,96	92,14	
	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta	Sociacienza prodotto - DTP	Sociacienza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiacenza falda corretta
	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p]
16/08/2016	velo	0,37	0,00	86,70	0,37	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	1,86	1,86	0,00	88,96	1,86	3,56	3,56	0,00	88,40	3,56
18/08/2016	velo	0,45	0,00	86,62	0,45	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,15	2,15	0,00	88,67	2,15	3,72	3,72	0,00	88,24	3,72
19/08/2016	velo	0,42	0,00	86,65	0,42	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,13	2,13	0,00	88,69	2,13	3,72	3,72	0,00	88,24	3,72
22/08/2016	velo	0,54	0,00	86,53	0,54	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,22	2,22	0,00	88,60	2,22	3,78	3,78	0,00	88,19	3,78
23/08/2016	velo	0,55	0,00	86,52	0,55	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,26	2,26	0,00	88,57	2,26	3,83	3,83	0,00	88,13	3,83
24/08/2016	velo	0,55	0,00	86,52	0,55	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,26	2,26	0,00	88,56	2,26	3,74	3,74	0,00	88,22	3,74
25/08/2016	velo	0,58	0,00	86,49	0,58	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,29	2,29	0,00	88,53	2,29	3,80	3,80	0,00	88,16	3,80
26/08/2016	velo	0,59	0,00	86,48	0,59	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,33	2,33	0,00	88,49	2,33	3,85	3,85	0,00	88,11	3,85
29/08/2016	velo	0,64	0,00	86,43	0,64	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,43	2,43	0,00	88,39	2,43	3,95	3,95	0,00	88,01	3,95
30/08/2016	velo	0,64	0,00	86,43	0,64	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,44	2,44	0,00	88,38	2,44	3,94	3,94	0,00	88,02	3,94
31/08/2016	velo	0,64	0,00	86,43	0,64	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,43	2,43	0,00	88,39	2,43	3,94	3,94	0,00	88,02	3,94
01/09/2016	velo	0,62	0,00	86,45	0,62	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,44	2,44	0,00	88,38	2,44	3,96	3,96	0,00	88,00	3,96
02/09/2016	velo	0,61	0,00	86,46	0,61	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,43	2,43	0,00	88,39	2,43	3,96	3,96	0,00	88,00	3,96
05/09/2016	velo	0,63	0,00	86,44	0,63	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,43	2,43	0,00	88,39	2,43	3,96	3,96	0,00	88,00	3,96
06/09/2016	velo	0,63	0,00	86,44	0,63	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,43	2,43	0,00	88,39	2,43	3,96	3,96	0,00	88,00	3,96
07/09/2016	velo	0,66	0,00	86,41	0,66	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,42	2,42	0,00	88,40	2,42	3,90	3,90	0,00	88,06	3,90
08/09/2016	velo	0,64	0,00	86,44	0,64	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,42	2,42	0,00	88,40	2,42	4,87	4,87	0,00	87,10	4,86
09/09/2016	velo	0,65	0,00	86,42	0,65	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,44	2,44	0,00	88,38	2,44	4,00	4,00	0,00	87,96	4,00
13/09/2016	velo	0,56	0,00	86,51	0,56	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,31	2,31	0,00	88,51	2,31	3,88	3,88	0,00	88,08	3,88
14/09/2016	velo	0,63	0,00	86,44	0,63	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,38	2,38	0,00	88,44	2,38	3,93	3,93	0,00	88,03	3,93
16/09/2016	velo	0,66	0,00	86,41	0,66	0,00	0,00	0,00	86,73	0,00	2,44	2,44	0,00	88,38	2,44	3,98	3,98	0,00	87,98	3,98
19/09/2016	velo	0,68	0,00	86,39	0,68	0,03	0,03	0,00	86,70	0,03	2,59	2,59	0,00	88,23	2,59	4,20	4,20	0,00	87,76	4,20
20/09/2016	velo	0,75	0,00	86,32	0,75	velo	0,07	0,00	86,66	0,07	2,57	2,57	0,00	88,25	2,57	4,11	4,11	0,00	87,85	4,11
22/09/2016	velo	0,72	0,00	86,35	0,72	0,05	0,05	0,00	86,68	0,05	2,59	2,59	0,00	88,23	2,59	4,13	4,13	0,00	87,83	4,13
23/09/2016	velo	0,71	0,00	86,36	0,71	0,06	0,06	0,00	86,67	0,06	2,48	2,48	0,00	88,34	2,48	4,12	4,12	0,00	87,84	4,12
26/09/2016	velo	0,75	0,00	86,32	0,75	0,10	0,10	0,00	86,63	0,10	2,69	2,69	0,00	88,13	2,69	4,26	4,26	0,00	87,70	4,26
27/09/2016	velo	0,76	0,00	86,31	0,76	0,14	0,14	0,00	86,59	0,14	2,67	2,67	0,00	88,15	2,67	4,25	4,25	0,00	87,71	4,25
29/09/2016	0,79	0,79	0,00	86,28	0,79	0,21	0,21	0,00	86,52	0,21	2,65	2,65	0,00	88,17	2,65	4,21	4,21	0,00	87,75	4,21
03/10/2016	velo	0,83	0,00	86,24	0,83	0,20	0,20	0,00	86,53	0,20	2,71	2,71	0,00	88,11	2,71	4,24	4,24	0,00	87,72	4,24
05/10/2016	velo	0,83	0,00	86,24	0,83	0,19	0,19	0,00	86,54	0,19	2,80	2,80	0,00	88,02	2,80	4,50	4,50	0,00	87,46	4,50
10/10/2016	velo	0,85	0,00	86,22	0,85	0,20	0,20	0,00	86,53	0,20	2,79	2,79	0,00	88,03	2,79	velo	4,40	0,00	87,56	4,40
12/10/2016	0,87	0,87	0,00	86,20	0,87	0,21	0,21	0,00	86,52	0,21	3,05	3,05	0,00	87,77	3,05	velo	4,42	0,00	87,54	4,42
17/10/2016	0,87	0,87	0,00	86,20	0,87	0,21	0,21	0,00	86,52	0,21	3,05	3,05	0,00	87,77	3,05	velo	4,42	0,00	87,54	4,42
19/10/2016	0,83	0,83	0,00	86,24	0,83	0,22	0,22	0,00	86,51	0,22	2,71	2,71	0,00	88,11	2,71	4,31	4,31	0,00	87,65	4,31
21/10/2016	0,83	0,83	0,00	86,24	0,83	0,22	0,22	0,00	86,51	0,22	2,71	2,71	0,00	88,11	2,71	4,31	4,31	0,00	87,65	4,31
24/10/2016	velo	0,86	0,00	86,21	0,86	0,22	0,22	0,00	86,51	0,22	3,01	3,01	0,00	87,81	3,01	velo	4,48	0,00	87,48	4,48
27/10/2016	velo	0,85	0,00	86,22	0,85															

ALLEGATO I
Rilievi freatimetrici



Data	PZ12 0151500102					PZ13 0151500103					PZ14 0151500104					PZ15 0151500105					PZ16 0151500106				
	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	
	494764,25	5021327,30	94,01	94,23		494680,19	5021481,76	94,03	94,16		494756,00	5021494,55	93,98	94,19		494770,56	5021454,89	94,02	94,23		494829,86	5021563,68	93,92	94,07	
	Socciaienza prodotto - DTP	Socciaienza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Socciaienza falda corretta	Socciaienza prodotto - DTP	Socciaienza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Socciaienza falda corretta	Socciaienza prodotto - DTP	Socciaienza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Socciaienza falda corretta	Socciaienza prodotto - DTP	Socciaienza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Socciaienza falda corretta	Socciaienza prodotto - DTP	Socciaienza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Socciaienza falda corretta
	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	
22/06/2016			n.r.					n.r.					n.r.					n.r.			4,46	4,46	0,00	89,46	4,46
23/06/2016			n.r.			5,48	5,48	0,00	88,55	5,48			n.r.					n.r.			4,41	4,41	0,00	89,51	4,41
24/06/2016	5,88	5,88	0,00	88,13	5,88	5,42	5,42	0,00	88,61	5,42	5,08	5,08	0,00	88,90	5,08	5,14	5,14	0,00	88,88	5,14	4,37	4,37	0,00	89,55	4,37
27/06/2016	5,95	5,95	0,00	88,06	5,95	5,44	5,44	0,00	88,59	5,44	5,10	5,10	0,00	88,88	5,10	5,15	5,15	0,00	88,87	5,15	4,36	4,36	0,00	89,56	4,36
28/06/2016	5,97	5,97	0,00	88,04	5,97	5,46	5,46	0,00	88,57	5,46	5,10	5,10	0,00	88,88	5,10	5,17	5,17	0,00	88,85	5,17	4,33	4,33	0,00	89,59	4,33
29/06/2016	5,94	5,94	0,00	88,07	5,94	5,22	5,22	0,00	88,81	5,22	4,91	4,91	0,00	89,07	4,91	5,01	5,01	0,00	89,01	5,01	4,09	4,09	0,00	89,83	4,09
30/06/2016	5,78	5,78	0,00	88,23	5,78	5,18	5,18	0,00	88,85	5,18	4,78	4,78	0,00	89,20	4,78	4,92	4,92	0,00	89,10	4,92	4,00	4,00	0,00	89,92	4,00
01/07/2016	5,76	5,76	0,00	88,25	5,76	5,27	5,27	0,00	88,76	5,27	4,89	4,89	0,00	89,09	4,89	5,00	5,00	0,00	89,02	5,00	4,14	4,14	0,00	89,78	4,14
04/07/2016	5,72	5,72	0,00	88,29	5,72	5,10	5,10	0,00	88,93	5,10	4,76	4,76	0,00	89,22	4,76	4,88	4,88	0,00	89,14	4,88	3,99	3,99	0,00	89,93	3,99
05/07/2016	5,79	5,79	0,00	88,22	5,79	5,24	5,24	0,00	88,79	5,24	4,86	4,86	0,00	89,12	4,86	4,99	4,99	0,00	89,03	4,99	4,01	4,01	0,00	89,91	4,01
06/07/2016	5,84	5,84	0,00	88,17	5,84	5,30	5,30	0,00	88,73	5,30	4,92	4,92	0,00	89,06	4,92	5,04	5,04	0,00	88,98	5,04	4,16	4,16	0,00	89,76	4,16
07/07/2016	5,81	5,81	0,00	88,20	5,81	5,32	5,32	0,00	88,71	5,32	4,91	4,91	0,00	89,07	4,91	5,04	5,04	0,00	88,98	5,04	4,10	4,10	0,00	89,82	4,10
08/07/2016	5,80	5,80	0,00	88,21	5,80	5,25	5,25	0,00	88,78	5,25	4,65	4,65	0,00	89,33	4,65	4,60	4,60	0,00	89,42	4,60	4,05	4,05	0,00	89,87	4,05
11/07/2016	5,58	5,58	0,00	88,43	5,58	5,14	5,14	0,00	88,89	5,14	4,73	4,73	0,00	89,25	4,73	4,86	4,86	0,00	89,16	4,86	3,96	3,96	0,00	89,96	3,96
12/07/2016	5,64	5,64	0,00	88,37	5,64	5,20	5,20	0,00	88,83	5,20	4,80	4,80	0,00	89,18	4,80	4,92	4,92	0,00	89,10	4,92	4,04	4,04	0,00	89,88	4,04
13/07/2016	5,68	5,68	0,00	88,33	5,68	5,22	5,22	0,00	88,81	5,22	4,82	4,82	0,00	89,16	4,82	4,94	4,94	0,00	89,08	4,94	4,04	4,04	0,00	89,88	4,04
14/07/2016	5,73	5,73	0,00	88,28	5,73	5,24	5,24	0,00	88,79	5,24	4,84	4,84	0,00	89,14	4,84	4,97	4,97	0,00	89,05	4,97	4,04	4,04	0,00	89,88	4,04
15/07/2016	5,62	5,62	0,00	88,39	5,62	5,22	5,22	0,00	88,81	5,22	4,76	4,76	0,00	89,22	4,76	4,92	4,92	0,00	89,10	4,92	4,04	4,04	0,00	89,88	4,04
18/07/2016	5,67	5,67	0,00	88,34	5,67	5,25	5,25	0,00	88,78	5,25	4,76	4,76	0,00	89,22	4,76	4,91	4,91	0,00	89,11	4,91	3,95	3,95	0,00	89,97	3,95
19/07/2016	5,55	5,55	0,00	88,46	5,55	5,24	5,24	0,00	88,79	5,24	4,75	4,75	0,00	89,23	4,75	4,88	4,88	0,00	89,14	4,88	3,92	3,92	0,00	90,00	3,92
20/07/2016	5,51	5,51	0,00	88,50	5,51	5,23	5,23	0,00	88,80	5,23	4,63	4,63	0,00	89,35	4,63	4,82	4,82	0,00	89,20	4,82	3,81	3,81	0,00	90,11	3,81
21/07/2016	5,49	5,49	0,00	88,52	5,49	5,18	5,18	0,00	88,85	5,18	4,55	4,55	0,00	89,43	4,55	4,79	4,79	0,00	89,23	4,79	3,78	3,78	0,00	90,14	3,78
22/07/2016	5,45	5,45	0,00	88,56	5,45	4,85	4,85	0,00	89,18	4,85	4,31	4,31	0,00	89,67	4,31	4,55	4,55	0,00	89,47	4,55	3,32	3,32	0,00	90,60	3,32
25/07/2016	5,65	5,65	0,00	88,36	5,65	5,27	5,27	0,00	88,76	5,27	4,79	4,79	0,00	89,19	4,79	4,92	4,92	0,00	89,10	4,92	4,02	4,02	0,00	89,90	4,02
26/07/2016	5,70	5,70	0,00	88,31	5,70	5,33	5,33	0,00	88,70	5,33	4,84	4,84	0,00	89,14	4,84	4,96	4,96	0,00	89,06	4,96	4,07	4,07	0,00	89,85	4,07
27/07/2016	5,76	5,76	0,00	88,25	5,76	5,41	5,41	0,00	88,62	5,41	4,85	4,85	0,00	89,13	4,85	4,98	4,98	0,00	89,04	4,98	4,10	4,10	0,00	89,82	4,10
28/07/2016	5,79	5,79	0,00	88,22	5,79	5,27	5,27	0,00	88,76	5,27	4,79	4,79	0,00	89,19	4,79	4,96	4,96	0,00	89,06	4,96	3,95	3,95	0,00	89,97	3,95
29/07/2016	5,71	5,71	0,00	88,30	5,71	5,21	5,21	0,00	88,82	5,21	4,73	4,73	0,00	89,25	4,73	4,92	4,92	0,00							

ALLEGATO I
Rilievi freatimetrici



Data	PZ12 0151500102					PZ13 0151500103					PZ14 0151500104					PZ15 0151500105					PZ16 0151500106				
	X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c.[m s.l.m.]		X [E]	Y [N]	Quota b.p. [m s.l.m.]	Quota p.c. [m s.l.m.]	
	494764,25	5021327,30	94,01	94,23		494680,19	5021481,76	94,03	94,16		494756,00	5021494,55	93,98	94,19		494770,56	5021454,89	94,02	94,23		494829,86	5021563,68	93,92	94,07	
	Socciaienza prodotto - DTP	Socciaienza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiaienza falda corretta	Socciaienza prodotto - DTP	Socciaienza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiaienza falda corretta	Socciaienza prodotto - DTP	Socciaienza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiaienza falda corretta	Socciaienza prodotto - DTP	Socciaienza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiaienza falda corretta	Socciaienza prodotto - DTP	Socciaienza falda - DTW	spessore prodotto	Quota falda corretta	Soggiaienza falda corretta
	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[m da b.p.]	[mm]	[m s.l.m.]	[m da b.p.]
22/12/2016	6,55	6,55	0,00	87,46	6,55	5,95	5,95	0,00	88,08	5,95	5,73	5,73	0,00	88,25	5,73	5,76	5,76	0,00	88,26	5,76	5,00	5,00	0,00	88,92	5,00
28/12/2016	6,58	6,58	0,00	87,43	6,58	6,02	6,02	0,00	88,01	6,02	5,80	5,80	0,00	88,18	5,80	5,84	5,84	0,00	88,18	5,84	5,08	5,08	0,00	88,84	5,08
29/12/2016	6,57	6,57	0,00	87,44	6,57	6,06	6,06	0,00	87,97	6,06	5,81	5,81	0,00	88,17	5,81	5,86	5,86	0,00	88,16	5,86	5,08	5,08	0,00	88,84	5,08
04/01/2017	6,85	6,85	0,00	87,16	6,85	5,96	5,96	0,00	88,07	5,96	5,74	5,74	0,00	88,24	5,74	5,77	5,77	0,00	88,25	5,77	5,01	5,01	0,00	88,91	5,01
05/01/2017	6,57	6,57	0,00	87,44	6,57	5,97	5,97	0,00	88,06	5,97	5,77	5,77	0,00	88,21	5,77	5,79	5,79	0,00	88,23	5,79	5,03	5,03	0,00	88,89	5,03
09/01/2017	6,57	6,57	0,00	87,44	6,57	6,00	6,00	0,00	88,03	6,00	5,78	5,78	0,00	88,20	5,78	5,79	5,79	0,00	88,23	5,79	5,06	5,06	0,00	88,86	5,06
11/01/2017	6,83	6,83	0,00	87,18	6,83	5,91	5,91	0,00	88,12	5,91	5,77	5,77	0,00	88,21	5,77	5,79	5,79	0,00	88,23	5,79	5,04	5,04	0,00	88,88	5,04
16/01/2017	6,59	6,59	0,00	87,42	6,59	6,00	6,00	0,00	88,03	6,00	5,80	5,80	0,00	88,18	5,80	5,81	5,81	0,00	88,21	5,81	5,06	5,06	0,00	88,86	5,06
17/01/2017	6,58	6,58	0,00	87,43	6,58	6,01	6,01	0,00	88,02	6,01	5,80	5,80	0,00	88,18	5,80	5,81	5,81	0,00	88,21	5,81	5,07	5,07	0,00	88,85	5,07
19/01/2017	6,62	6,62	0,00	87,39	6,62	6,03	6,03	0,00	88,00	6,03	5,81	5,81	0,00	88,17	5,81	5,84	5,84	0,00	88,18	5,84	5,08	5,08	0,00	88,84	5,08
23/01/2017	6,63	6,63	0,00	87,38	6,63	6,02	6,02	0,00	88,01	6,02	5,82	5,82	0,00	88,16	5,82	5,84	5,84	0,00	88,18	5,84	5,08	5,08	0,00	88,84	5,08
25/01/2017	6,74	6,74	0,00	87,27	6,74	6,00	6,00	0,00	88,03	6,00	5,78	5,78	0,00	88,20	5,78	5,76	5,76	0,00	88,26	5,76	6,10	6,10	0,00	87,82	6,10
30/01/2017	6,77	6,77	0,00	87,24	6,77	6,05	6,05	0,00	87,98	6,05	5,86	5,86	0,00	88,12	5,86	5,78	5,78	0,00	88,24	5,78	6,11	6,11	0,00	87,81	6,11

ALLEGATO I

Misure di portate Sorgenti e Roggia Rabica

LUOGO MISURA	P.TO MISURA	PORTATA [l/s]													
		12/04/2016	26/04/2016	10/05/2016	25/05/2016	14/06/2016	28/06/2016	14/07/2016	29/07/2016	22/08/2016	20/09/2016	13/10/2016	15/11/2016	21/12/2016	10/01/2017
Roggia Rabica	RAB1	5	8	5	6	5	7	8	9	8	6	4	5	4	5
	RAB2	91	147	122	120	118	124	142	143	130	124	107	106	107	108
	RAB3	156	247	200	198	201	247	266	300	291	231	188	173	180	173
	RAB4	191	299	251	242	258	299	367	412	413	306	230	214	206	209
	RAB5	216	336	294	278	287	335	402	440	449	327	267	240	229	236
Sorgenti	S3(a)			22,0	26,00	23,00	38,00	41,00	35,00	49,10	29,3	11,5	10	12,7	6,5
	S ALTA			3,6	2,00	4,00	9,30	17,00	19,30	19,00	8,4	0,8	0,06	0	0
	S MEDIA			0,4	1,00	2,00	4,80	7,10	12,00	8,10	1,6	0,06	0,2	0,027	0
	NS			0,7	0,26	0,11	3,60	3,00	4,10	3,30	1,4	0,2	0,09	0,11	0
	S NORD			12,0	10,00	11,00	22,00	23,90	25,80	23,60	16,4	7,2	7	7,3	9,1

ALLEGATO I

Livelli idrometrici in Roggia Rabica

SEZIONE DI MISURA	25/05/2016	14/06/2016	28/06/2016	14/07/2016	29/07/2016	22/08/2016	20/09/2016	13/10/2016	16/11/2016	21/12/2016	10/01/2017
RAB1	85,41	85,42	85,45	85,51	85,55	85,56	85,49	85,46	85,45	85,42	85,41
RAB2	84,95	84,99	85,03	85,12	85,17	85,16	85,03	84,83	84,82	84,81	84,80
RAB3	84,57	84,56	84,59	84,63	84,65	84,66	84,64	84,60	84,50	84,50	84,49
RAB4	84,55	84,51	84,53	84,58	84,60	84,62	84,60	84,45	84,46	84,45	84,45
RAB5	84,52	84,47	84,47	84,50	84,51	84,54	84,54	84,38	84,36	84,35	84,33

ALLEGATO II DATI E INTERPRETAZIONI DELLE PROVE DI PORTATA A GRADINI

Sito: Oleodotto 10" Sannazzaro-Rho, Comune Morimondo (MI)

49

Committente: Eni S.p.A.

Oggetto: RT Inquadramento geologico-idrogeologico e interpretazione prove di portata

Febbraio 2017

N. PROGETTO:		SITO:	effrazione di Morimondo
TIPO PROVA IDRAULICA:	Prova a Gradini	DATA REALIZZAZIONE PROVA:	marzo-16
NOME POZZO TESTATO:	PZ3	NOTE: nel punto di osservazione PZ6 (posto a 16 mt da PZ3) non sono stati osservati abbassamenti durante la prova. Ad oggi non ci sono piezometri più vicini	

Portate gradini	Abbassamenti misurati con datalogger	Abbassamenti specifici	Perdite di carico lineari (abbassamento teorico)	Perdite di carico non lineari	Abbassamenti Reali	Efficienza del pozzo	Portata critica	Q2/s
Q	s	s/Q	BQ	CQ ²	BQ+CQ ²	BQ/(BQ+CQ ²)*100	Qc	
[m3/h]	[m]	[h/m2]	[m]	[m]	[m]	% [-]	[m3/h]	
0	0,0	0	0	0	0	0	3,00	0,000
0,90	0,320	0,3556	0,24	0,015	0,254	94%		2,531
2,10	0,560	0,2667	0,56	0,080	0,638	87%		7,875
3,00	0,730	0,2433	0,80	0,164	0,960	83%		12,329
6,00	2,490	0,4150	1,59	0,654	2,248	71%		14,458

La "curva caratteristica" del pozzo è descritta dalla relazione:

$$s = BQ + CQ^n$$

nella quale s (m) è l'abbassamento del pozzo, Q (m³/s) è la portata estratta, BQ corrisponde nell'abbassamento teorico che si otterrebbe nel pozzo se non intervenissero le perdite di carico descrittive dal termine CQⁿ.

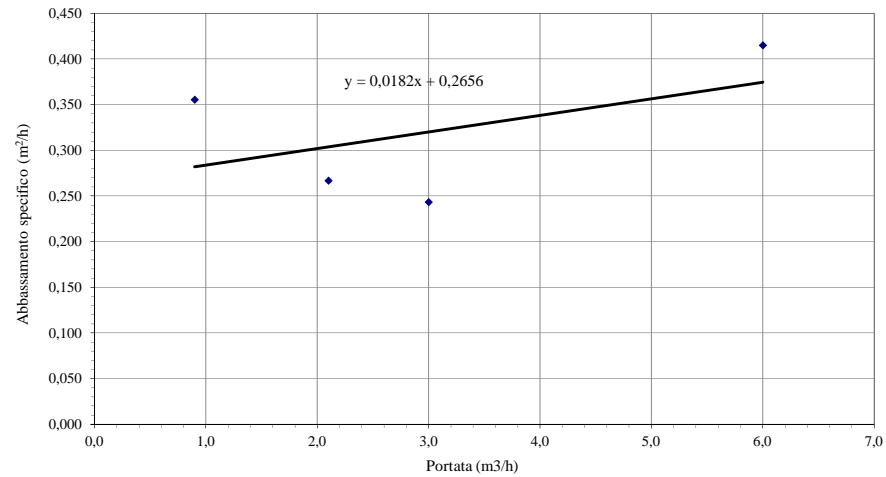
La prova a gradini di portata permette di stabilire la relazione tra portata ed abbassamento specifico s/Q che, nell'ipotesi di Jacob (n=2), disegna una retta di equazione:

$$s/Q = B + CQ \text{ (dove } y=s/Q, x=Q)$$

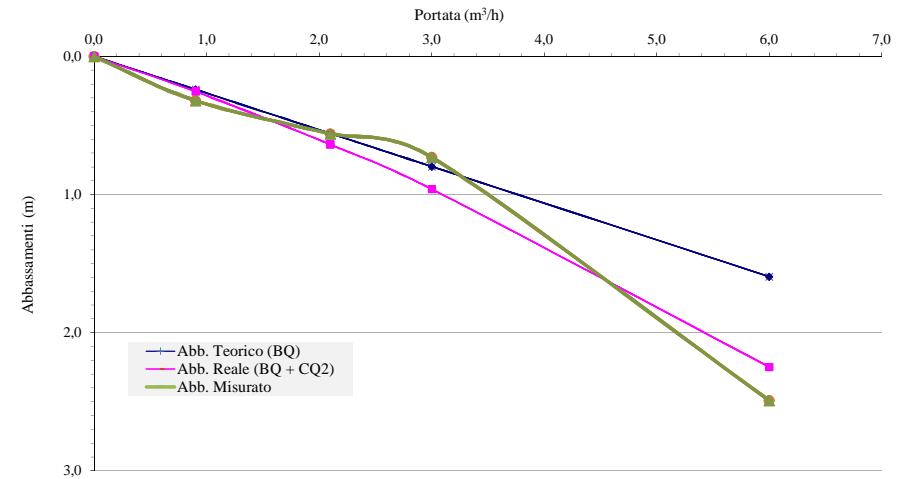
La pendenza della retta rappresenta il valore C, mentre l'intercetta con l'asse S/Q fornisce il valore B.

B =	0,265638186 [h/m2]
C =	0,018166901 [h2/m5]

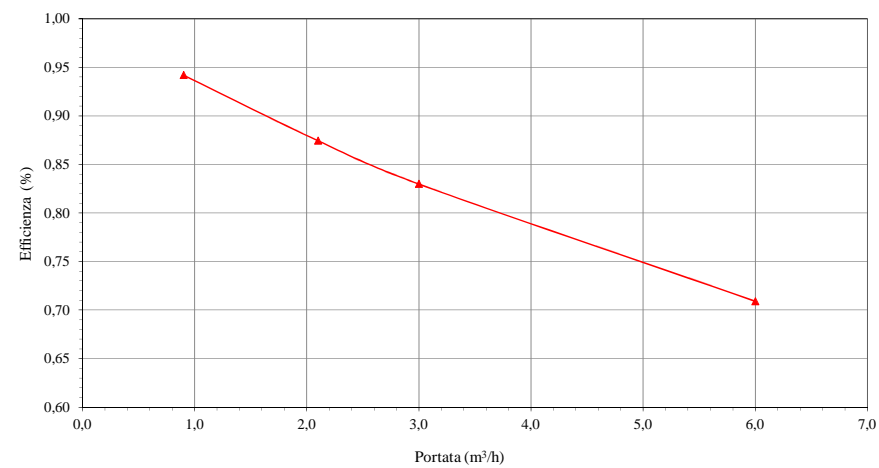
Portata / abbassamento specifico




Curve caratteristiche



Curva dell'efficienza del pozzo



<div></div> <div>Contact Info Address Company Name City, State/Province</div>				Pumping Test - Water Level Data <div>Page 1 of 1</div>	
				Project: Prove a gradini	
				Number: 4018.07	
				Client: Eni	

Location: Morimondo		Pumping Test: Primo gradino PZ3		Pumping Well: PZ3	
Test Conducted by: NCE		Test Date: 01/04/2016		Discharge Rate: 0,25 [l/s]	
Observation Well: PZ3		Static Water Level [m]: 5,32		Radial Distance to PW [m]: -	

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
1	0	5,32	0,00
2	1	5,62	0,30
3	2	5,65	0,33
4	4	5,66	0,34
5	5	5,63	0,31
6	6	5,62	0,30
7	7	5,64	0,32
8	8	5,63	0,31
9	9	5,62	0,30
10	10	5,61	0,29
11	11	5,58	0,26
12	12	5,63	0,31
13	13	5,64	0,32
14	14	5,58	0,26
15	15	5,65	0,33
16	16	5,63	0,31
17	17	5,62	0,30
18	18	5,60	0,28
19	19	5,65	0,33
20	20	5,63	0,31
21	21	5,59	0,27
22	22	5,60	0,28
23	23	5,61	0,29
24	24	5,64	0,32
25	25	5,63	0,31
26	26	5,63	0,31
27	27	5,64	0,32
28	28	5,65	0,33
29	29	5,63	0,31
30	30	5,64	0,32
31	31	5,65	0,33
32	32	5,65	0,33
33	33	5,64	0,32
34	34	5,66	0,34
35	35	5,64	0,32
36	36	5,59	0,27
37	37	5,64	0,32
38	38	5,64	0,32
39	39	5,65	0,33
40	40	5,63	0,31
41	41	5,62	0,30
42	42	5,58	0,26
43	43	5,65	0,33
44	44	5,66	0,34
45	45	5,63	0,31
46	46	5,63	0,31
47	47	5,64	0,32
48	48	5,60	0,28
49	49	5,65	0,33
50	50	5,64	0,32
51	51	5,64	0,32
52	52	5,66	0,34
53	53	5,63	0,31
54	54	5,67	0,35
55	55	5,64	0,32
56	56	5,66	0,34
57	57	5,64	0,32
58	58	5,64	0,32
59	59	5,64	0,32
60	60	5,64	0,32
61	61	5,65	0,33

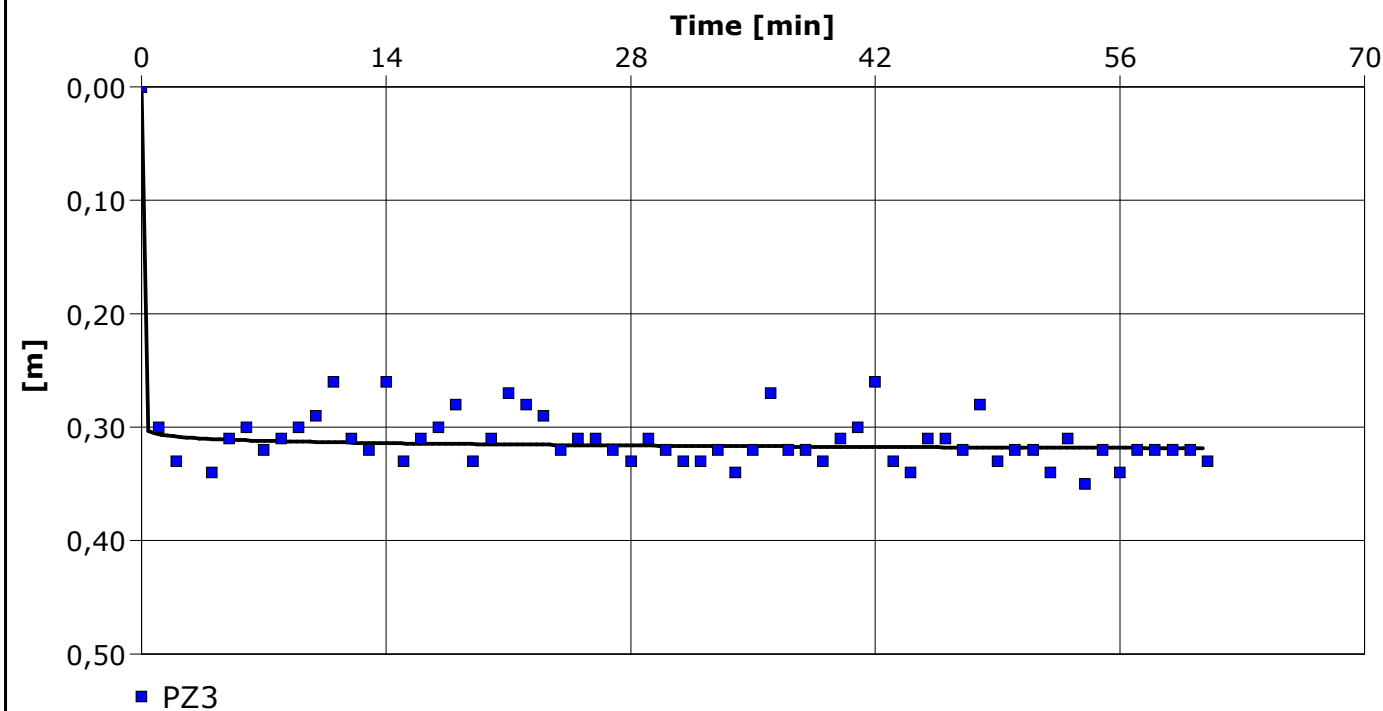


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Primo gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 01/04/2016
Analysis Performed by: ITG	1° gradino- PZ3	Analysis Date: 23/08/2016
Aquifer Thickness: 40,00 m	Discharge Rate: 0,25 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ3	$6,62 \times 10^{-3}$	$1,66 \times 10^{-4}$	$2,20 \times 10^{-15}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^2$	0,09



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Primo gradino PZ3			Pumping Well: PZ3		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 01/04/2016		
Aquifer Thickness: 40,00 m			Discharge Rate: 0,25 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	1° gradino- PZ3	ITG	23/08/2016	Boulton	PZ3	6,62 × 10 ⁻³	1,66 × 10 ⁻⁴	2,20 × 10 ⁻¹⁵

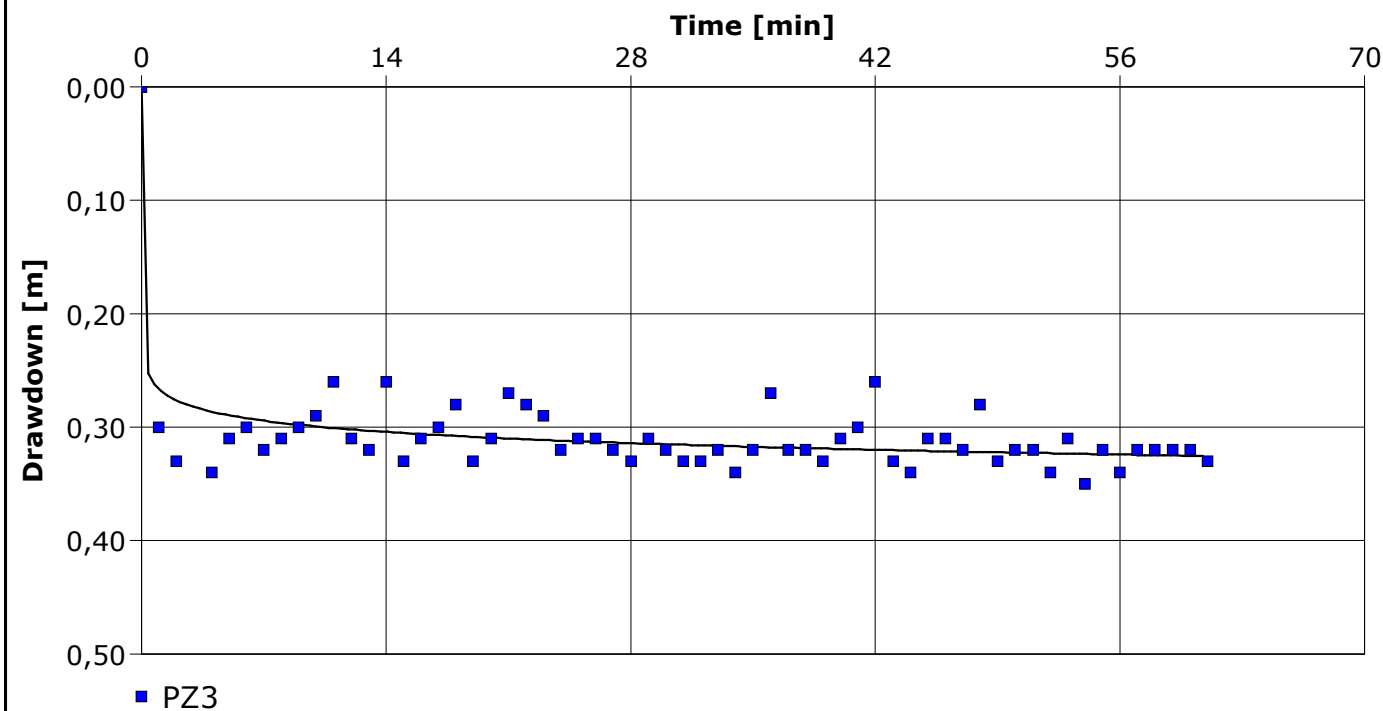


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Primo gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 01/04/2016
Analysis Performed by: ITG	1° gradino - PZ3	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 4,38 m	Discharge Rate: 0,25 [l/s]	



Calculation using Theis with Jacob Correction

Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Storage coefficient	Radial Distance to PW [m]	
PZ3	$1,49 \times 10^{-3}$	$3,40 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-7}$	0,09	

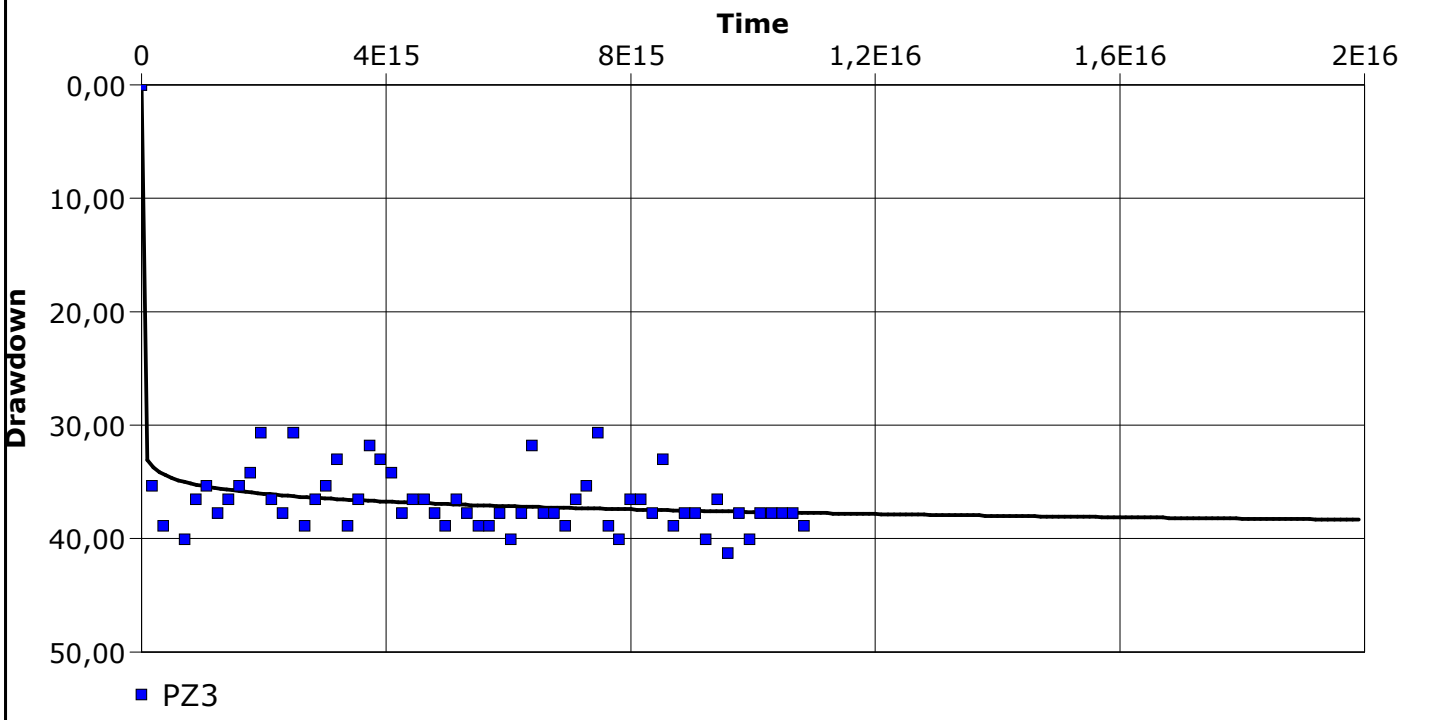


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Primo gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 01/04/2016
Analysis Performed by: ITG	1° gradino - PZ3	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 4,38 m	Discharge Rate: 0,25 [l/s]	



Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ3	2,34 × 10 ⁻³	5,35 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷	2,21 × 10 ⁻²	1,00 × 10 ⁶	0,09

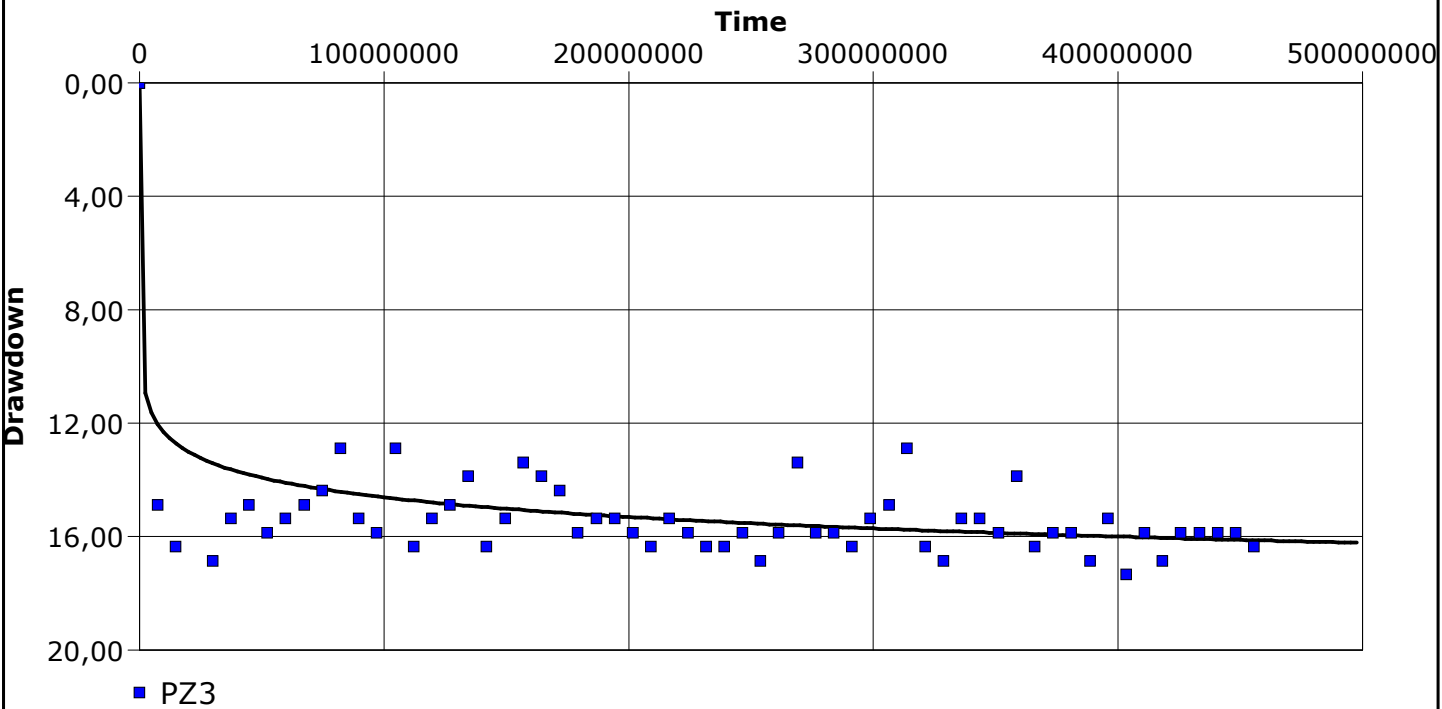


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Primo gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 01/04/2016
Analysis Performed by: ITG	1° gradino - PZ3	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 4,38 m	Discharge Rate: 0,25 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ3	9,86 × 10 ⁻⁴	2,25 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻²	1,00 × 10 ²	0,09




Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Primo gradino PZ3			Pumping Well: PZ3		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 01/04/2016		
Aquifer Thickness: 4,38 m			Discharge Rate: 0,25 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	1° gradino - PZ3	ITG	26/08/2016	Theis with Jacob Correction	PZ3	1,49 × 10 ⁻³	3,40 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷
2	1° gradino - PZ3	ITG	26/08/2016	Neuman	PZ3	2,34 × 10 ⁻³	5,35 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷
3	1° gradino - PZ3	ITG	26/08/2016	Boulton	PZ3	9,86 × 10 ⁻⁴	2,25 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁴
Average						1,61 × 10 ⁻³	3,67 × 10 ⁻⁴	3,34 × 10 ⁻⁵

<div></div> <div>Contact Info Address Company Name City, State/Province</div>				Pumping Test - Water Level Data <div>Page 1 of 2</div>	
				Project: Prove a gradini	
				Number: 4018.07	
				Client: Eni	
Location: Morimondo		Pumping Test: Secondo gradino PZ3		Pumping Well: PZ3	
Test Conducted by: NCE		Test Date: 31/03/2016		Discharge Rate: 0,58 [l/s]	
Observation Well: PZ3		Static Water Level [m]: 5,32		Radial Distance to PW [m]: -	
	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]		
1	0	5,32	0,00		
2	1	5,78	0,46		
3	2	5,78	0,46		
4	3	5,83	0,51		
5	4	5,81	0,49		
6	5	5,83	0,51		
7	6	5,79	0,47		
8	7	5,77	0,45		
9	8	5,84	0,52		
10	9	5,78	0,46		
11	10	5,82	0,50		
12	11	5,84	0,52		
13	12	5,81	0,49		
14	13	5,84	0,52		
15	14	5,82	0,50		
16	15	5,86	0,54		
17	16	5,84	0,52		
18	17	5,81	0,49		
19	18	5,86	0,54		
20	19	5,86	0,54		
21	20	5,78	0,46		
22	21	5,79	0,47		
23	22	5,78	0,46		
24	23	5,83	0,51		
25	24	5,79	0,47		
26	25	5,81	0,49		
27	26	5,84	0,52		
28	27	5,86	0,54		
29	28	5,82	0,50		
30	29	5,85	0,53		
31	30	5,89	0,57		
32	31	5,88	0,56		
33	32	5,85	0,53		
34	33	5,87	0,55		
35	34	5,84	0,52		
36	35	5,85	0,53		
37	36	5,83	0,51		
38	37	5,83	0,51		
39	38	5,80	0,48		
40	39	5,89	0,57		
41	40	5,86	0,54		
42	41	5,85	0,53		
43	42	5,88	0,56		
44	43	5,85	0,53		
45	44	5,85	0,53		
46	45	5,88	0,56		
47	46	5,81	0,49		
48	47	5,88	0,56		
49	48	5,87	0,55		
50	49	5,87	0,55		
51	50	5,83	0,51		
52	51	5,89	0,57		
53	52	5,83	0,51		
54	53	5,84	0,52		
55	54	5,88	0,56		
56	55	5,90	0,58		
57	56	5,87	0,55		
58	57	5,87	0,55		
59	58	5,85	0,53		
60	59	5,84	0,52		
61	60	5,88	0,56		
62	61	5,84	0,52		
63	62	5,90	0,58		
64	63	5,91	0,59		
65	64	5,90	0,58		
66	65	5,84	0,52		
67	66	5,85	0,53		
68	67	5,88	0,56		
69	68	5,84	0,52		
70	69	5,89	0,57		



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test - Water Level Data

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
71	70	5,85	0,53
72	71	5,87	0,55
73	72	5,90	0,58
74	73	5,84	0,52
75	74	5,90	0,58
76	75	5,85	0,53
77	76	5,89	0,57
78	77	5,87	0,55
79	78	5,91	0,59
80	79	5,85	0,53
81	80	5,89	0,57
82	81	5,87	0,55



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

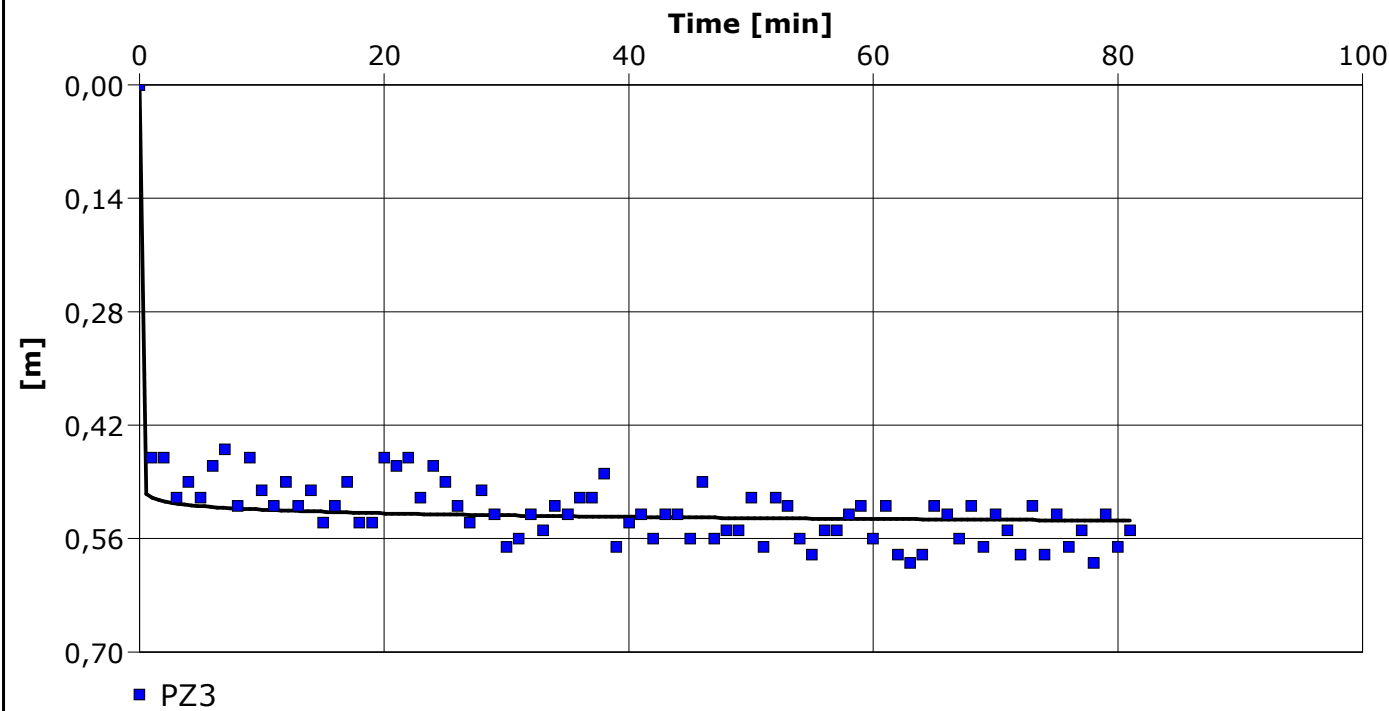
Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Secondo gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 31/03/2016
Analysis Performed by: ITG	2° gradino PZ3	Analysis Date: 23/08/2016
Aquifer Thickness: 40,00 m	Discharge Rate: 0,58 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ3	$7,16 \times 10^{-3}$	$1,79 \times 10^{-4}$	$1,82 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^2$	0,09



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Secondo gradino PZ3			Pumping Well: PZ3		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 31/03/2016		
Aquifer Thickness: 40,00 m			Discharge Rate: 0,58 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	2° gradino PZ3	ITG	23/08/2016	Boulton	PZ3	7,16 × 10 ⁻³	1,79 × 10 ⁻⁴	1,82 × 10 ⁻⁴

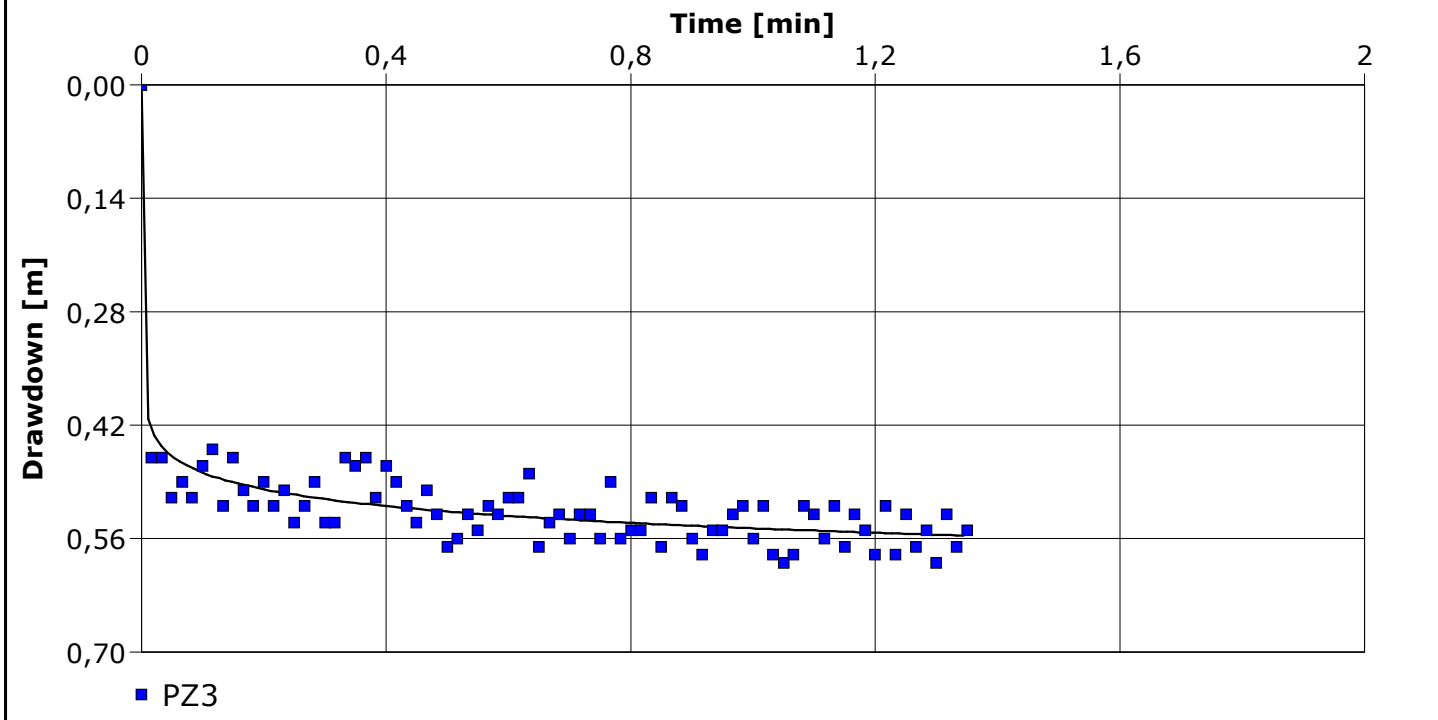


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Secondo gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 31/03/2016
Analysis Performed by: ITG	2° gradino - PZ3	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 4,22 m	Discharge Rate: 0,58 [l/s]	



Calculation using Theis with Jacob Correction					
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Storage coefficient	Radial Distance to PW [m]	
PZ3	$1,76 \times 10^{-3}$	$4,17 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-7}$	0,09	

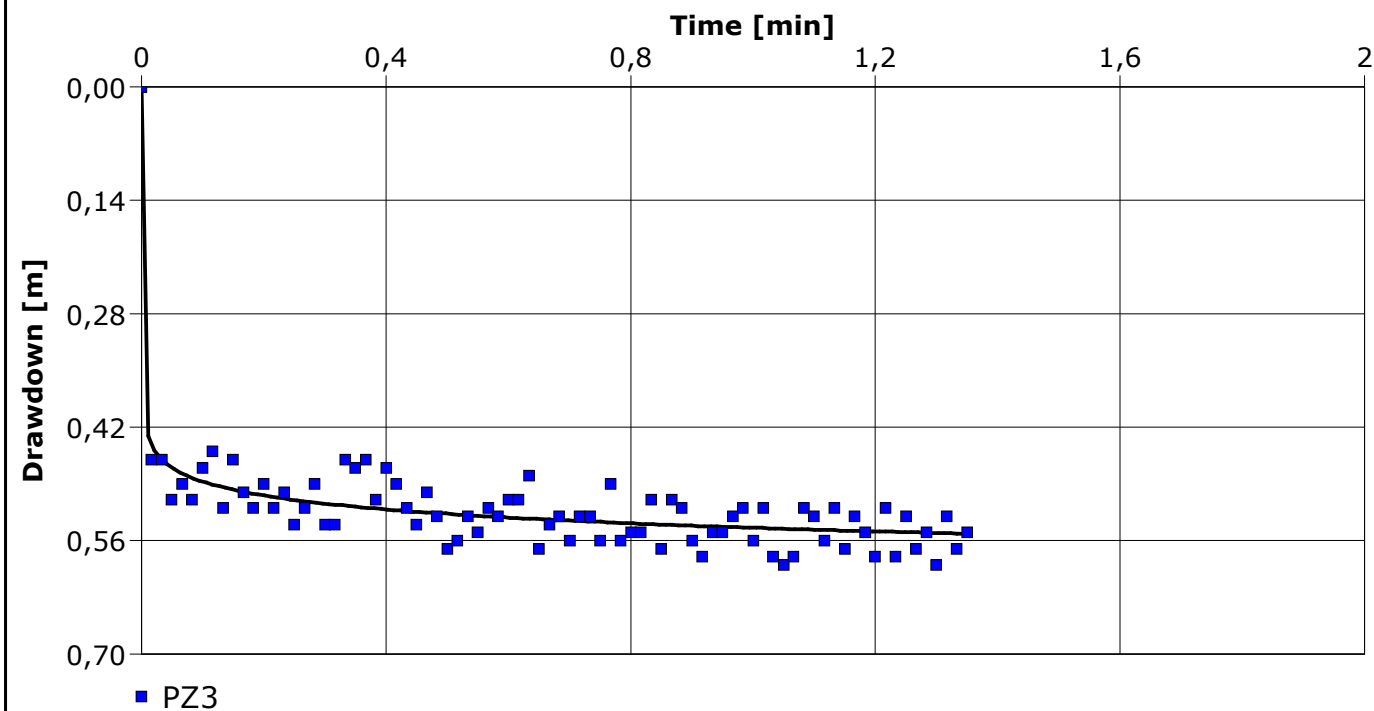


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Secondo gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 31/03/2016
Analysis Performed by: ITG	2° gradino - PZ3	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 4,22 m	Discharge Rate: 0,58 [l/s]	



Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ3	1,87 × 10 ⁻³	4,42 × 10 ⁻⁴	2,26 × 10 ⁻⁷	1,70 × 10 ⁻¹	2,53 × 10 ¹	0,09

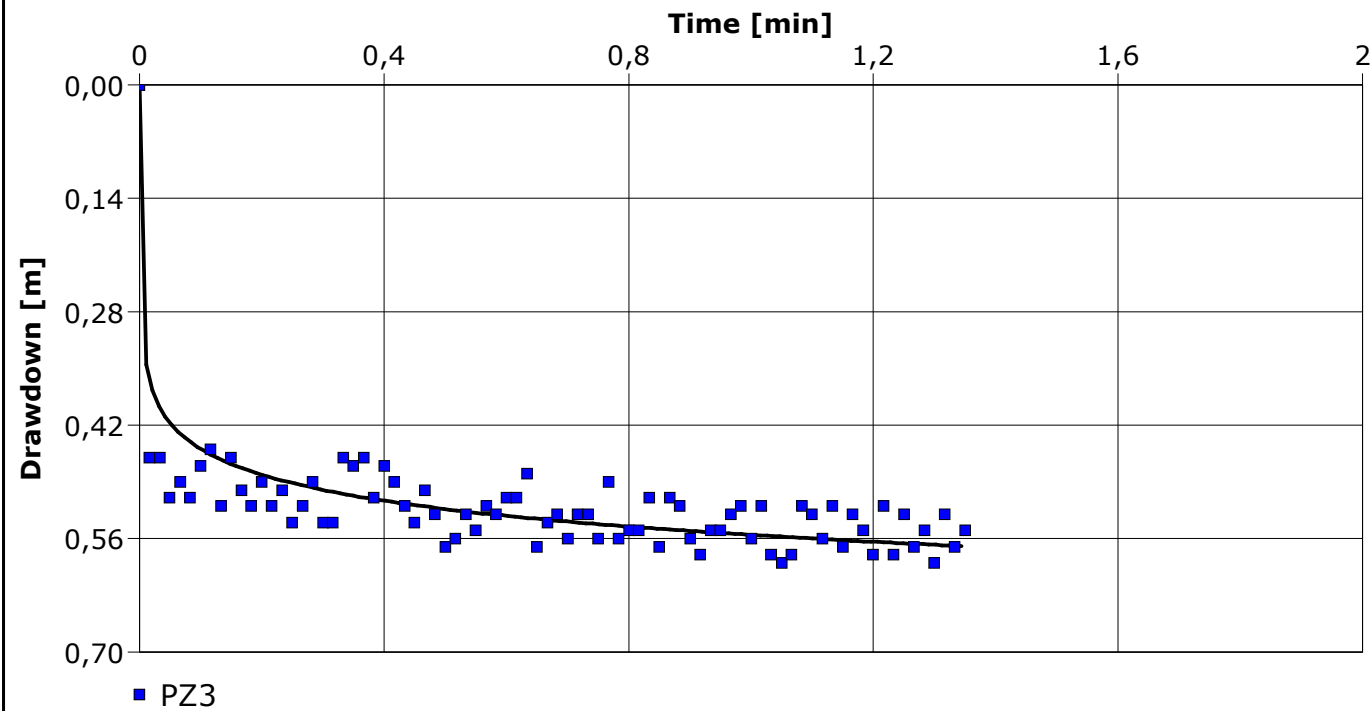


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Secondo gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 31/03/2016
Analysis Performed by: ITG	2° gradino - PZ3	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 4,22 m	Discharge Rate: 0,58 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ3	1,00 × 10 ⁻³	2,37 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻²	1,00 × 10 ²	0,09



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province


Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Secondo gradino PZ3			Pumping Well: PZ3		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 31/03/2016		
Aquifer Thickness: 4,22 m			Discharge Rate: 0,58 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	2° gradino - PZ3	ITG	26/08/2016	Theis with Jacob Correction	PZ3	1,76 × 10 ⁻³	4,17 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷
2	2° gradino - PZ3	ITG	26/08/2016	Neuman	PZ3	1,87 × 10 ⁻³	4,42 × 10 ⁻⁴	2,26 × 10 ⁻⁷
3	2° gradino - PZ3	ITG	26/08/2016	Boulton	PZ3	1,00 × 10 ⁻³	2,37 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁴
Average						1,54 × 10 ⁻³	3,65 × 10 ⁻⁴	3,34 × 10 ⁻⁵

<div></div> <div>Contact Info Address Company Name City, State/Province</div>				Pumping Test - Water Level Data <div>Page 1 of 2</div>	
				Project: Prove a gradini	
				Number: 4018.07	
				Client: Eni	
Location: Morimondo		Pumping Test: Terzo gradino PZ3		Pumping Well: PZ3	
Test Conducted by: NCE		Test Date: 31/03/2016		Discharge Rate: 0,83 [l/s]	
Observation Well: PZ3		Static Water Level [m]: 5,32		Radial Distance to PW [m]: -	
	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]		
1	0	5,32	0,00		
2	4	6,10	0,78		
3	6	6,07	0,75		
4	7	6,05	0,73		
5	8	6,05	0,73		
6	9	6,03	0,71		
7	10	6,04	0,72		
8	11	5,97	0,65		
9	12	6,03	0,71		
10	13	6,06	0,74		
11	14	6,04	0,72		
12	15	6,08	0,76		
13	16	6,06	0,74		
14	17	5,97	0,65		
15	18	5,95	0,63		
16	19	6,01	0,69		
17	20	6,04	0,72		
18	21	6,04	0,72		
19	22	6,06	0,74		
20	23	6,05	0,73		
21	24	6,05	0,73		
22	25	6,05	0,73		
23	26	6,00	0,68		
24	27	5,99	0,67		
25	28	6,07	0,75		
26	29	6,07	0,75		
27	30	6,04	0,72		
28	31	6,00	0,68		
29	32	6,02	0,70		
30	33	6,08	0,76		
31	34	6,07	0,75		
32	35	6,07	0,75		
33	36	6,03	0,71		
34	37	6,06	0,74		
35	38	5,99	0,67		
36	39	5,99	0,67		
37	40	6,07	0,75		
38	41	5,99	0,67		
39	42	6,08	0,76		
40	43	5,98	0,66		
41	44	6,01	0,69		
42	45	6,05	0,73		
43	46	6,08	0,76		
44	47	6,04	0,72		
45	48	6,03	0,71		
46	49	6,02	0,70		
47	50	6,01	0,69		
48	51	6,07	0,75		
49	52	6,03	0,71		
50	53	6,06	0,74		
51	54	6,08	0,76		
52	55	5,98	0,66		
53	56	6,08	0,76		
54	57	6,08	0,76		
55	58	6,08	0,76		
56	59	6,10	0,78		
57	60	6,06	0,74		
58	61	6,07	0,75		
59	62	6,02	0,70		
60	63	6,01	0,69		
61	64	6,06	0,74		
62	65	6,05	0,73		
63	66	6,08	0,76		
64	67	6,02	0,70		
65	68	6,03	0,71		
66	69	6,08	0,76		
67	70	6,07	0,75		
68	71	6,07	0,75		
69	72	6,00	0,68		
70	73	6,06	0,74		



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test - Water Level Data

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
71	74	6,05	0,73
72	75	6,03	0,71
73	76	6,00	0,68
74	77	5,99	0,67
75	78	6,10	0,78
76	79	6,04	0,72
77	80	6,11	0,79
78	81	6,09	0,77
79	82	6,02	0,70
80	83	6,09	0,77
81	84	6,02	0,70
82	85	6,08	0,76
83	86	6,08	0,76
84	87	6,11	0,79
85	88	6,02	0,70
86	89	6,08	0,76
87	90	6,08	0,76
88	91	5,99	0,67
89	92	6,05	0,73
90	93	6,07	0,75
91	94	6,00	0,68
92	95	6,08	0,76
93	96	6,05	0,73
94	97	6,10	0,78
95	98	6,08	0,76
96	99	6,04	0,72
97	100	6,05	0,73
98	101	6,06	0,74
99	102	6,01	0,69
100	103	6,03	0,71

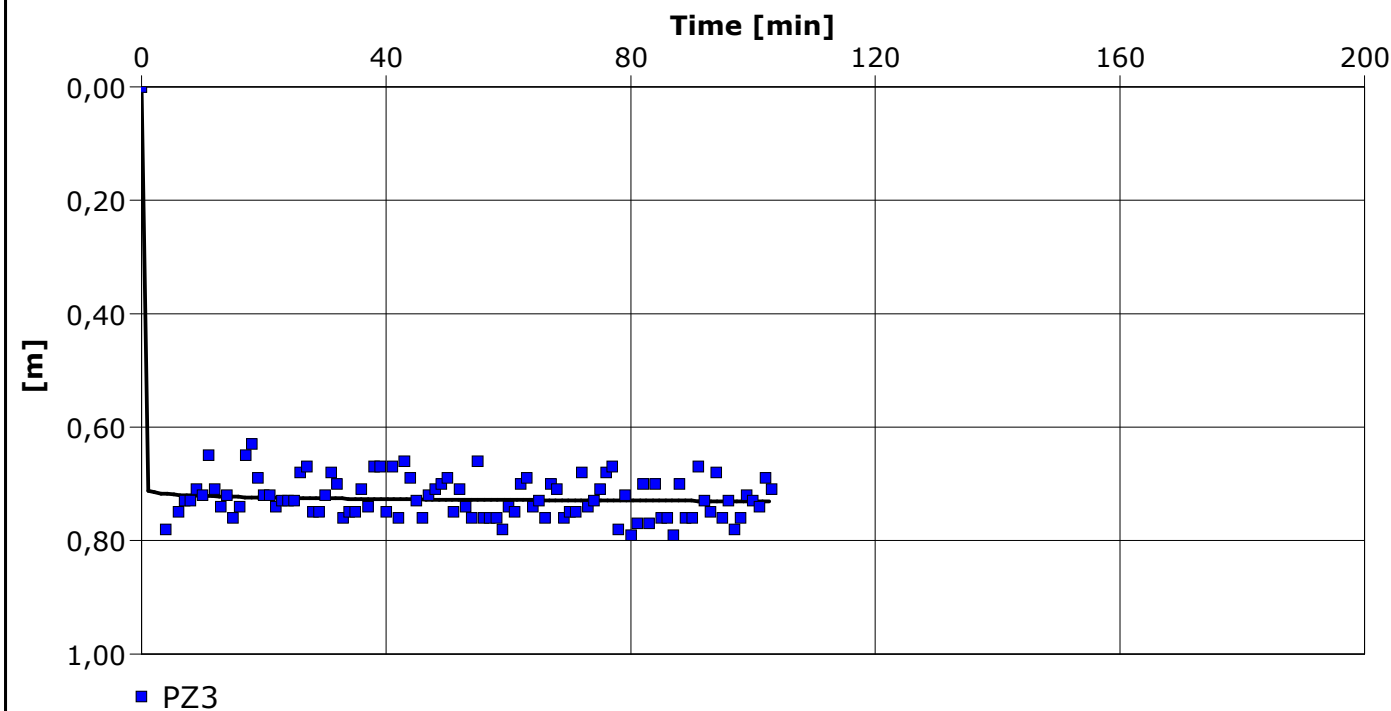


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Terzo gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 31/03/2016
Analysis Performed by: ITG	3° gradino PZ3	Analysis Date: 24/08/2016
Aquifer Thickness: 40,00 m	Discharge Rate: 0,83 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ3	1,66 × 10 ⁻²	4,15 × 10 ⁻⁴	1,31 × 10 ⁻⁴⁴	1,00 × 10 ⁻²	1,00 × 10 ²	0,09



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Terzo gradino PZ3			Pumping Well: PZ3		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 31/03/2016		
Aquifer Thickness: 40,00 m			Discharge Rate: 0,83 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	3° gradino PZ3	ITG	24/08/2016	Boulton	PZ3	1,66 × 10 ⁻²	4,15 × 10 ⁻⁴	1,31 × 10 ⁻⁴⁴

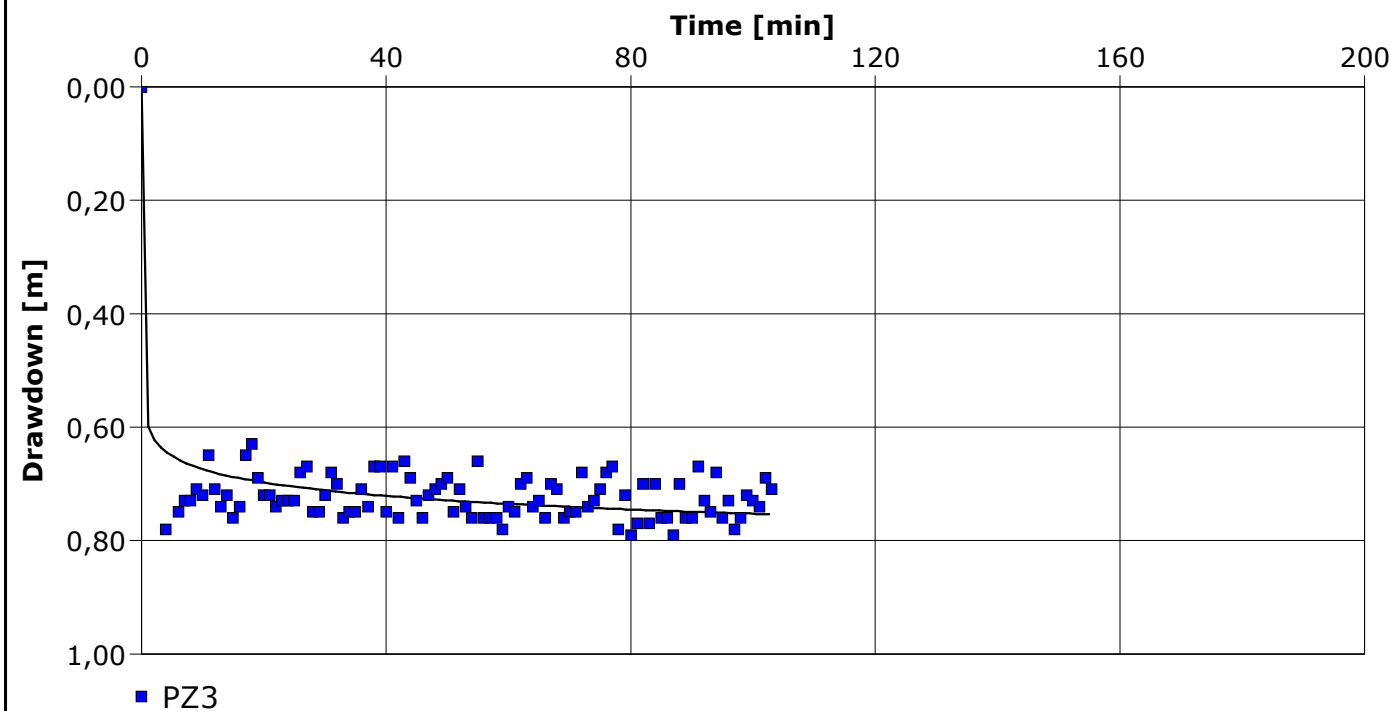


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Terzo gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 31/03/2016
Analysis Performed by: ITG	3° gradino - PZ3	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 3,80 m	Discharge Rate: 0,83 [l/s]	



Calculation using Theis with Jacob Correction					
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Storage coefficient	Radial Distance to PW [m]	
PZ3	$2,38 \times 10^{-3}$	$6,26 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-7}$	0,09	

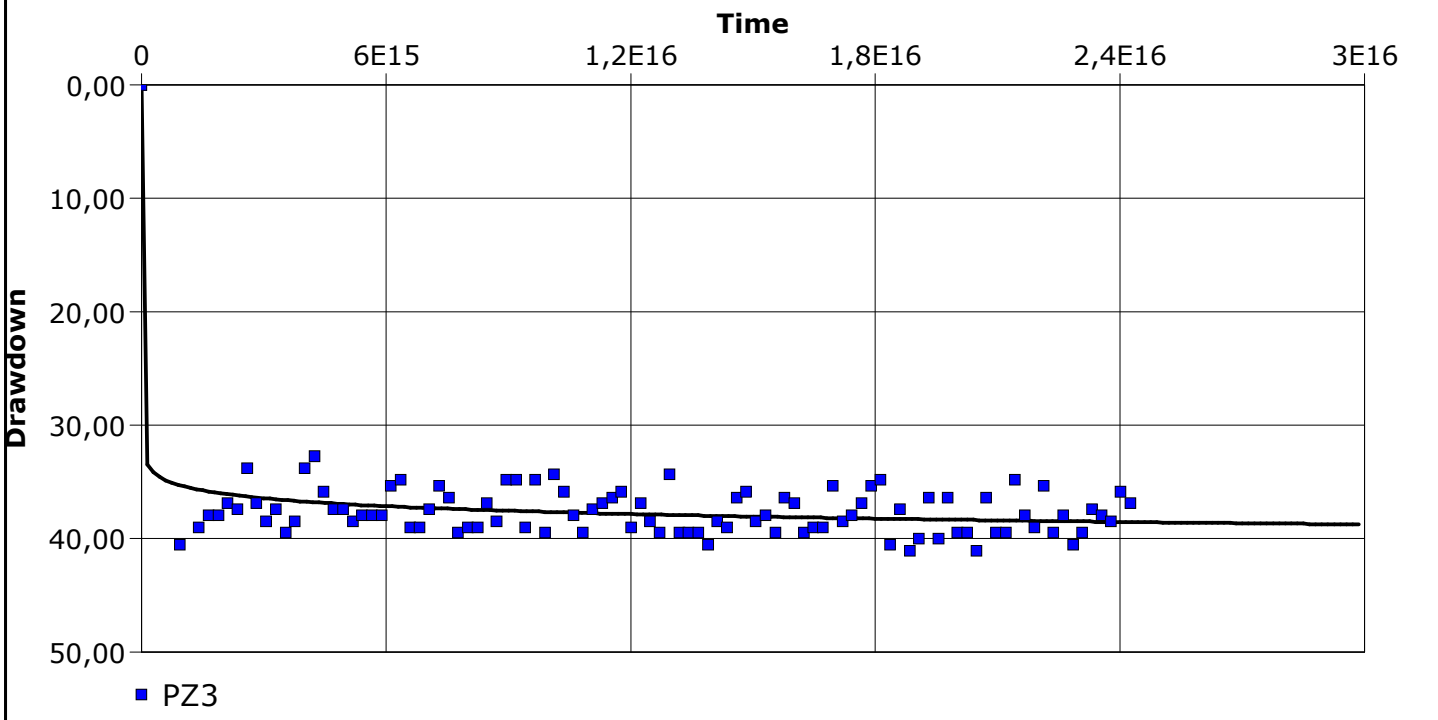


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Terzo gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 31/03/2016
Analysis Performed by: ITG	3° gradino - PZ3	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 3,80 m	Discharge Rate: 0,83 [l/s]	



Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ3	3,43 × 10 ⁻³	9,03 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷	1,35 × 10 ⁻²	9,06 × 10 ⁻⁵	0,09

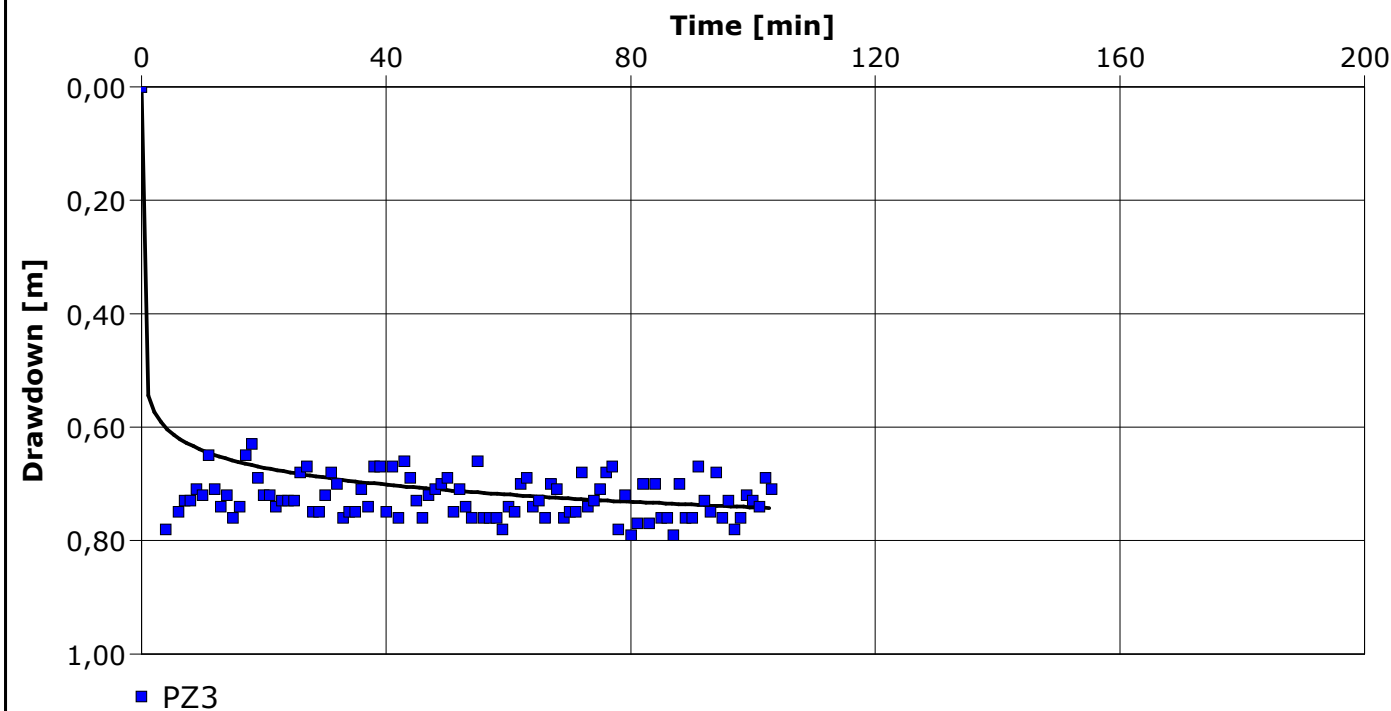


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Terzo gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 31/03/2016
Analysis Performed by: ITG	3° gradino - PZ3	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 3,80 m	Discharge Rate: 0,83 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ3	1,52 × 10 ⁻³	4,00 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻²	1,00 × 10 ²	0,09



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Terzo gradino PZ3			Pumping Well: PZ3		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 31/03/2016		
Aquifer Thickness: 3,80 m			Discharge Rate: 0,83 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	3° gradino - PZ3	ITG	26/08/2016	Theis with Jacob Correction	PZ3	2,38 × 10 ⁻³	6,26 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷
2	3° gradino - PZ3	ITG	26/08/2016	Neuman	PZ3	3,43 × 10 ⁻³	9,03 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷
3	3° gradino - PZ3	ITG	26/08/2016	Boulton	PZ3	1,52 × 10 ⁻³	4,00 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁴
Average						2,44 × 10 ⁻³	6,43 × 10 ⁻⁴	3,34 × 10 ⁻⁵



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test - Water Level Data

Project: Prove a gradini-PZ3

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo

Pumping Test: Quarto gradino PZ3

Pumping Well: PZ3

Test Conducted by: NCE

Test Date: 31/03/2016

Discharge Rate: 1,67 [l/s]

Observation Well: PZ3

Static Water Level [m]: 5,32

Radial Distance to PW [m]: -

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
1	0	5,32	0,00
2	2	7,81	2,49
3	3	7,81	2,49
4	4	7,81	2,49
5	5	7,81	2,49
6	6	7,81	2,49
7	7	7,81	2,49
8	8	7,81	2,49
9	9	7,81	2,49
10	10	7,81	2,49
11	11	7,81	2,49
12	12	7,81	2,49
13	13	7,81	2,49
14	14	7,81	2,49
15	15	7,81	2,49
16	16	7,81	2,49
17	17	7,81	2,49
18	18	7,81	2,49
19	19	7,81	2,49
20	20	7,81	2,49
21	21	7,81	2,49
22	22	7,81	2,49
23	23	7,81	2,49

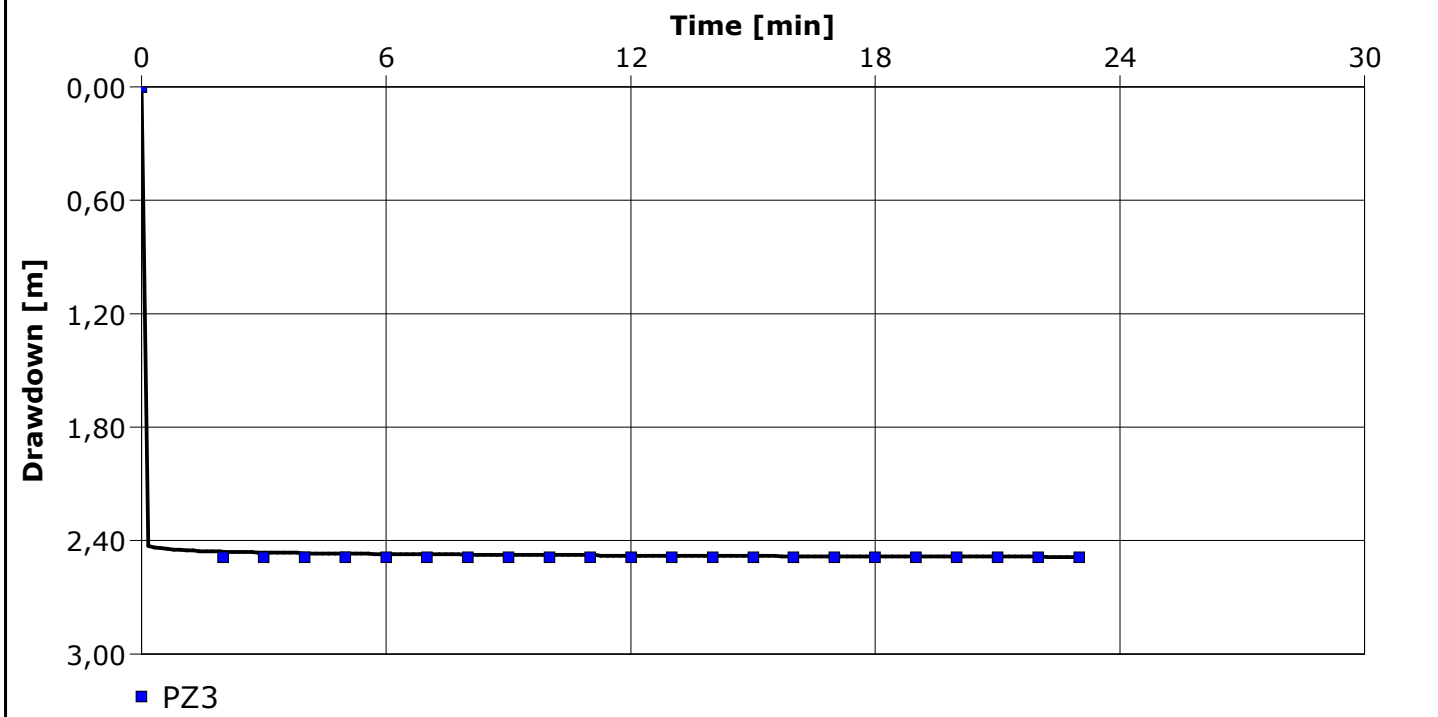


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini-PZ3
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Quarto gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 31/03/2016
Analysis Performed by: ITG	4° gradino PZ3	Analysis Date: 24/08/2016
Aquifer Thickness: 40,00 m	Discharge Rate: 1,67 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ3	1,15 × 10 ⁻²	2,87 × 10 ⁻⁴	4,87 × 10 ⁻⁵⁸	1,00 × 10 ⁻²	1,00 × 10 ²	0,09



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini-PZ3
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Quarto gradino PZ3			Pumping Well: PZ3		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 31/03/2016		
Aquifer Thickness: 40,00 m			Discharge Rate: 1,67 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	4° gradino PZ3	ITG	24/08/2016	Boulton	PZ3	1,15 × 10 ⁻²	2,87 × 10 ⁻⁴	4,87 × 10 ⁻⁵⁸



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

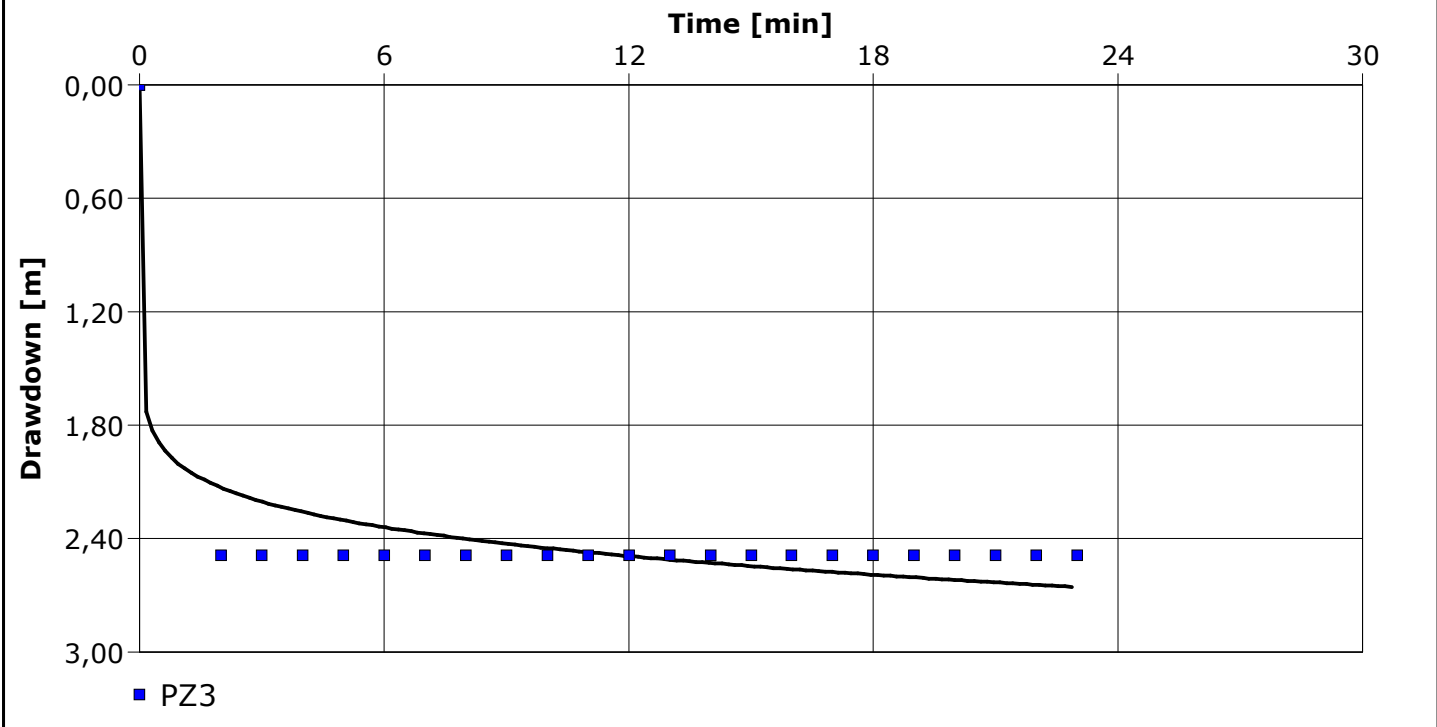
Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini-PZ3

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Quarto gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 31/03/2016
Analysis Performed by: ITG	4° gradino - PZ3	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 3,66 m	Discharge Rate: 1,67 [l/s]	



Calculation using Theis with Jacob Correction					
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Storage coefficient	Radial Distance to PW [m]	
PZ3	$1,78 \times 10^{-3}$	$4,86 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-7}$	0,09	

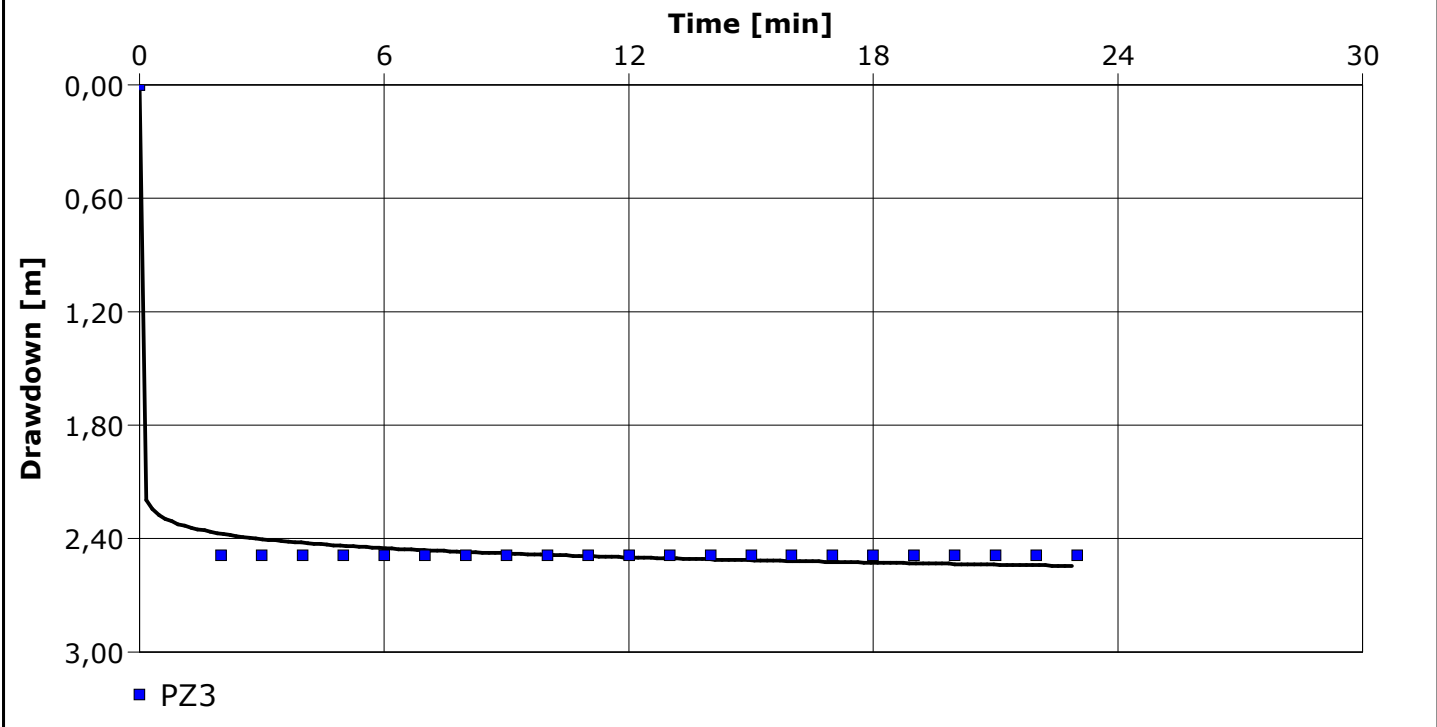


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini-PZ3
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Quarto gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 31/03/2016
Analysis Performed by: ITG	4° gradino - PZ3	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 3,66 m	Discharge Rate: 1,67 [l/s]	



Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ3	1,91 × 10 ⁻³	5,22 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷	3,87 × 10 ⁻²	1,00 × 10 ⁶	0,09

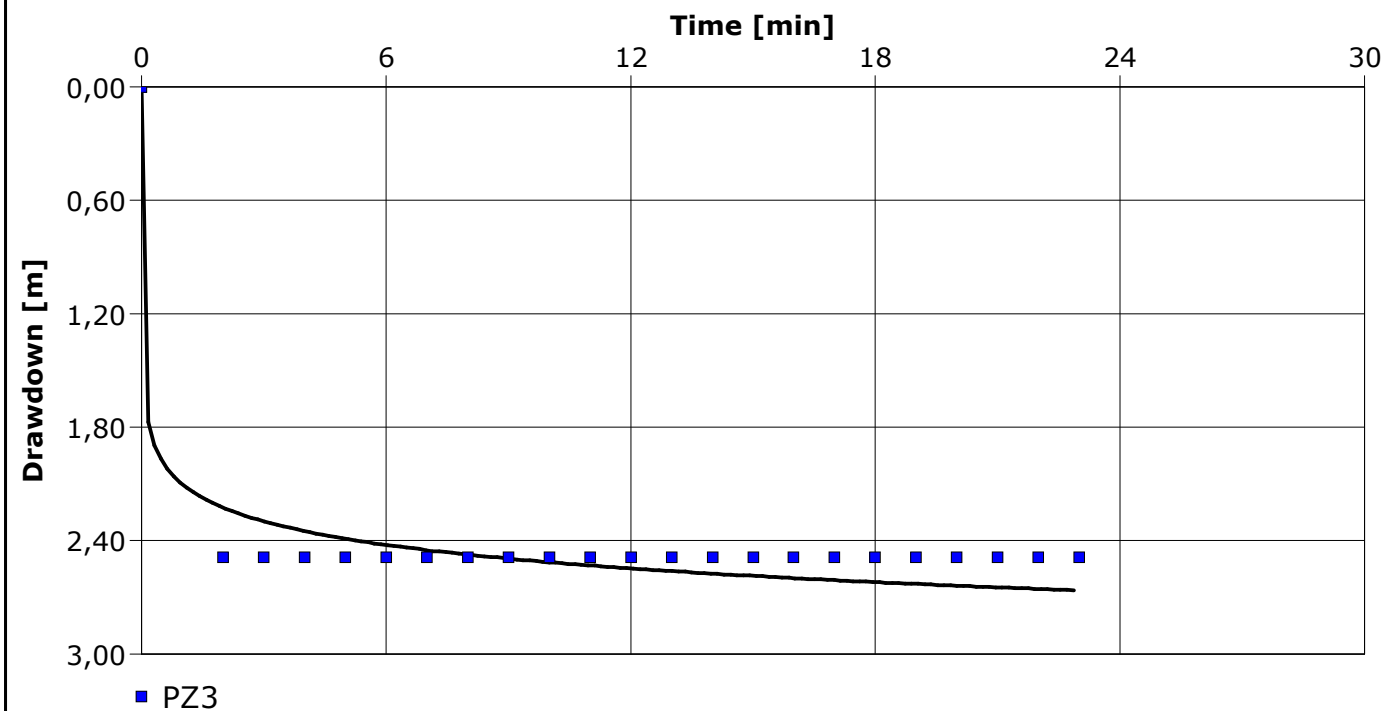


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini-PZ3
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Quarto gradino PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 31/03/2016
Analysis Performed by: ITG	4° gradino - PZ3	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 3,66 m	Discharge Rate: 1,67 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ3	$7,42 \times 10^{-4}$	$2,03 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^2$	0,09



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province


Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini-PZ3

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Quarto gradino PZ3			Pumping Well: PZ3		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 31/03/2016		
Aquifer Thickness: 3,66 m			Discharge Rate: 1,67 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	4° gradino - PZ3	ITG	26/08/2016	Theis with Jacob Correction	PZ3	1,78 × 10 ⁻³	4,86 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷
2	4° gradino - PZ3	ITG	26/08/2016	Neuman	PZ3	1,91 × 10 ⁻³	5,22 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷
3	4° gradino - PZ3	ITG	26/08/2016	Boulton	PZ3	7,42 × 10 ⁻⁴	2,03 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁴
Average						1,48 × 10 ⁻³	4,04 × 10 ⁻⁴	3,34 × 10 ⁻⁵



Contact Info

Address

Company Name

City, State/Province

Pumping Test - Water Level Data

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

Page 1 of 4

Location: Morimondo

Pumping Test: Risalita PZ3

Pumping Well: PZ3

Test Conducted by: NCE

Test Date: 01/04/2016

Discharge: variable, average rate 0,69814 [l/s]

Observation Well: PZ3

Static Water Level [m]: 5,32

Radial Distance to PW [m]: -

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
1	0	5,32	0,00
2	1	5,62	0,30
3	2	5,65	0,33
4	3	5,72	0,40
5	4	5,66	0,34
6	5	5,63	0,31
7	6	5,62	0,30
8	7	5,64	0,32
9	8	5,63	0,31
10	9	5,62	0,30
11	10	5,61	0,29
12	11	5,58	0,26
13	12	5,63	0,31
14	13	5,64	0,32
15	14	5,58	0,26
16	15	5,65	0,33
17	16	5,63	0,31
18	17	5,62	0,30
19	18	5,60	0,28
20	19	5,65	0,33
21	20	5,63	0,31
22	21	5,59	0,27
23	22	5,60	0,28
24	23	5,61	0,29
25	24	5,64	0,32
26	25	5,63	0,31
27	26	5,63	0,31
28	27	5,64	0,32
29	28	5,65	0,33
30	29	5,63	0,31
31	30	5,64	0,32
32	31	5,65	0,33
33	32	5,65	0,33
34	33	5,64	0,32
35	34	5,66	0,34
36	35	5,64	0,32
37	36	5,59	0,27
38	37	5,64	0,32
39	38	5,64	0,32
40	39	5,65	0,33
41	40	5,63	0,31
42	41	5,62	0,30
43	42	5,58	0,26
44	43	5,65	0,33
45	44	5,66	0,34
46	45	5,63	0,31
47	46	5,63	0,31
48	47	5,64	0,32
49	48	5,60	0,28
50	49	5,65	0,33
51	50	5,64	0,32
52	51	5,64	0,32
53	52	5,66	0,34
54	53	5,63	0,31
55	54	5,67	0,35
56	55	5,64	0,32
57	56	5,66	0,34
58	57	5,64	0,32
59	58	5,64	0,32
60	59	5,64	0,32
61	60	5,64	0,32
62	61	5,65	0,33
63	62	5,78	0,46
64	63	5,78	0,46
65	64	5,83	0,51
66	65	5,81	0,49
67	66	5,83	0,51
68	67	5,79	0,47
69	68	5,77	0,45
70	69	5,84	0,52



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test - Water Level Data

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
71	70	5,78	0,46
72	71	5,82	0,50
73	72	5,84	0,52
74	73	5,81	0,49
75	74	5,84	0,52
76	75	5,82	0,50
77	76	5,86	0,54
78	77	5,84	0,52
79	78	5,81	0,49
80	79	5,86	0,54
81	80	5,86	0,54
82	81	5,78	0,46
83	82	5,79	0,47
84	83	5,78	0,46
85	84	5,83	0,51
86	85	5,79	0,47
87	86	5,81	0,49
88	87	5,84	0,52
89	88	5,86	0,54
90	89	5,82	0,50
91	90	5,85	0,53
92	91	5,89	0,57
93	92	5,88	0,56
94	93	5,85	0,53
95	94	5,87	0,55
96	95	5,84	0,52
97	96	5,85	0,53
98	97	5,83	0,51
99	98	5,83	0,51
100	99	5,80	0,48
101	100	5,89	0,57
102	101	5,86	0,54
103	102	5,85	0,53
104	103	5,88	0,56
105	104	5,85	0,53
106	105	5,85	0,53
107	106	5,88	0,56
108	107	5,81	0,49
109	108	5,88	0,56
110	109	5,87	0,55
111	110	5,87	0,55
112	111	5,83	0,51
113	112	5,89	0,57
114	113	5,83	0,51
115	114	5,84	0,52
116	115	5,88	0,56
117	116	5,90	0,58
118	117	5,87	0,55
119	118	5,87	0,55
120	119	5,85	0,53
121	120	5,84	0,52
122	121	5,88	0,56
123	122	5,84	0,52
124	123	5,90	0,58
125	124	5,91	0,59
126	125	5,90	0,58
127	126	5,84	0,52
128	127	5,85	0,53
129	128	5,88	0,56
130	129	5,84	0,52
131	130	5,89	0,57
132	131	5,85	0,53
133	132	5,87	0,55
134	133	5,90	0,58
135	134	5,84	0,52
136	135	5,90	0,58
137	136	5,85	0,53
138	137	5,89	0,57
139	138	5,87	0,55
140	139	5,91	0,59
141	140	5,85	0,53
142	141	5,89	0,57
143	142	5,87	0,55
144	143	6,20	0,88
145	144	6,19	0,87
146	145	6,20	0,88
147	146	6,10	0,78



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test - Water Level Data

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
148	147	6,14	0,82
149	148	6,07	0,75
150	149	6,05	0,73
151	150	6,05	0,73
152	151	6,03	0,71
153	152	6,04	0,72
154	153	5,97	0,65
155	154	6,03	0,71
156	155	6,06	0,74
157	156	6,04	0,72
158	157	6,08	0,76
159	158	6,06	0,74
160	159	5,97	0,65
161	160	5,95	0,63
162	161	6,01	0,69
163	162	6,04	0,72
164	163	6,04	0,72
165	164	6,06	0,74
166	165	6,05	0,73
167	166	6,05	0,73
168	167	6,05	0,73
169	168	6,00	0,68
170	169	5,99	0,67
171	170	6,07	0,75
172	171	6,07	0,75
173	172	6,04	0,72
174	173	6,00	0,68
175	174	6,02	0,70
176	175	6,08	0,76
177	176	6,07	0,75
178	177	6,07	0,75
179	178	6,03	0,71
180	179	6,06	0,74
181	180	5,99	0,67
182	181	5,99	0,67
183	182	6,07	0,75
184	183	5,99	0,67
185	184	6,08	0,76
186	185	5,98	0,66
187	186	6,01	0,69
188	187	6,05	0,73
189	188	6,08	0,76
190	189	6,04	0,72
191	190	6,03	0,71
192	191	6,02	0,70
193	192	6,01	0,69
194	193	6,07	0,75
195	194	6,03	0,71
196	195	6,06	0,74
197	196	6,08	0,76
198	197	5,98	0,66
199	198	6,08	0,76
200	199	6,08	0,76
201	200	6,08	0,76
202	201	6,10	0,78
203	202	6,06	0,74
204	203	6,07	0,75
205	204	6,02	0,70
206	205	6,01	0,69
207	206	6,06	0,74
208	207	6,05	0,73
209	208	6,08	0,76
210	209	6,02	0,70
211	210	6,03	0,71
212	211	6,08	0,76
213	212	6,07	0,75
214	213	6,07	0,75
215	214	6,00	0,68
216	215	6,06	0,74
217	216	6,05	0,73
218	217	6,03	0,71
219	218	6,00	0,68
220	219	5,99	0,67
221	220	6,10	0,78
222	221	6,04	0,72
223	222	6,11	0,79
224	223	6,09	0,77



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test - Water Level Data

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
225	224	6,02	0,70
226	225	6,09	0,77
227	226	6,02	0,70
228	227	6,08	0,76
229	228	6,08	0,76
230	229	6,11	0,79
231	230	6,02	0,70
232	231	6,08	0,76
233	232	6,08	0,76
234	233	5,99	0,67
235	234	6,05	0,73
236	235	6,07	0,75
237	236	6,00	0,68
238	237	6,08	0,76
239	238	6,05	0,73
240	239	6,10	0,78
241	240	6,08	0,76
242	241	6,04	0,72
243	242	6,05	0,73
244	243	6,06	0,74
245	244	6,01	0,69
246	245	6,03	0,71
247	246	6,34	1,02
248	247	7,81	2,49
249	248	7,81	2,49
250	249	7,81	2,49
251	250	7,81	2,49
252	251	7,81	2,49
253	252	7,81	2,49
254	253	7,81	2,49
255	254	7,81	2,49
256	255	7,81	2,49
257	256	7,81	2,49
258	257	7,81	2,49
259	258	7,81	2,49
260	259	7,81	2,49
261	260	7,81	2,49
262	261	7,81	2,49
263	262	7,81	2,49
264	263	7,81	2,49
265	264	7,81	2,49
266	265	7,81	2,49
267	266	7,81	2,49
268	267	7,81	2,49
269	268	7,81	2,49
270	269	5,52	0,20
271	270	5,38	0,06
272	271	5,38	0,06
273	272	5,38	0,06
274	273	5,38	0,06
275	274	5,38	0,06
276	275	5,38	0,06



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test - Discharge Data

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Risalita PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE	Test Date: 01/04/2016	Discharge: variable, average rate 0,69814 [l/s]
Observation Well: PZ3		Radial Distance to PW [m]: -

	Time [min]	Discharge [l/s]
1	61	0,25
2	142	0,58
3	245	0,83
4	269	1,67
5	275	0,00

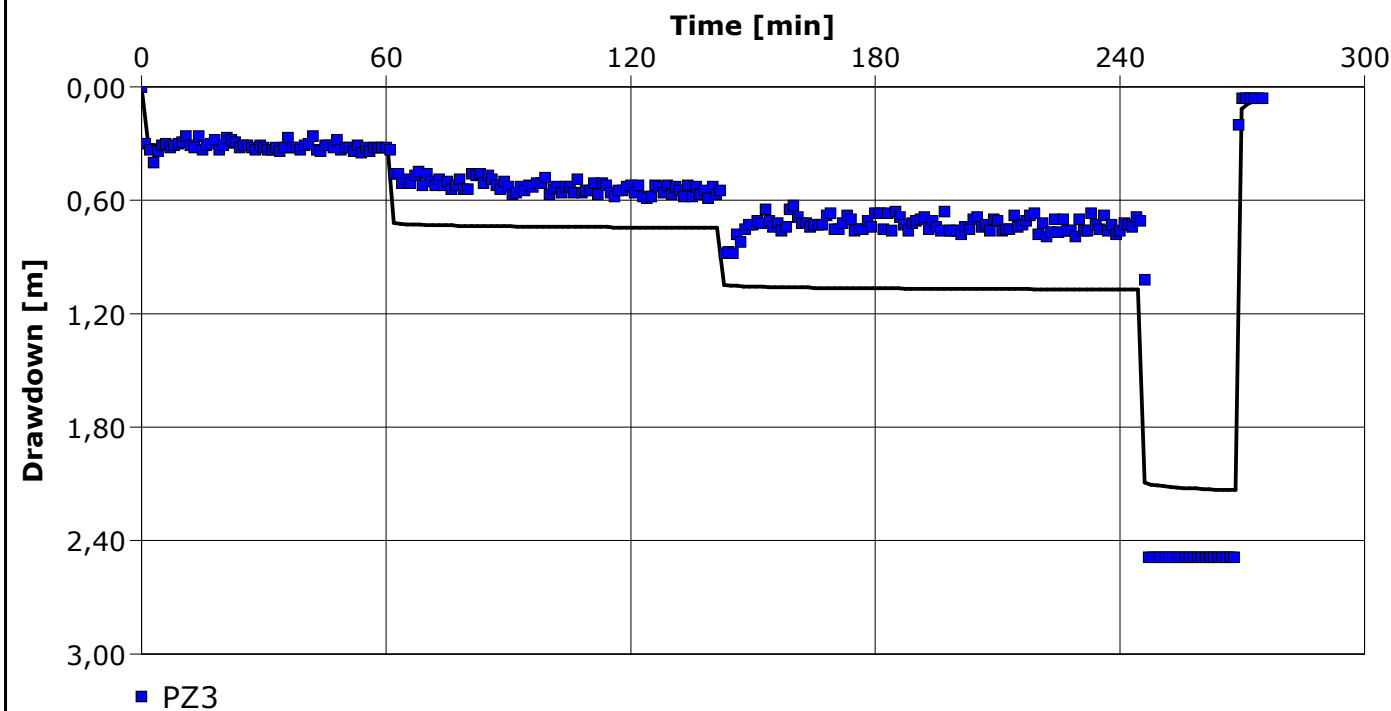


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Risalita PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 01/04/2016
Analysis Performed by: ITG	Risalita-PZ3	Analysis Date: 24/08/2016
Aquifer Thickness: 40,00 m	Discharge: variable, average rate 0,69814 [l/s]	



Calculation using Boulton

Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ3	$5,06 \times 10^{-3}$	$1,27 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^2$	0,09



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Risalita PZ3			Pumping Well: PZ3		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 01/04/2016		
Aquifer Thickness: 40,00 m			Discharge: variable, average rate 0,69814 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	Risalita-PZ3	ITG	24/08/2016	Boulton	PZ3	5,06 × 10 ⁻³	1,27 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁴

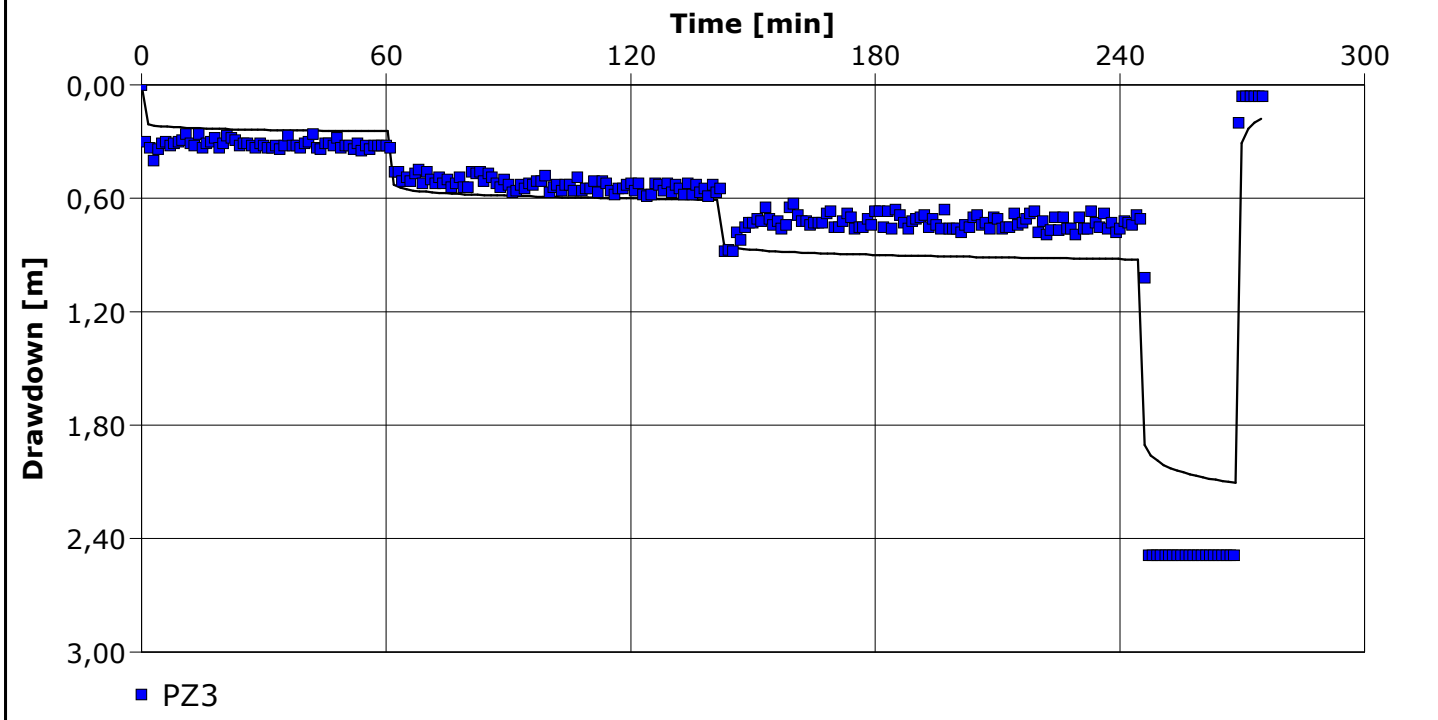


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Risalita PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 01/04/2016
Analysis Performed by: ITG	Risalita - PZ3	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 4,38 m	Discharge: variable, average rate 0,69814 [l/s]	



Calculation using Theis with Jacob Correction					
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Storage coefficient	Radial Distance to PW [m]	
PZ3	1,98 × 10 ⁻³	4,52 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷	0,09	



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo

Pumping Test: Risalita PZ3

Pumping Well: PZ3

Test Conducted by: NCE

Test Date: 01/04/2016

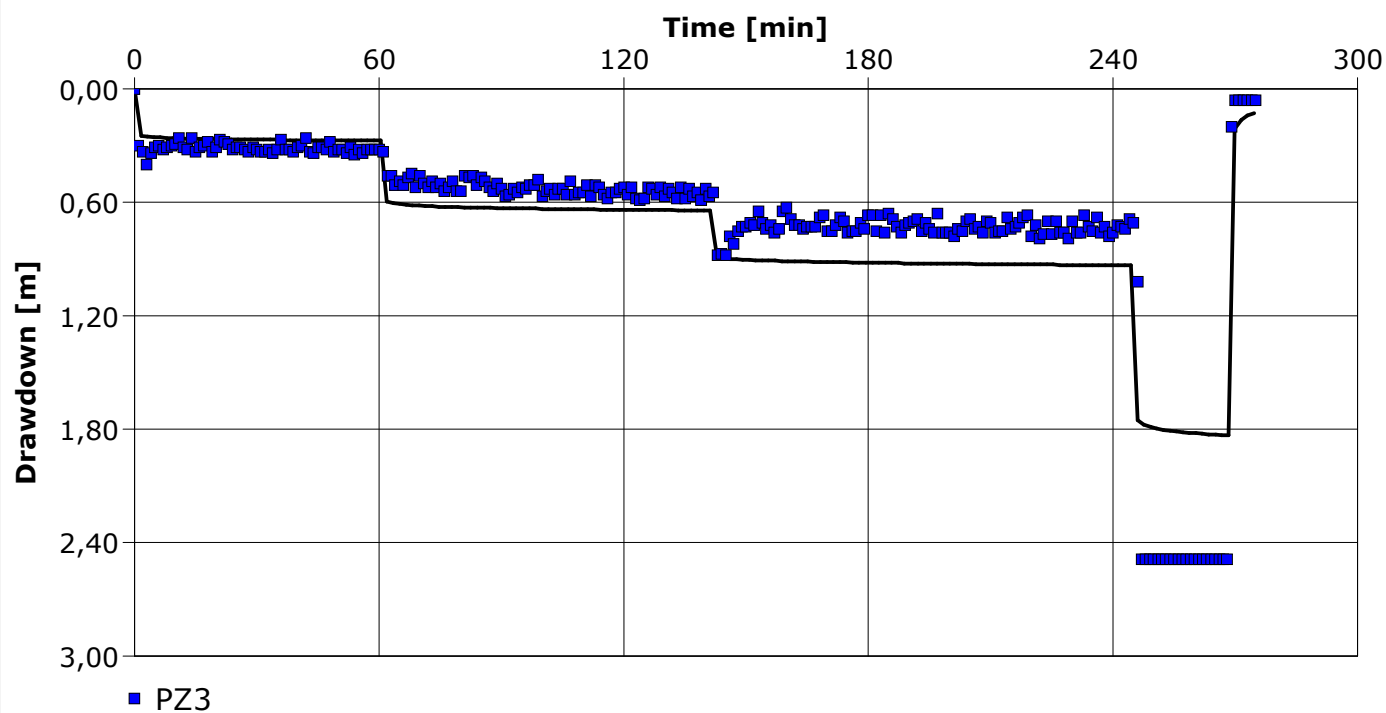
Analysis Performed by: ITG

Risalita - PZ3

Analysis Date: 26/08/2016

Aquifer Thickness: 4,38 m

Discharge: variable, average rate 0,69814 [l/s]



Calculation using Neuman

Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ3	$2,75 \times 10^{-3}$	$6,29 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-7}$	$4,64 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^6$	0,09

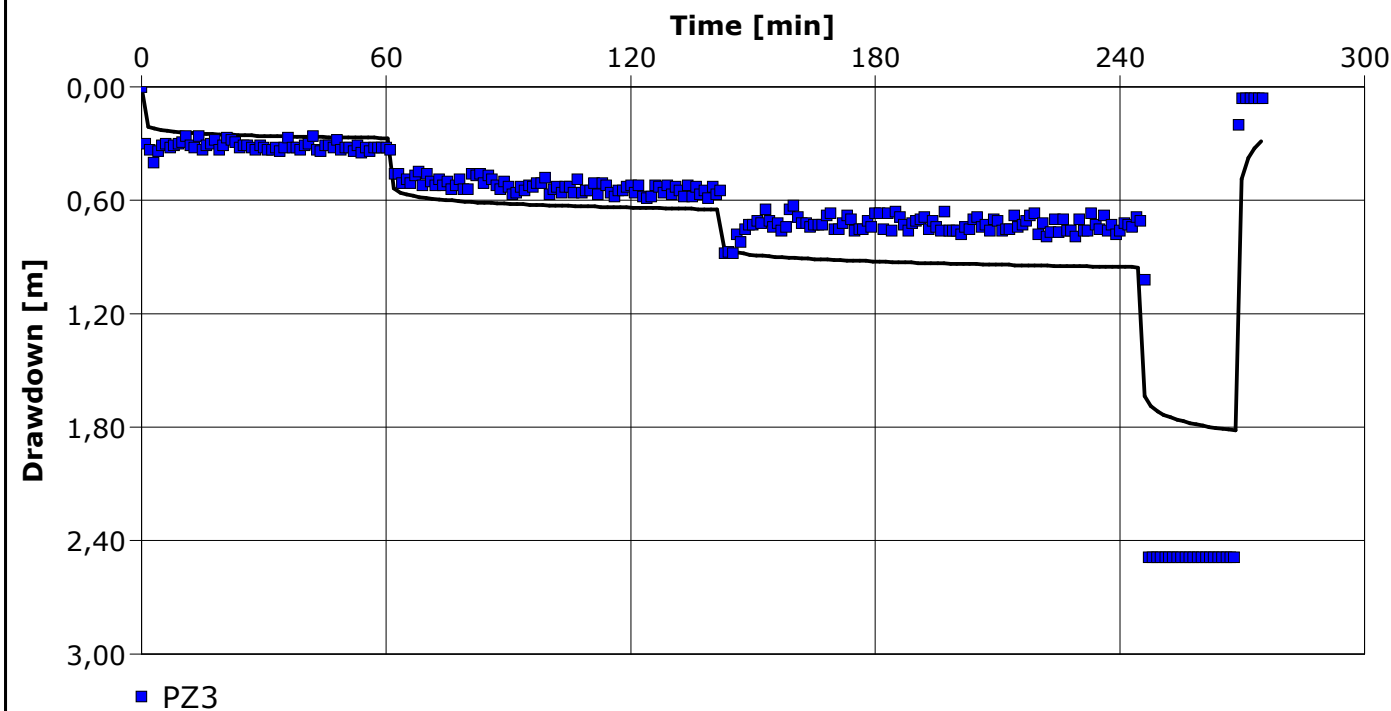


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Risalita PZ3	Pumping Well: PZ3
Test Conducted by: NCE		Test Date: 01/04/2016
Analysis Performed by: ITG	Risalita - PZ3	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 4,38 m	Discharge: variable, average rate 0,69814 [l/s]	



Calculation using Boulton

Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ3	$1,20 \times 10^{-3}$	$2,74 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^2$	0,09



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Risalita PZ3			Pumping Well: PZ3		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 01/04/2016		
Aquifer Thickness: 4,38 m			Discharge: variable, average rate 0,69814 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	Risalita - PZ3	ITG	26/08/2016	Theis with Jacob Correction	PZ3	1,98 × 10 ⁻³	4,52 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷
2	Risalita - PZ3	ITG	26/08/2016	Neuman	PZ3	2,75 × 10 ⁻³	6,29 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷
3	Risalita - PZ3	ITG	26/08/2016	Boulton	PZ3	1,20 × 10 ⁻³	2,74 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁴
Average						1,98 × 10 ⁻³	4,52 × 10 ⁻⁴	3,34 × 10 ⁻⁵

N. PROGETTO:		SITO:	effrazione di Morimondo
TIPO PROVA IDRAULICA:	Prova a Gradini	DATA REALIZZAZIONE PROVA:	08/03/16
NOME POZZO TESTATO:	PZ10	NOTE: nel punto di osservazione PZ11 (posto a 16,8 mt da PZ10) non sono stati osservati abbassamenti durante la prova. Ad oggi non ci sono piezometri più vicini	

Portate gradini	Abbassamenti misurati con datalogger	Abbassamenti specifici	Perdite di carico lineari (abbassamento teorico)	Perdite di carico non lineari	Abbassamenti Reali	Efficienza del pozzo	Portata critica
Q	s	s/Q	BQ	CQ ²	BQ+CQ ²	BQ/(BQ+CQ ²)*100	Qc
[m ³ /h]	[m]	[h/m ²]	[m]	[m]	[m]	% [-]	[m ³ /h]
0	0,0	0	0	0	0	0	1,10
0,90	0,060	0,0667	0,04	0,052	0,089	42%	
2,10	0,410	0,1952	0,09	0,280	0,367	24%	
3,00	0,780	0,2600	0,12	0,572	0,696	18%	
6,00	2,440	0,4067	0,25	2,289	2,538	10%	

La "curva caratteristica" del pozzo è descritta dalla relazione:

$$s = BQ + CQ^n$$

nella quale s (m) è l'abbassamento del pozzo, Q (m³/s) è la portata estratta, BQ corrisponde nell'abbassamento teorico che si otterrebbe nel pozzo se non intervenissero le perdite di carico descritte dal termine CQⁿ.

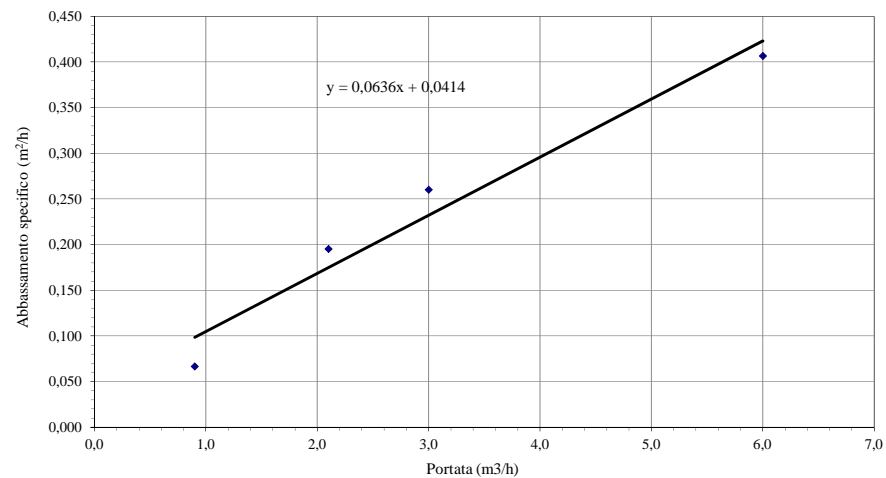
La prova a gradini di portata permette di stabilire la relazione tra portata ed abbassamento specifico s/Q che, nell'ipotesi di Jacob (n=2), disegna una retta di equazione:

$$s/Q = B + CQ \text{ (dove } y=s/Q, x=Q \text{)}$$

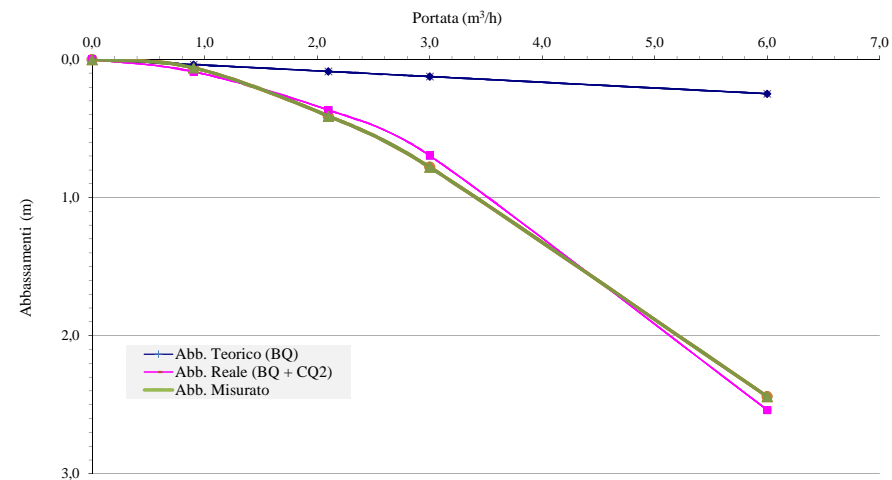
La pendenza della retta rappresenta il valore C, mentre l'intercetta con l'asse S/Q fornisce il valore B.

B =	0,04136528	[h/m ³]
C =	0,063592526	[h ² /m ⁵]

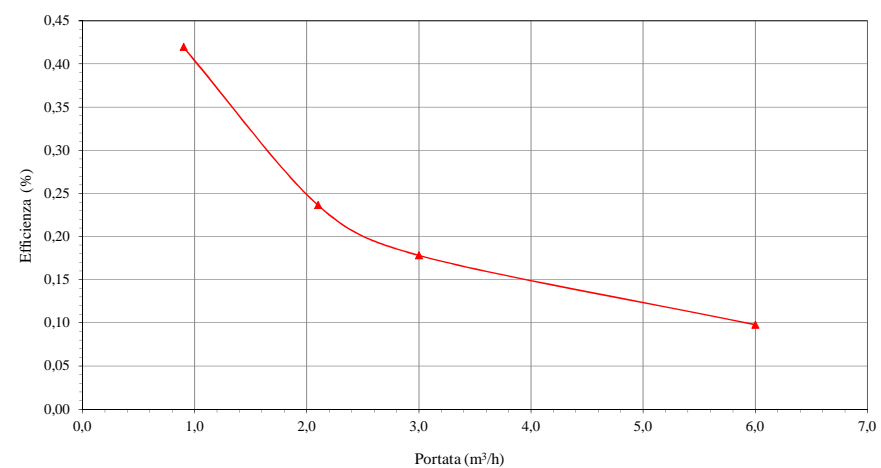
Portata / abbassamento specifico




Curve caratteristiche



Curva dell'efficienza del pozzo



<div></div> <div>Contact Info Address Company Name City, State/Province</div>				Pumping Test - Water Level Data <div>Page 1 of 1</div>	
				Project: Prove a gradini	
				Number: 4018.07	
				Client: Eni	
Location: Morimondo		Pumping Test: Primo gradino - PZ10		Pumping Well: PZ10	
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016		Discharge Rate: 0,25 [l/s]	
Observation Well: PZ10		Static Water Level [m]: 6,36		Radial Distance to PW [m]: -	
	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]		
1	0	6,36	0,00		
2	1	6,36	0,00		
3	2	6,43	0,07		
4	3	6,43	0,07		
5	4	6,43	0,07		
6	5	6,43	0,07		
7	7	6,43	0,07		
8	8	6,44	0,08		
9	9	6,44	0,08		
10	10	6,43	0,07		
11	11	6,44	0,08		
12	12	6,45	0,09		
13	13	6,45	0,09		
14	14	6,44	0,08		
15	15	6,44	0,08		
16	16	6,44	0,08		
17	17	6,45	0,09		
18	18	6,45	0,09		
19	19	6,45	0,09		
20	20	6,45	0,09		
21	21	6,44	0,08		
22	22	6,45	0,09		
23	23	6,44	0,08		
24	24	6,44	0,08		
25	25	6,44	0,08		
26	26	6,44	0,08		
27	27	6,44	0,08		
28	28	6,45	0,09		
29	35	6,43	0,07		
30	36	6,43	0,07		
31	37	6,44	0,08		
32	38	6,43	0,07		
33	39	6,43	0,07		
34	40	6,44	0,08		
35	41	6,44	0,08		
36	42	6,43	0,07		
37	43	6,43	0,07		
38	44	6,44	0,08		
39	45	6,44	0,08		
40	50	6,43	0,07		
41	53	6,43	0,07		
42	54	6,43	0,07		
43	59	6,43	0,07		
44	60	6,43	0,07		
45	61	6,43	0,07		

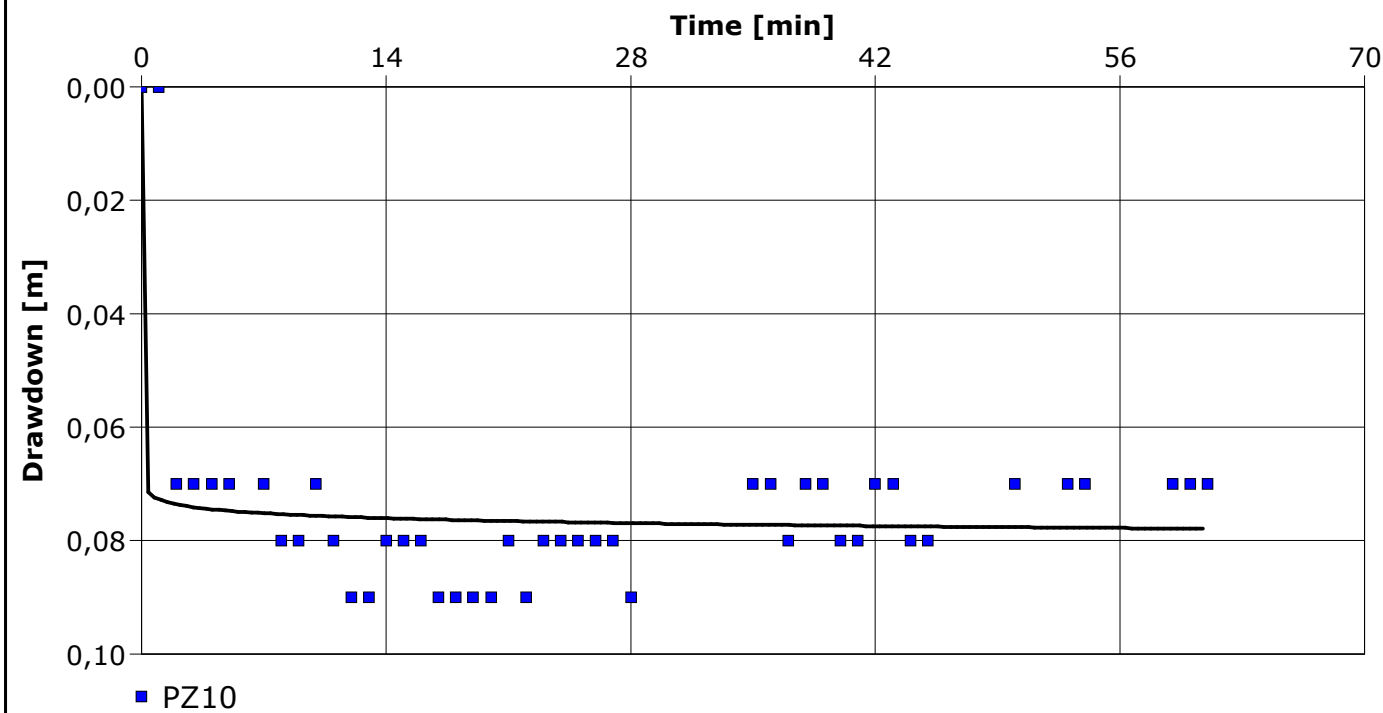


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Primo gradino - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	1° gradino - PZ10	Analysis Date: 24/08/2016
Aquifer Thickness: 40,00 m	Discharge Rate: 0,25 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ10	1,58 × 10 ⁻²	3,95 × 10 ⁻⁴	1,95 × 10 ⁻²	1,00 × 10 ⁻²	1,00 × 10 ²	0,1



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Primo gradino - PZ10			Pumping Well: PZ10		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 07/04/2016		
Aquifer Thickness: 40,00 m			Discharge Rate: 0,25 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	1° gradino - PZ10	ITG	24/08/2016	Boulton	PZ10	1,58 × 10 ⁻²	3,95 × 10 ⁻⁴	1,95 × 10 ⁻²

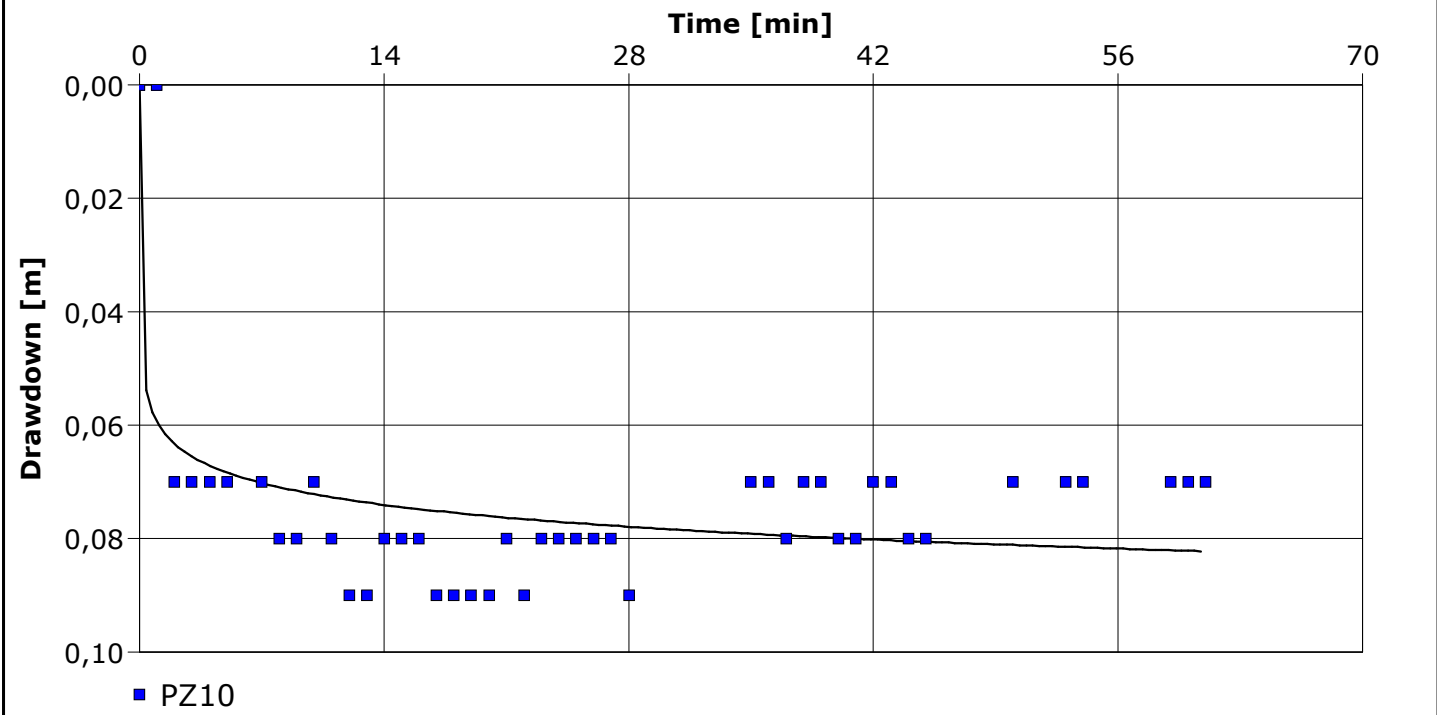


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Primo gradino - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	1° gradino - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 5,64 m	Discharge Rate: 0,25 [l/s]	



Calculation using Theis with Jacob Correction					
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Storage coefficient	Radial Distance to PW [m]	
PZ10	3,63 × 10 ⁻³	6,43 × 10 ⁻⁴	9,95 × 10 ⁻⁴	0,1	

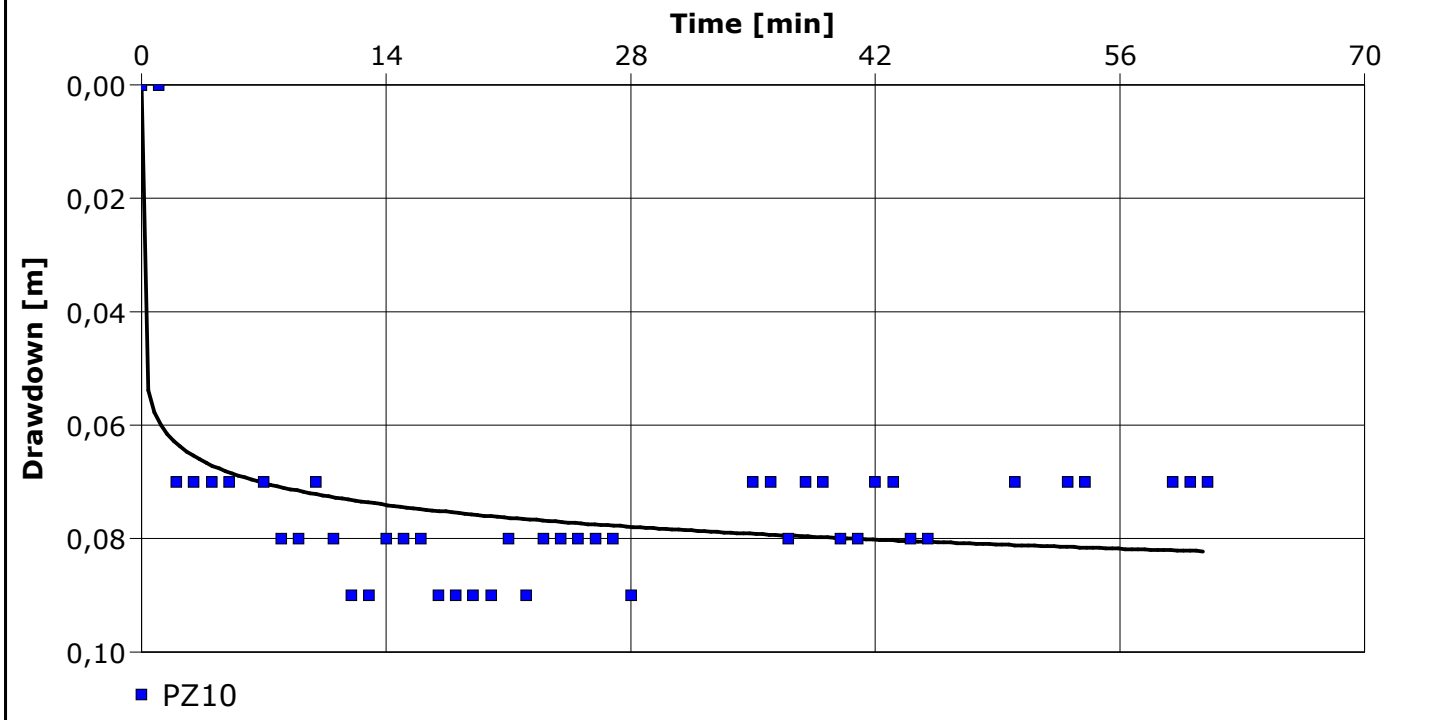


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Primo gradino - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	1° gradino - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 5,64 m	Discharge Rate: 0,25 [l/s]	



Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ10	$3,57 \times 10^{-3}$	$6,33 \times 10^{-4}$	$1,12 \times 10^{-2}$	$4,78 \times 10^{-2}$	$1,01 \times 10^1$	0,1

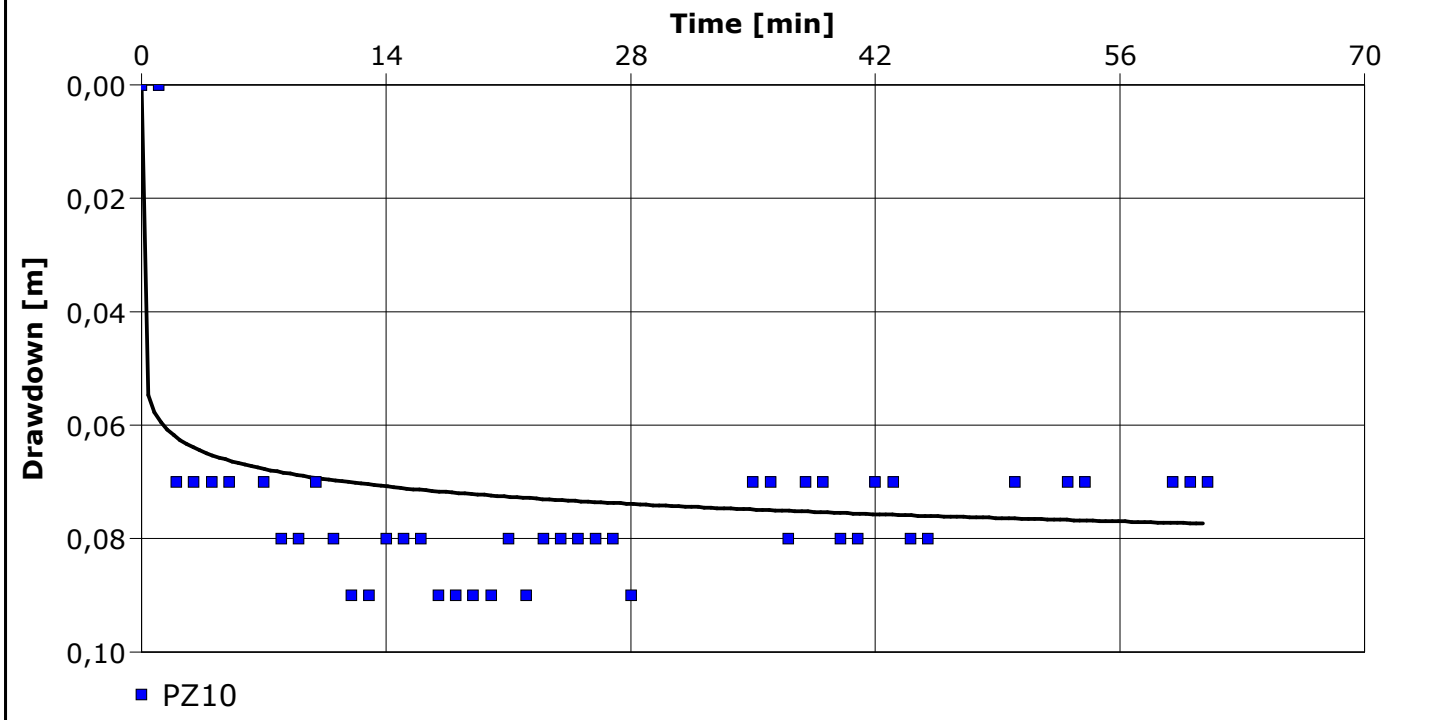


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Primo gradino - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	1° gradino - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 5,64 m	Discharge Rate: 0,25 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ10	$4,47 \times 10^{-3}$	$7,93 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^2$	0,1




Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Primo gradino - PZ10			Pumping Well: PZ10		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 07/04/2016		
Aquifer Thickness: 5,64 m			Discharge Rate: 0,25 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	1° gradino - PZ10	ITG	26/08/2016	Theis with Jacob Correction	PZ10	3,63 × 10 ⁻³	6,43 × 10 ⁻⁴	9,95 × 10 ⁻⁴
2	1° gradino - PZ10	ITG	26/08/2016	Neuman	PZ10	3,57 × 10 ⁻³	6,33 × 10 ⁻⁴	1,12 × 10 ⁻²
3	1° gradino - PZ10	ITG	26/08/2016	Boulton	PZ10	4,47 × 10 ⁻³	7,93 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁴
Average						3,89 × 10 ⁻³	6,90 × 10 ⁻⁴	4,10 × 10 ⁻³

<div><div></div><div><div>Contact Info</div><div>Address</div><div>Company Name</div><div>City, State/Province</div></div></div>				<div>Pumping Test - Water Level Data</div> <div>Project: Prove a gradini</div> <div>Number: 4018.07</div> <div>Client: Eni</div>		Page 1 of 2	
Location: Morimondo			Pumping Test: Secondo gradino PZ10		Pumping Well: PZ10		
Test Conducted by: NCE			Test Date: 07/04/2016		Discharge Rate: 0,58 [l/s]		
Observation Well: PZ10			Static Water Level [m]: 6,36		Radial Distance to PW [m]: -		
	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]				
1	0	6,36	0,00				
2	1	6,48	0,12				
3	2	6,50	0,14				
4	3	6,51	0,15				
5	4	6,51	0,15				
6	5	6,50	0,14				
7	6	6,50	0,14				
8	7	6,50	0,14				
9	8	6,50	0,14				
10	9	6,51	0,15				
11	10	6,51	0,15				
12	11	6,57	0,21				
13	12	6,67	0,31				
14	13	6,68	0,32				
15	14	6,66	0,30				
16	15	6,68	0,32				
17	16	6,69	0,33				
18	17	6,70	0,34				
19	18	6,69	0,33				
20	19	6,67	0,31				
21	20	6,69	0,33				
22	21	6,68	0,32				
23	22	6,70	0,34				
24	23	6,70	0,34				
25	24	6,70	0,34				
26	25	6,69	0,33				
27	26	6,71	0,35				
28	27	6,71	0,35				
29	28	6,68	0,32				
30	29	6,70	0,34				
31	30	6,71	0,35				
32	31	6,71	0,35				
33	32	6,71	0,35				
34	33	6,72	0,36				
35	34	6,71	0,35				
36	35	6,71	0,35				
37	36	6,73	0,37				
38	37	6,72	0,36				
39	38	6,71	0,35				
40	39	6,73	0,37				
41	40	6,72	0,36				
42	41	6,72	0,36				
43	42	6,73	0,37				
44	43	6,71	0,35				
45	44	6,74	0,38				
46	45	6,73	0,37				
47	46	6,73	0,37				
48	47	6,73	0,37				
49	48	6,72	0,36				
50	49	6,73	0,37				
51	50	6,72	0,36				
52	51	6,74	0,38				
53	52	6,74	0,38				
54	53	6,74	0,38				
55	54	6,73	0,37				
56	55	6,75	0,39				
57	56	6,74	0,38				
58	57	6,74	0,38				
59	58	6,73	0,37				
60	59	6,74	0,38				
61	60	6,75	0,39				
62	61	6,74	0,38				
63	62	6,73	0,37				
64	63	6,74	0,38				
65	64	6,74	0,38				
66	65	6,73	0,37				
67	66	6,74	0,38				
68	67	6,74	0,38				
69	68	6,74	0,38				
70	69	6,76	0,40				



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test - Water Level Data

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
71	70	6,75	0,39
72	71	6,75	0,39
73	72	6,76	0,40
74	73	6,74	0,38
75	74	6,75	0,39
76	75	6,74	0,38
77	76	6,75	0,39
78	77	6,75	0,39
79	78	6,75	0,39
80	79	6,77	0,41
81	80	6,77	0,41
82	81	6,75	0,39
83	82	6,76	0,40
84	83	6,77	0,41
85	84	6,77	0,41
86	85	6,78	0,42
87	86	6,76	0,40
88	87	6,75	0,39
89	88	6,78	0,42
90	89	6,77	0,41
91	90	6,78	0,42
92	91	6,77	0,41
93	92	6,79	0,43
94	93	6,79	0,43
95	94	6,78	0,42
96	95	6,77	0,41
97	96	6,76	0,40
98	97	6,77	0,41
99	98	6,79	0,43

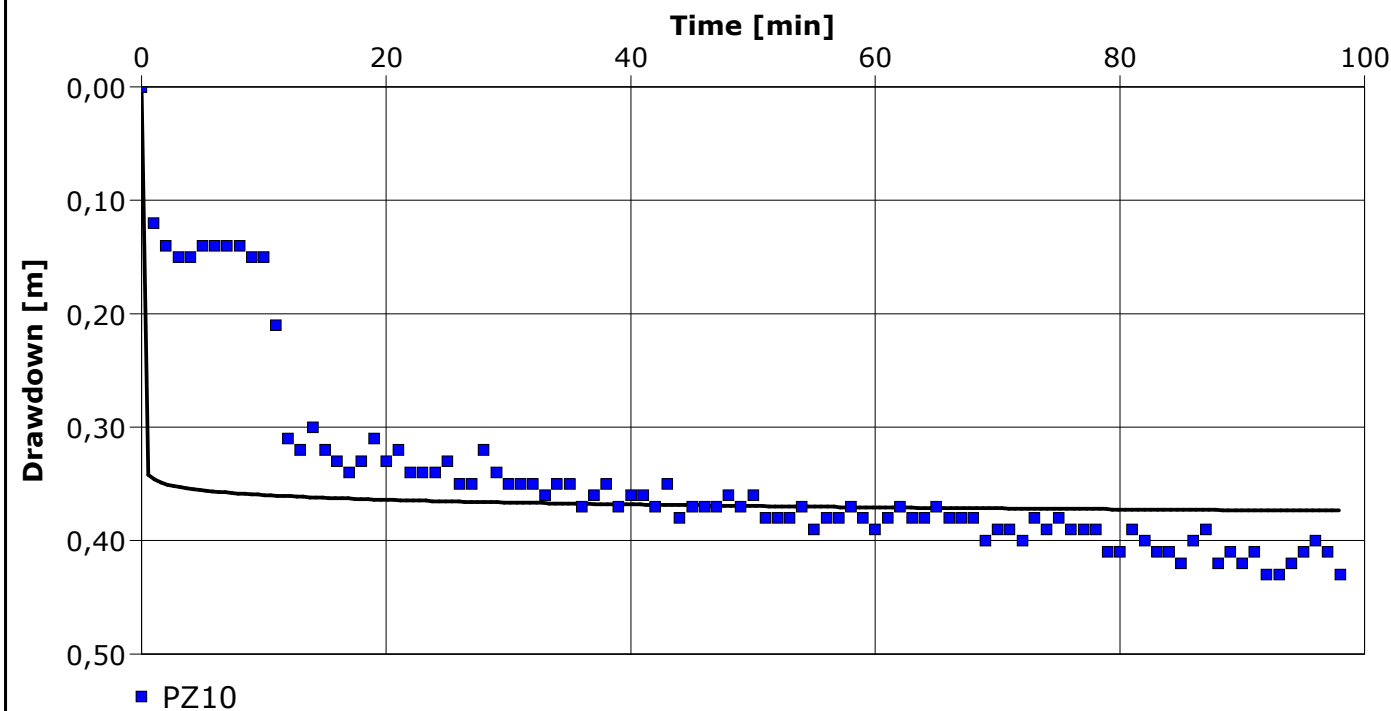


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Secondo gradino PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	2° gradino-PZ10	Analysis Date: 24/08/2016
Aquifer Thickness: 40,00 m	Discharge Rate: 0,58 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ10	$7,60 \times 10^{-3}$	$1,90 \times 10^{-4}$	$3,86 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^2$	0,1



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Secondo gradino PZ10			Pumping Well: PZ10		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 07/04/2016		
Aquifer Thickness: 40,00 m			Discharge Rate: 0,58 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	2° gradino-PZ10	ITG	24/08/2016	Boulton	PZ10	7,60 × 10 ⁻³	1,90 × 10 ⁻⁴	3,86 × 10 ⁻²



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

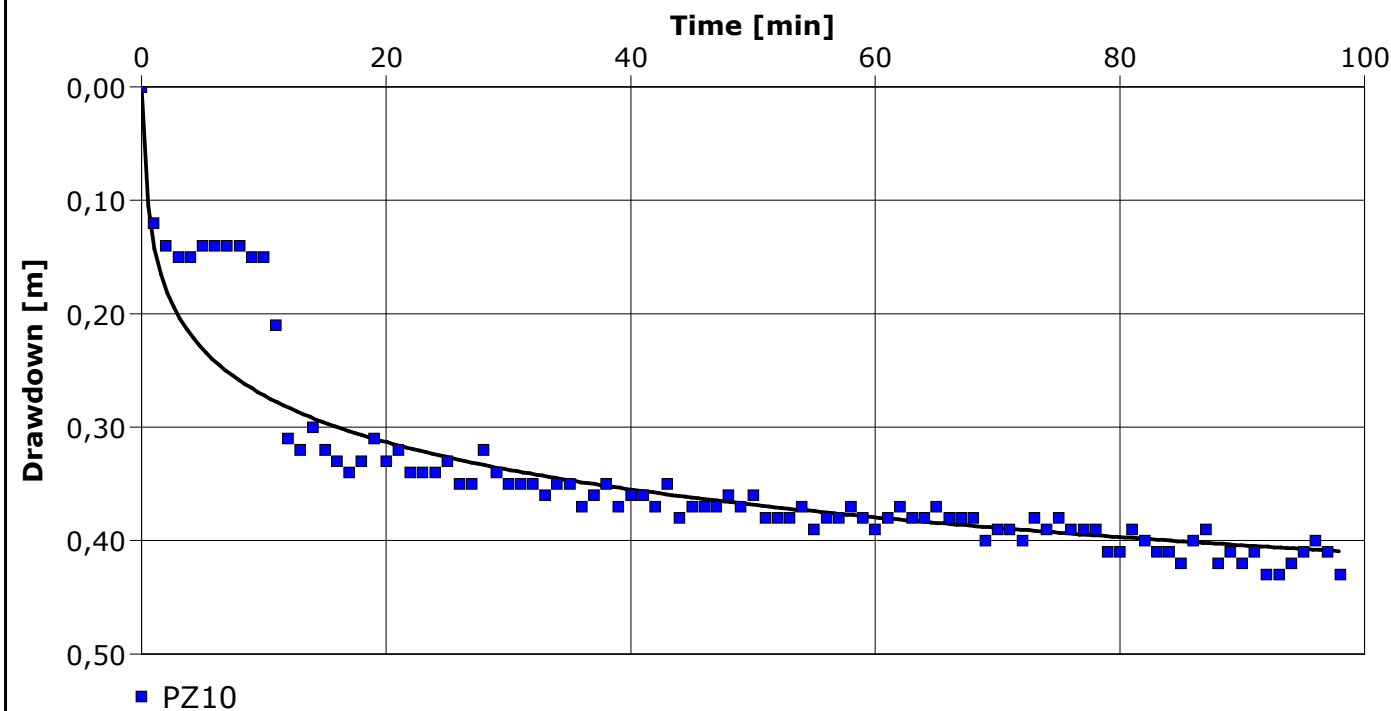
Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Secondo gradino - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	2° gradino - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 5,57 m	Discharge Rate: 0,58 [l/s]	



Calculation using Theis with Jacob Correction

Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Storage coefficient	Radial Distance to PW [m]	
PZ10	$8,15 \times 10^{-4}$	$1,46 \times 10^{-4}$	$9,90 \times 10^{-1}$	0,1	



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

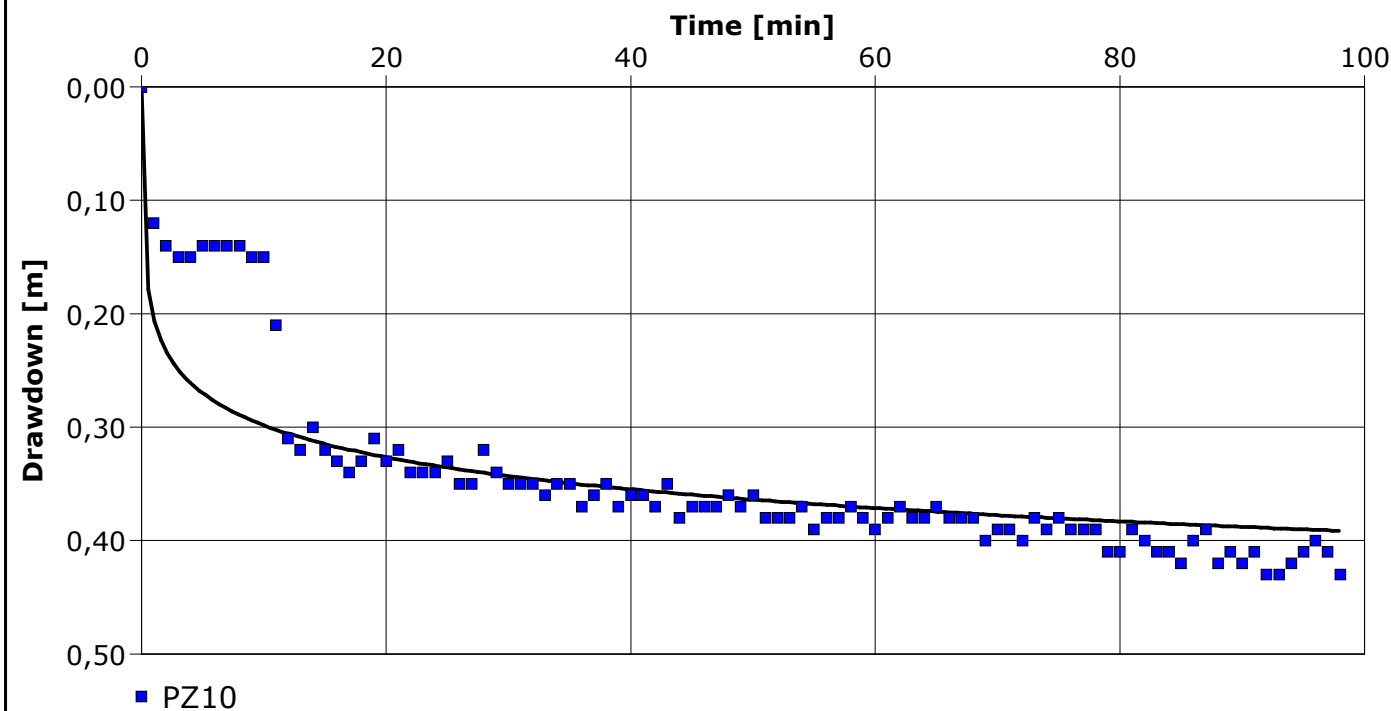
Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Secondo gradino - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	2° gradino - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 5,57 m	Discharge Rate: 0,58 [l/s]	



Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ10	$1,13 \times 10^{-3}$	$2,03 \times 10^{-4}$	$9,90 \times 10^{-1}$	$9,92 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^1$	0,1

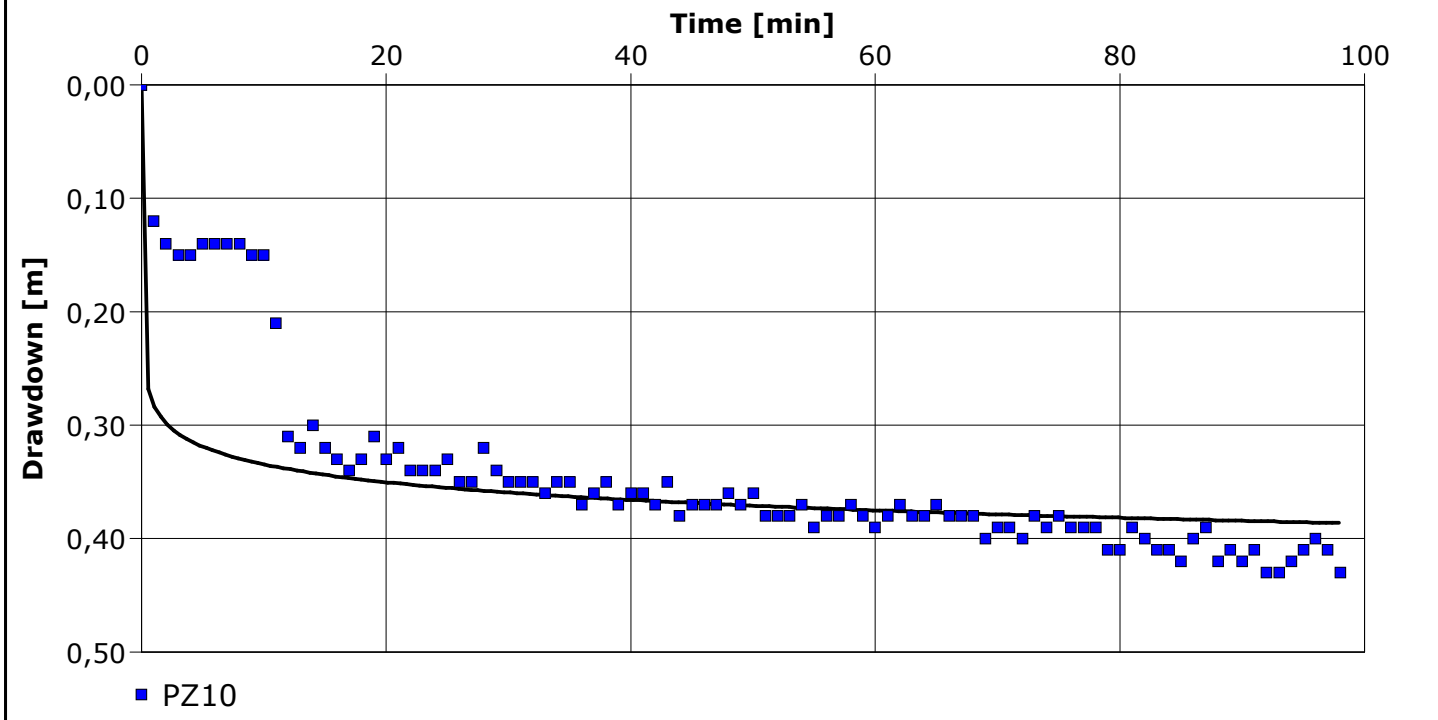


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Secondo gradino - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	2° gradino - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 5,57 m	Discharge Rate: 0,58 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ10	$2,04 \times 10^{-3}$	$3,66 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^2$	0,1




Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Secondo gradino - PZ10			Pumping Well: PZ10		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 07/04/2016		
Aquifer Thickness: 5,57 m			Discharge Rate: 0,58 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	2° gradino - PZ10	ITG	26/08/2016	Theis with Jacob Correction	PZ10	8,15 × 10 ⁻⁴	1,46 × 10 ⁻⁴	9,90 × 10 ⁻¹
2	2° gradino - PZ10	ITG	26/08/2016	Neuman	PZ10	1,13 × 10 ⁻³	2,03 × 10 ⁻⁴	9,90 × 10 ⁻¹
3	2° gradino - PZ10	ITG	26/08/2016	Boulton	PZ10	2,04 × 10 ⁻³	3,66 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁴
Average						1,33 × 10 ⁻³	2,39 × 10 ⁻⁴	6,60 × 10 ⁻¹

<div><div></div><div><div>Contact Info</div><div>Address</div><div>Company Name</div><div>City, State/Province</div></div></div>				<div>Pumping Test - Water Level Data</div> <div>Project: Prove a gradini</div> <div>Number: 4018.07</div> <div>Client: Eni</div>		Page 1 of 2	
Location: Morimondo				Pumping Test: Terzo gradino-PZ10		Pumping Well: PZ10	
Test Conducted by: NCE				Test Date: 07/04/2016		Discharge Rate: 0,83 [l/s]	
Observation Well: PZ10				Static Water Level [m]: 6,36		Radial Distance to PW [m]: -	
	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]				
1	0	6,36	0,00				
2	1	6,81	0,45				
3	2	7,10	0,74				
4	3	7,09	0,73				
5	4	7,10	0,74				
6	5	7,11	0,75				
7	6	7,11	0,75				
8	7	7,07	0,71				
9	8	7,12	0,76				
10	9	7,14	0,78				
11	10	7,11	0,75				
12	11	7,14	0,78				
13	12	7,09	0,73				
14	13	7,08	0,72				
15	14	7,07	0,71				
16	15	7,13	0,77				
17	16	7,13	0,77				
18	17	7,13	0,77				
19	18	7,12	0,76				
20	19	7,09	0,73				
21	20	7,10	0,74				
22	21	7,15	0,79				
23	22	7,14	0,78				
24	23	7,09	0,73				
25	24	7,09	0,73				
26	25	7,13	0,77				
27	26	7,12	0,76				
28	27	7,13	0,77				
29	28	7,16	0,80				
30	29	7,13	0,77				
31	30	7,15	0,79				
32	31	7,11	0,75				
33	32	7,09	0,73				
34	33	7,12	0,76				
35	34	7,10	0,74				
36	35	7,12	0,76				
37	36	7,08	0,72				
38	37	7,11	0,75				
39	38	7,11	0,75				
40	39	7,15	0,79				
41	40	7,14	0,78				
42	41	7,16	0,80				
43	42	7,13	0,77				
44	43	7,17	0,81				
45	44	7,16	0,80				
46	45	7,11	0,75				
47	46	7,16	0,80				
48	47	7,11	0,75				
49	48	7,12	0,76				
50	49	7,14	0,78				
51	50	7,16	0,80				
52	51	7,15	0,79				
53	52	7,15	0,79				
54	53	7,16	0,80				
55	54	7,16	0,80				
56	55	7,11	0,75				
57	56	7,12	0,76				
58	57	7,10	0,74				
59	58	7,16	0,80				
60	59	7,12	0,76				
61	60	7,11	0,75				
62	61	7,08	0,72				
63	62	7,09	0,73				
64	63	7,16	0,80				
65	64	7,11	0,75				
66	65	7,10	0,74				
67	66	7,15	0,79				
68	67	7,15	0,79				
69	68	7,11	0,75				
70	69	7,14	0,78				



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test - Water Level Data

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
71	70	7,15	0,79
72	71	7,14	0,78
73	72	7,08	0,72
74	73	7,16	0,80
75	74	7,14	0,78
76	75	7,08	0,72
77	76	7,11	0,75
78	77	7,15	0,79
79	78	7,16	0,80
80	79	7,08	0,72
81	80	7,15	0,79
82	81	7,07	0,71
83	82	7,08	0,72
84	83	7,09	0,73
85	84	7,12	0,76
86	85	7,10	0,74
87	86	7,13	0,77
88	87	7,10	0,74
89	88	7,15	0,79
90	89	7,14	0,78
91	90	7,12	0,76
92	91	7,16	0,80
93	92	7,09	0,73
94	93	7,09	0,73
95	94	7,15	0,79
96	95	7,10	0,74
97	96	7,14	0,78
98	97	7,16	0,80
99	98	7,15	0,79
100	99	7,12	0,76
101	100	7,15	0,79
102	101	7,12	0,76

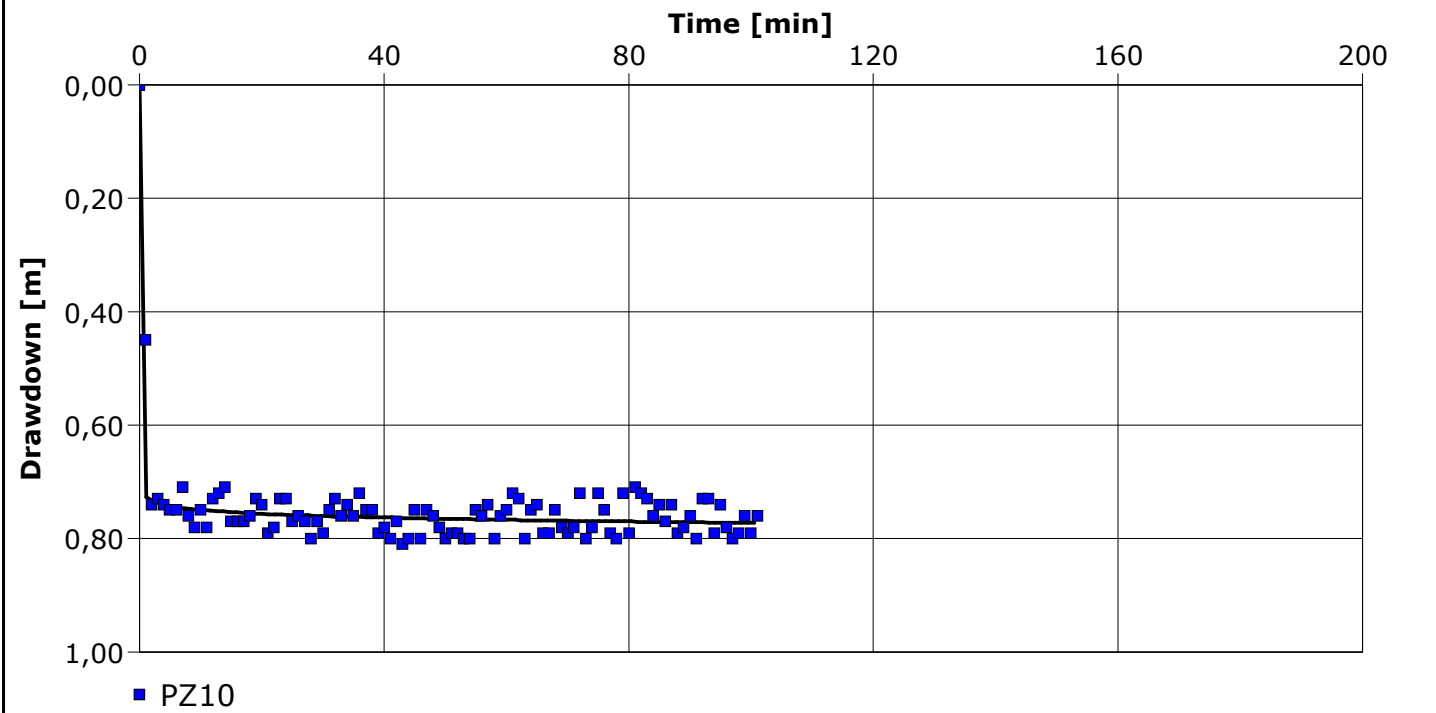


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Terzo gradino-PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	3° gradino-PZ10	Analysis Date: 24/08/2016
Aquifer Thickness: 40,00 m	Discharge Rate: 0,83 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ10	$6,65 \times 10^{-3}$	$1,66 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-7}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^2$	0,1



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Terzo gradino-PZ10			Pumping Well: PZ10		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 07/04/2016		
Aquifer Thickness: 40,00 m			Discharge Rate: 0,83 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	3° gradino-PZ10	ITG	24/08/2016	Boulton	PZ10	6,65 × 10 ⁻³	1,66 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

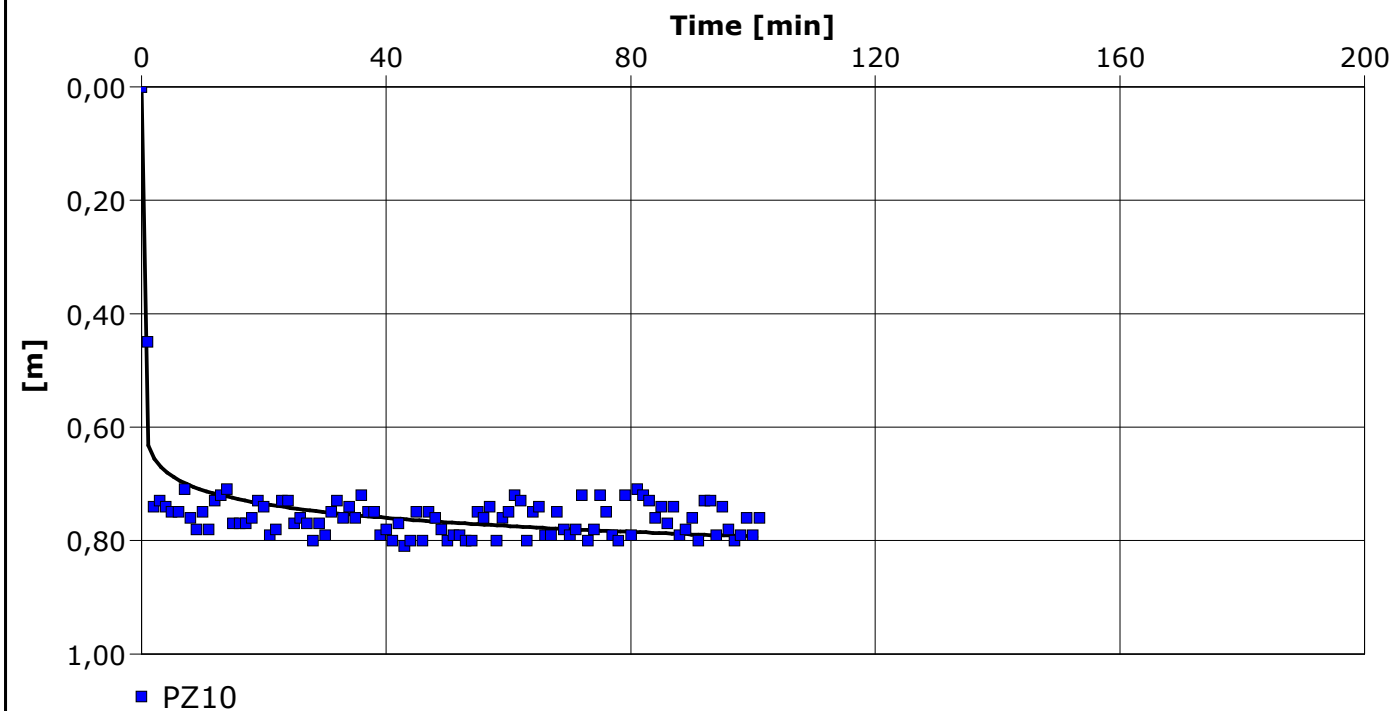
Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Terzo gradino - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	3° gradino - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 5,19 m	Discharge Rate: 0,83 [l/s]	



Calculation using Theis with Jacob Correction					
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Storage coefficient	Radial Distance to PW [m]	
PZ10	$2,17 \times 10^{-3}$	$4,18 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-7}$	0,1	

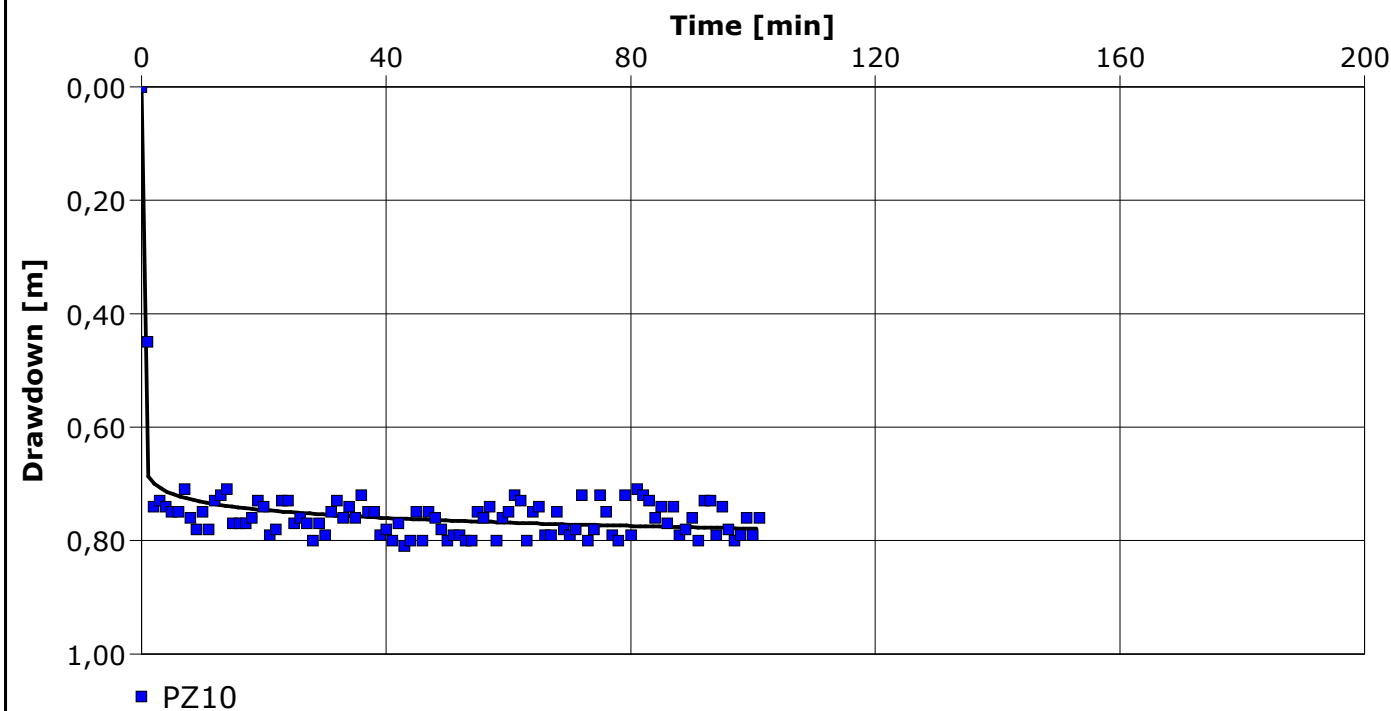


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Terzo gradino - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	3° gradino - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 5,19 m	Discharge Rate: 0,83 [l/s]	



Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ10	3,25 × 10 ⁻³	6,26 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷	7,44 × 10 ⁻²	1,00 × 10 ⁶	0,1

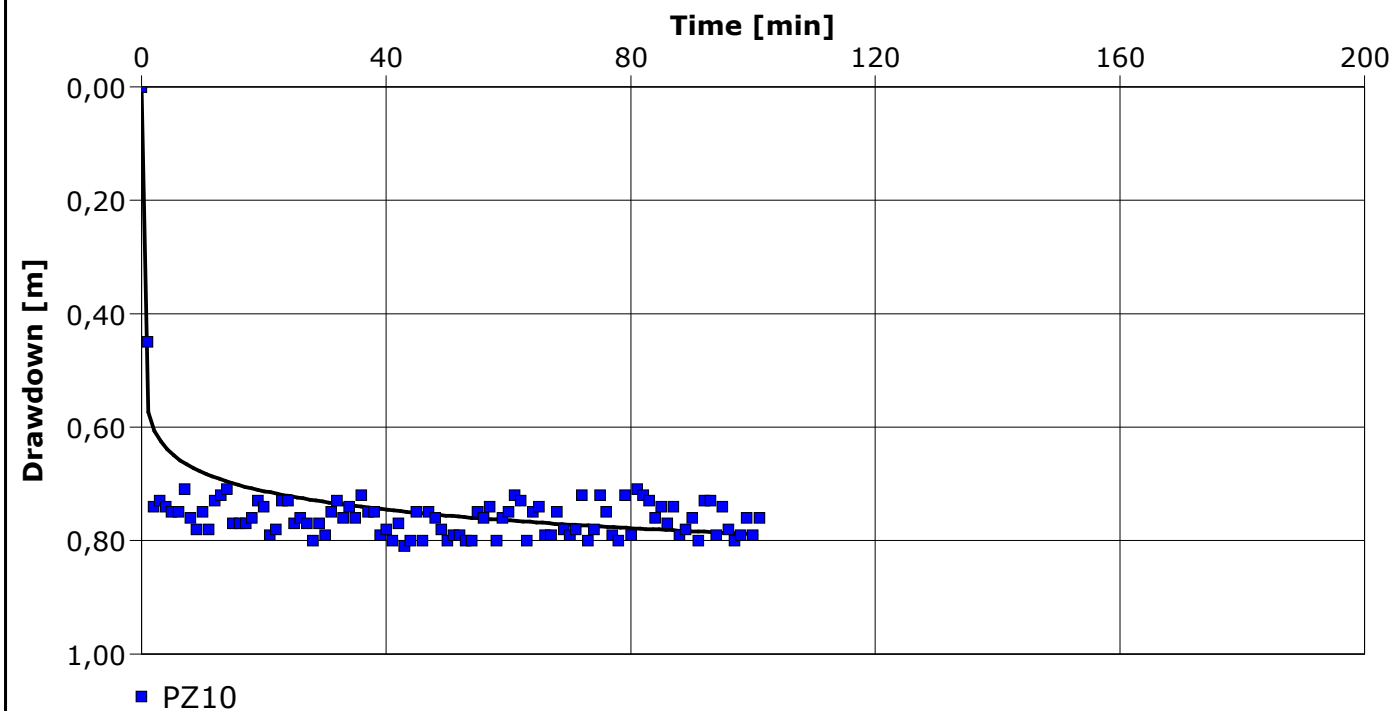


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Terzo gradino - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	3° gradino - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 5,19 m	Discharge Rate: 0,83 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ10	$1,40 \times 10^{-3}$	$2,70 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^2$	0,1




Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Terzo gradino - PZ10			Pumping Well: PZ10		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 07/04/2016		
Aquifer Thickness: 5,19 m			Discharge Rate: 0,83 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	3° gradino - PZ10	ITG	26/08/2016	Theis with Jacob Correction	PZ10	2,17 × 10 ⁻³	4,18 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷
2	3° gradino - PZ10	ITG	26/08/2016	Neuman	PZ10	3,25 × 10 ⁻³	6,26 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷
3	3° gradino - PZ10	ITG	26/08/2016	Boulton	PZ10	1,40 × 10 ⁻³	2,70 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁴
Average						2,27 × 10 ⁻³	4,38 × 10 ⁻⁴	3,34 × 10 ⁻⁵

<div></div> <div><div>Contact Info</div><div>Address</div><div>Company Name</div><div>City, State/Province</div></div>				<div>Pumping Test - Water Level Data</div> <div>Page 1 of 2</div>	
				Project: Prove a gradini	
				Number: 4018.07	
				Client: Eni	
Location: Morimondo		Pumping Test: Quarto gradino- PZ10		Pumping Well: PZ10	
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016		Discharge Rate: 1,67 [l/s]	
Observation Well: PZ10		Static Water Level [m]: 6,36		Radial Distance to PW [m]: -	
	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]		
1	0	6,36	0,00		
2	1	7,93	1,57		
3	2	8,70	2,34		
4	3	8,71	2,35		
5	4	8,70	2,34		
6	6	8,73	2,37		
7	7	8,79	2,43		
8	8	8,77	2,41		
9	9	8,74	2,38		
10	10	8,78	2,42		
11	11	8,78	2,42		
12	12	8,77	2,41		
13	13	8,76	2,40		
14	14	8,74	2,38		
15	15	8,74	2,38		
16	16	8,74	2,38		
17	17	8,75	2,39		
18	18	8,77	2,41		
19	19	8,76	2,40		
20	20	8,74	2,38		
21	21	8,74	2,38		
22	22	8,77	2,41		
23	23	8,77	2,41		
24	24	8,78	2,42		
25	25	8,77	2,41		
26	26	8,77	2,41		
27	27	8,78	2,42		
28	28	8,77	2,41		
29	29	8,77	2,41		
30	30	8,78	2,42		
31	31	8,77	2,41		
32	32	8,79	2,43		
33	33	8,78	2,42		
34	34	8,80	2,44		
35	35	8,80	2,44		
36	36	8,80	2,44		
37	37	8,80	2,44		
38	38	8,78	2,42		
39	39	8,78	2,42		
40	40	8,79	2,43		
41	41	8,79	2,43		
42	42	8,78	2,42		
43	43	8,77	2,41		
44	44	8,75	2,39		
45	45	8,75	2,39		
46	46	8,73	2,37		
47	47	8,74	2,38		
48	48	8,77	2,41		
49	49	8,77	2,41		
50	50	8,77	2,41		
51	51	8,77	2,41		
52	52	8,77	2,41		
53	53	8,79	2,43		
54	54	8,79	2,43		
55	55	8,79	2,43		
56	56	8,80	2,44		
57	57	8,80	2,44		
58	58	8,79	2,43		
59	59	8,79	2,43		
60	60	8,87	2,51		
61	61	8,79	2,43		
62	62	8,80	2,44		
63	63	8,80	2,44		
64	64	8,80	2,44		
65	65	8,79	2,43		
66	66	8,80	2,44		
67	67	8,80	2,44		
68	68	8,80	2,44		
69	69	8,80	2,44		
70	70	8,79	2,43		



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test - Water Level Data

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
71	71	8,80	2,44
72	72	8,80	2,44



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

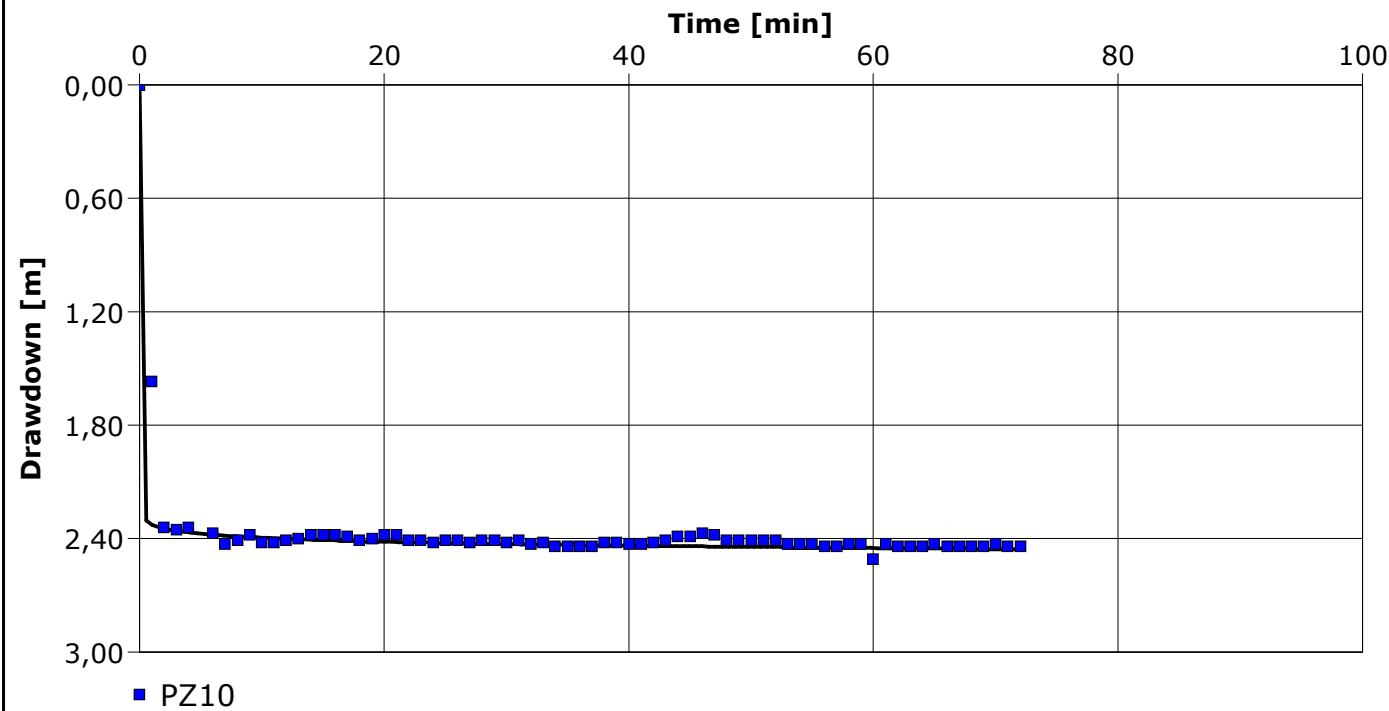
Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Quarto gradino- PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	4° gradino- PZ10	Analysis Date: 24/08/2016
Aquifer Thickness: 40,00 m	Discharge Rate: 1,67 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ10	$4,34 \times 10^{-3}$	$1,09 \times 10^{-4}$	$1,01 \times 10^{-7}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^2$	0,1



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Quarto gradino- PZ10			Pumping Well: PZ10		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 07/04/2016		
Aquifer Thickness: 40,00 m			Discharge Rate: 1,67 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	4° gradino- PZ10	ITG	24/08/2016	Boulton	PZ10	$4,34 \times 10^{-3}$	$1,09 \times 10^{-4}$	$1,01 \times 10^{-7}$

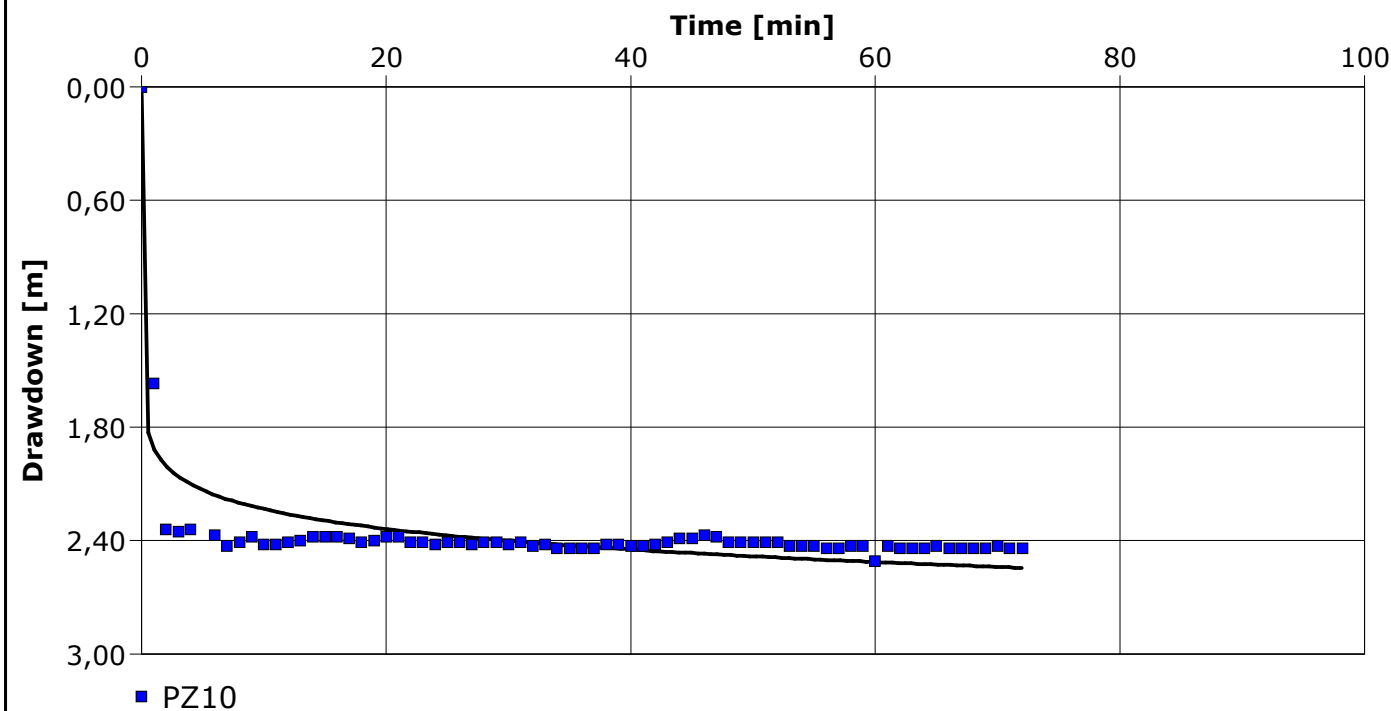


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Quarto gradino - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	4° gradino - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 4,86 m	Discharge Rate: 1,67 [l/s]	



Calculation using Theis with Jacob Correction

Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Storage coefficient	Radial Distance to PW [m]	
PZ10	$1,66 \times 10^{-3}$	$3,42 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-7}$	0,1	

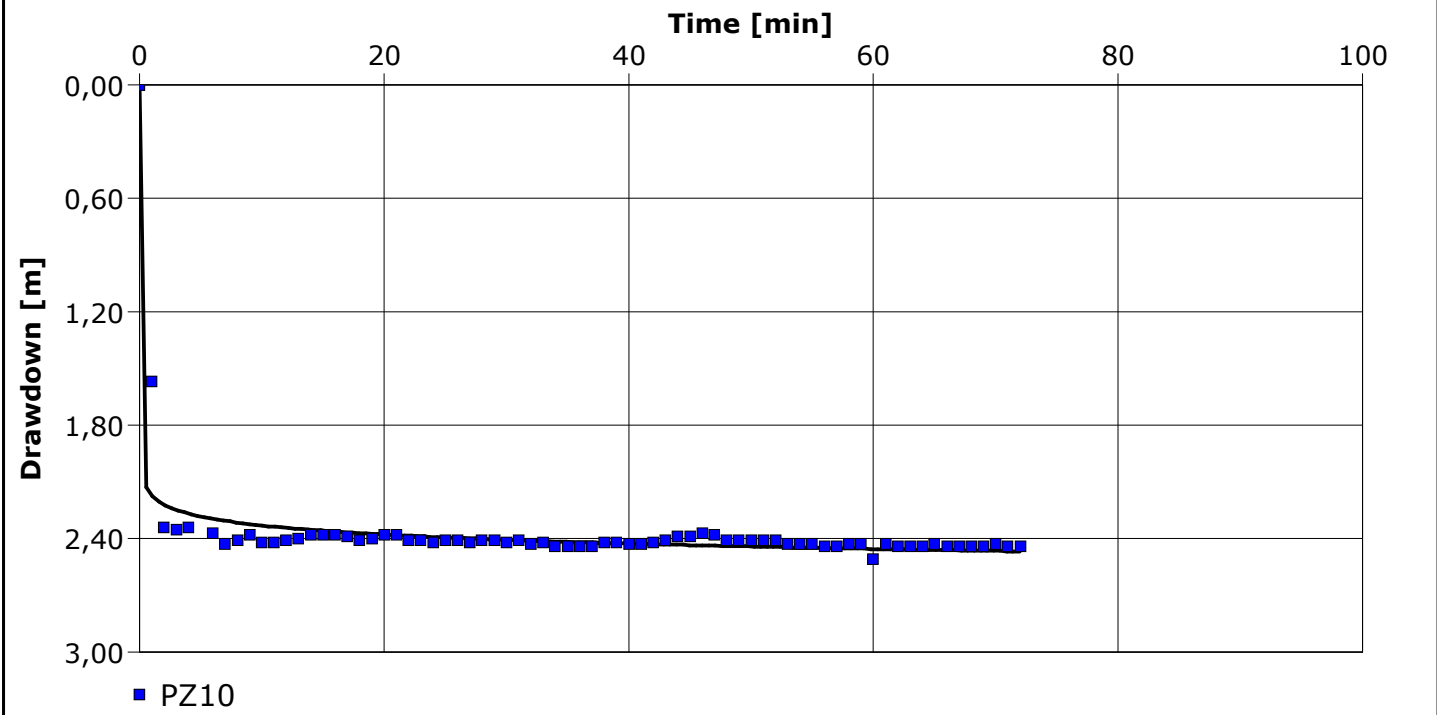


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Quarto gradino - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	4° gradino - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 4,86 m	Discharge Rate: 1,67 [l/s]	



Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ10	1,92 × 10 ⁻³	3,95 × 10 ⁻⁴	1,09 × 10 ⁻⁷	9,99 × 10 ⁻¹	1,78 × 10 ⁵	0,1



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

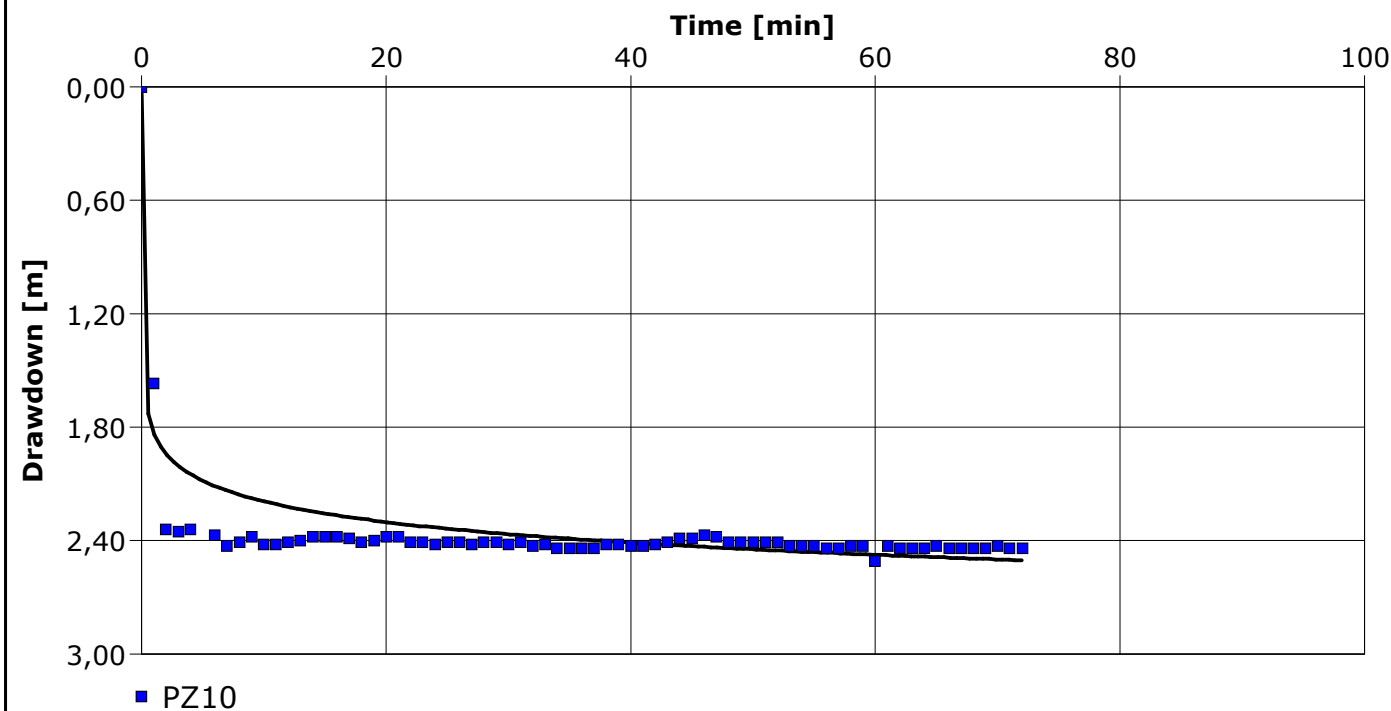
Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Quarto gradino - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	4° gradino - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 4,86 m	Discharge Rate: 1,67 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ10	$8,43 \times 10^{-4}$	$1,73 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^2$	0,1




Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Quarto gradino - PZ10			Pumping Well: PZ10		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 07/04/2016		
Aquifer Thickness: 4,86 m			Discharge Rate: 1,67 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	4° gradino - PZ10	ITG	26/08/2016	Theis with Jacob Correction	PZ10	1,66 × 10 ⁻³	3,42 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷
2	4° gradino - PZ10	ITG	26/08/2016	Neuman	PZ10	1,92 × 10 ⁻³	3,95 × 10 ⁻⁴	1,09 × 10 ⁻⁷
3	4° gradino - PZ10	ITG	26/08/2016	Boulton	PZ10	8,43 × 10 ⁻⁴	1,73 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁴
Average						1,47 × 10 ⁻³	3,03 × 10 ⁻⁴	3,34 × 10 ⁻⁵

<div></div> <div>Contact Info Address Company Name City, State/Province</div>				Pumping Test - Water Level Data <div>Page 1 of 5</div>	
				Project: Prove a gradini	
				Number: 4018.07	
				Client: Eni	

Location: Morimondo		Pumping Test: Risalita - PZ10		Pumping Well: PZ10	
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016		Discharge: variable, average rate 0,82832 [l/s]	
Observation Well: PZ10		Static Water Level [m]: 6,36		Radial Distance to PW [m]: -	

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
1	0	6,36	0,00
2	1	6,36	0,00
3	2	6,43	0,07
4	3	6,43	0,07
5	4	6,43	0,07
6	5	6,43	0,07
7	6	6,42	0,06
8	7	6,43	0,07
9	8	6,44	0,08
10	9	6,44	0,08
11	10	6,43	0,07
12	11	6,44	0,08
13	12	6,45	0,09
14	13	6,45	0,09
15	14	6,44	0,08
16	15	6,44	0,08
17	16	6,44	0,08
18	17	6,45	0,09
19	18	6,45	0,09
20	19	6,45	0,09
21	20	6,45	0,09
22	21	6,44	0,08
23	22	6,45	0,09
24	23	6,44	0,08
25	24	6,44	0,08
26	25	6,44	0,08
27	26	6,44	0,08
28	27	6,44	0,08
29	28	6,45	0,09
30	29	6,42	0,06
31	30	6,41	0,05
32	31	6,42	0,06
33	32	6,42	0,06
34	33	6,42	0,06
35	34	6,42	0,06
36	35	6,43	0,07
37	36	6,43	0,07
38	37	6,44	0,08
39	38	6,43	0,07
40	39	6,43	0,07
41	40	6,44	0,08
42	41	6,44	0,08
43	42	6,43	0,07
44	43	6,43	0,07
45	44	6,44	0,08
46	45	6,44	0,08
47	46	6,41	0,05
48	47	6,42	0,06
49	48	6,41	0,05
50	49	6,42	0,06
51	50	6,43	0,07
52	51	6,42	0,06
53	52	6,42	0,06
54	53	6,43	0,07
55	54	6,43	0,07
56	55	6,42	0,06
57	56	6,42	0,06
58	57	6,42	0,06
59	58	6,42	0,06
60	59	6,43	0,07
61	60	6,43	0,07
62	61	6,43	0,07
63	62	6,42	0,06
64	63	6,42	0,06
65	64	6,48	0,12
66	65	6,50	0,14
67	66	6,51	0,15
68	67	6,51	0,15
69	68	6,50	0,14
70	69	6,50	0,14



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test - Water Level Data

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
71	70	6,50	0,14
72	71	6,50	0,14
73	72	6,51	0,15
74	73	6,51	0,15
75	74	6,57	0,21
76	75	6,67	0,31
77	76	6,68	0,32
78	77	6,66	0,30
79	78	6,68	0,32
80	79	6,69	0,33
81	80	6,70	0,34
82	81	6,69	0,33
83	82	6,67	0,31
84	83	6,69	0,33
85	84	6,68	0,32
86	85	6,70	0,34
87	86	6,70	0,34
88	87	6,70	0,34
89	88	6,69	0,33
90	89	6,71	0,35
91	90	6,71	0,35
92	91	6,68	0,32
93	92	6,70	0,34
94	93	6,71	0,35
95	94	6,71	0,35
96	95	6,71	0,35
97	96	6,72	0,36
98	97	6,71	0,35
99	98	6,71	0,35
100	99	6,73	0,37
101	100	6,72	0,36
102	101	6,71	0,35
103	102	6,73	0,37
104	103	6,72	0,36
105	104	6,72	0,36
106	105	6,73	0,37
107	106	6,71	0,35
108	107	6,74	0,38
109	108	6,73	0,37
110	109	6,73	0,37
111	110	6,73	0,37
112	111	6,72	0,36
113	112	6,73	0,37
114	113	6,72	0,36
115	114	6,74	0,38
116	115	6,74	0,38
117	116	6,74	0,38
118	117	6,73	0,37
119	118	6,75	0,39
120	119	6,74	0,38
121	120	6,74	0,38
122	121	6,73	0,37
123	122	6,74	0,38
124	123	6,75	0,39
125	124	6,74	0,38
126	125	6,73	0,37
127	126	6,74	0,38
128	127	6,74	0,38
129	128	6,73	0,37
130	129	6,74	0,38
131	130	6,74	0,38
132	131	6,74	0,38
133	132	6,76	0,40
134	133	6,75	0,39
135	134	6,75	0,39
136	135	6,76	0,40
137	136	6,74	0,38
138	137	6,75	0,39
139	138	6,74	0,38
140	139	6,75	0,39
141	140	6,75	0,39
142	141	6,75	0,39
143	142	6,77	0,41
144	143	6,77	0,41
145	144	6,75	0,39
146	145	6,76	0,40
147	146	6,77	0,41



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test - Water Level Data

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
148	147	6,77	0,41
149	148	6,78	0,42
150	149	6,76	0,40
151	150	6,75	0,39
152	151	6,78	0,42
153	152	6,77	0,41
154	153	6,78	0,42
155	154	6,77	0,41
156	155	6,79	0,43
157	156	6,79	0,43
158	157	6,78	0,42
159	158	6,77	0,41
160	159	6,76	0,40
161	160	6,77	0,41
162	161	6,79	0,43
163	162	6,81	0,45
164	163	7,10	0,74
165	164	7,09	0,73
166	165	7,10	0,74
167	166	7,11	0,75
168	167	7,11	0,75
169	168	7,07	0,71
170	169	7,12	0,76
171	170	7,14	0,78
172	171	7,11	0,75
173	172	7,14	0,78
174	173	7,09	0,73
175	174	7,08	0,72
176	175	7,07	0,71
177	176	7,13	0,77
178	177	7,13	0,77
179	178	7,13	0,77
180	179	7,12	0,76
181	180	7,09	0,73
182	181	7,10	0,74
183	182	7,15	0,79
184	183	7,14	0,78
185	184	7,09	0,73
186	185	7,09	0,73
187	186	7,13	0,77
188	187	7,12	0,76
189	188	7,13	0,77
190	189	7,16	0,80
191	190	7,13	0,77
192	191	7,15	0,79
193	192	7,11	0,75
194	193	7,09	0,73
195	194	7,12	0,76
196	195	7,10	0,74
197	196	7,12	0,76
198	197	7,08	0,72
199	198	7,11	0,75
200	199	7,11	0,75
201	200	7,15	0,79
202	201	7,14	0,78
203	202	7,16	0,80
204	203	7,13	0,77
205	204	7,17	0,81
206	205	7,16	0,80
207	206	7,11	0,75
208	207	7,16	0,80
209	208	7,11	0,75
210	209	7,12	0,76
211	210	7,14	0,78
212	211	7,16	0,80
213	212	7,15	0,79
214	213	7,15	0,79
215	214	7,16	0,80
216	215	7,16	0,80
217	216	7,11	0,75
218	217	7,12	0,76
219	218	7,10	0,74
220	219	7,16	0,80
221	220	7,12	0,76
222	221	7,11	0,75
223	222	7,08	0,72
224	223	7,09	0,73



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test - Water Level Data

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
225	224	7,16	0,80
226	225	7,11	0,75
227	226	7,10	0,74
228	227	7,15	0,79
229	228	7,15	0,79
230	229	7,11	0,75
231	230	7,14	0,78
232	231	7,15	0,79
233	232	7,14	0,78
234	233	7,08	0,72
235	234	7,16	0,80
236	235	7,14	0,78
237	236	7,08	0,72
238	237	7,11	0,75
239	238	7,15	0,79
240	239	7,16	0,80
241	240	7,08	0,72
242	241	7,15	0,79
243	242	7,07	0,71
244	243	7,08	0,72
245	244	7,09	0,73
246	245	7,12	0,76
247	246	7,10	0,74
248	247	7,13	0,77
249	248	7,10	0,74
250	249	7,15	0,79
251	250	7,14	0,78
252	251	7,12	0,76
253	252	7,16	0,80
254	253	7,09	0,73
255	254	7,09	0,73
256	255	7,15	0,79
257	256	7,10	0,74
258	257	7,14	0,78
259	258	7,16	0,80
260	259	7,15	0,79
261	260	7,12	0,76
262	261	7,15	0,79
263	262	7,12	0,76
264	263	7,93	1,57
265	264	8,70	2,34
266	265	8,71	2,35
267	266	8,70	2,34
268	267	8,39	2,03
269	268	8,73	2,37
270	269	8,79	2,43
271	270	8,77	2,41
272	271	8,74	2,38
273	272	8,78	2,42
274	273	8,78	2,42
275	274	8,77	2,41
276	275	8,76	2,40
277	276	8,74	2,38
278	277	8,74	2,38
279	278	8,74	2,38
280	279	8,75	2,39
281	280	8,77	2,41
282	281	8,76	2,40
283	282	8,74	2,38
284	283	8,74	2,38
285	284	8,77	2,41
286	285	8,77	2,41
287	286	8,78	2,42
288	287	8,77	2,41
289	288	8,77	2,41
290	289	8,78	2,42
291	290	8,77	2,41
292	291	8,77	2,41
293	292	8,78	2,42
294	293	8,77	2,41
295	294	8,79	2,43
296	295	8,78	2,42
297	296	8,80	2,44
298	297	8,80	2,44
299	298	8,80	2,44
300	299	8,80	2,44
301	300	8,78	2,42



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test - Water Level Data

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
302	301	8,78	2,42
303	302	8,79	2,43
304	303	8,79	2,43
305	304	8,78	2,42
306	305	8,77	2,41
307	306	8,75	2,39
308	307	8,75	2,39
309	308	8,73	2,37
310	309	8,74	2,38
311	310	8,77	2,41
312	311	8,77	2,41
313	312	8,77	2,41
314	313	8,77	2,41
315	314	8,77	2,41
316	315	8,79	2,43
317	316	8,79	2,43
318	317	8,79	2,43
319	318	8,80	2,44
320	319	8,80	2,44
321	320	8,79	2,43
322	321	8,79	2,43
323	322	8,87	2,51
324	323	8,79	2,43
325	324	8,80	2,44
326	325	8,80	2,44
327	326	8,80	2,44
328	327	8,79	2,43
329	328	8,80	2,44
330	329	8,80	2,44
331	330	8,80	2,44
332	331	8,80	2,44
333	332	8,79	2,43
334	333	8,80	2,44
335	334	8,80	2,44
336	335	7,22	0,86
337	336	6,35	-0,01
338	337	6,35	-0,01
339	338	6,35	-0,01
340	339	6,34	-0,02
341	340	6,34	-0,02
342	341	6,34	-0,02
343	342	6,34	-0,02
344	343	6,34	-0,02
345	344	6,34	-0,02
346	345	6,33	-0,03
347	346	6,33	-0,03
348	347	6,33	-0,03
349	348	6,33	-0,03
350	349	6,33	-0,03
351	350	6,33	-0,03
352	351	6,33	-0,03
353	352	6,33	-0,03
354	353	6,33	-0,03
355	354	6,33	-0,03
356	355	6,33	-0,03
357	356	6,33	-0,03
358	357	6,33	-0,03
359	358	6,32	-0,04
360	359	6,32	-0,04
361	360	6,32	-0,04
362	361	6,32	-0,04
363	362	6,32	-0,04
364	363	6,32	-0,04
365	364	6,32	-0,04
366	365	6,32	-0,04
367	366	6,32	-0,04
368	367	6,32	-0,04
369	368	6,32	-0,04
370	369	6,32	-0,04
371	370	6,32	-0,04



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test - Discharge Data

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo

Pumping Test: Risalita - PZ10

Pumping Well: PZ10

Test Conducted by: NCE

Test Date: 07/04/2016

Discharge: variable, average rate 0,82832 [l/s]

Observation Well: PZ10

Radial Distance to PW [m]: -

	Time [min]	Discharge [l/s]
1	63	0,25
2	161	0,58
3	262	0,83
4	334	1,67
5	370	0,00

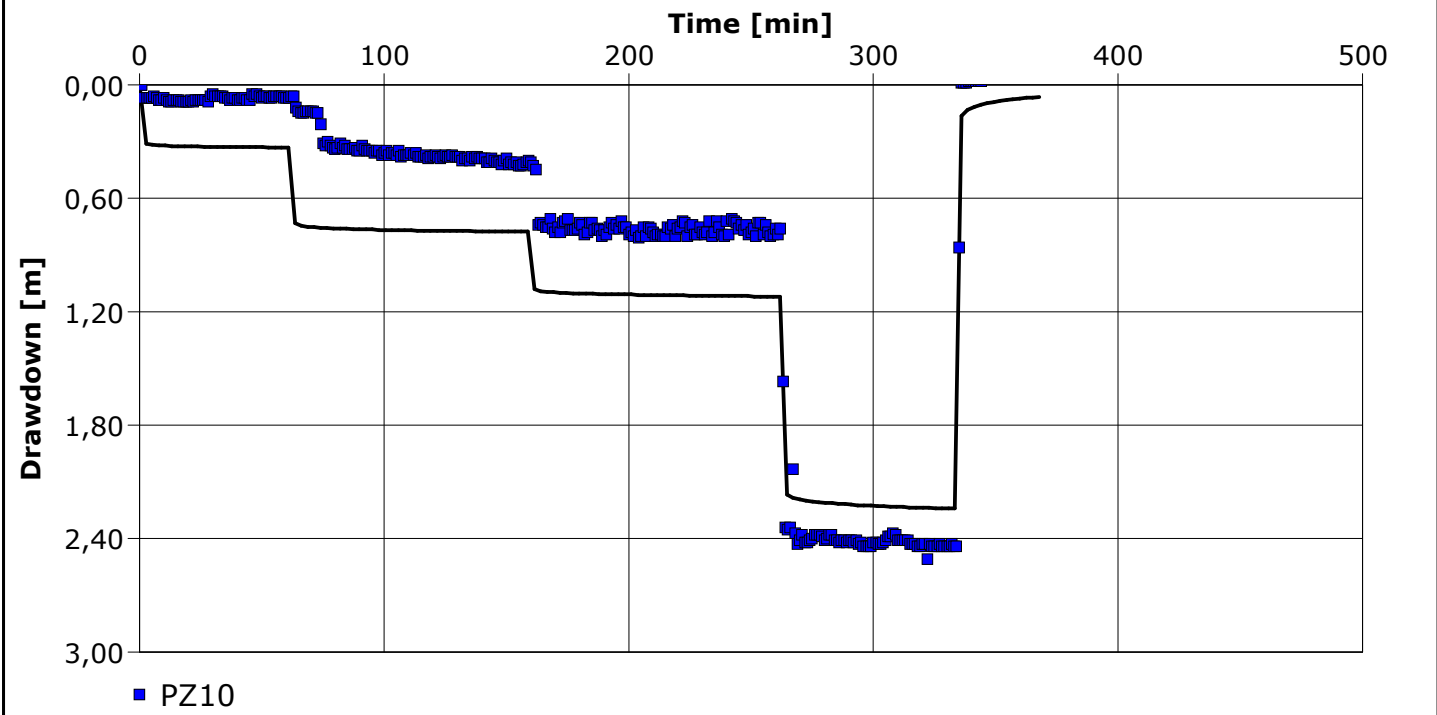


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Risalita - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	Risalita - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 40,00 m	Discharge: variable, average rate 0,82832 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ10	3,39 × 10 ⁻³	8,48 × 10 ⁻⁵	9,90 × 10 ⁻¹	1,00 × 10 ⁻²	1,00 × 10 ²	0,1



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Risalita - PZ10			Pumping Well: PZ10		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 07/04/2016		
Aquifer Thickness: 40,00 m			Discharge: variable, average rate 0,82832 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	Risalita - PZ10	ITG	26/08/2016	Boulton	PZ10	3,39 × 10 ⁻³	8,48 × 10 ⁻⁵	9,90 × 10 ⁻¹



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

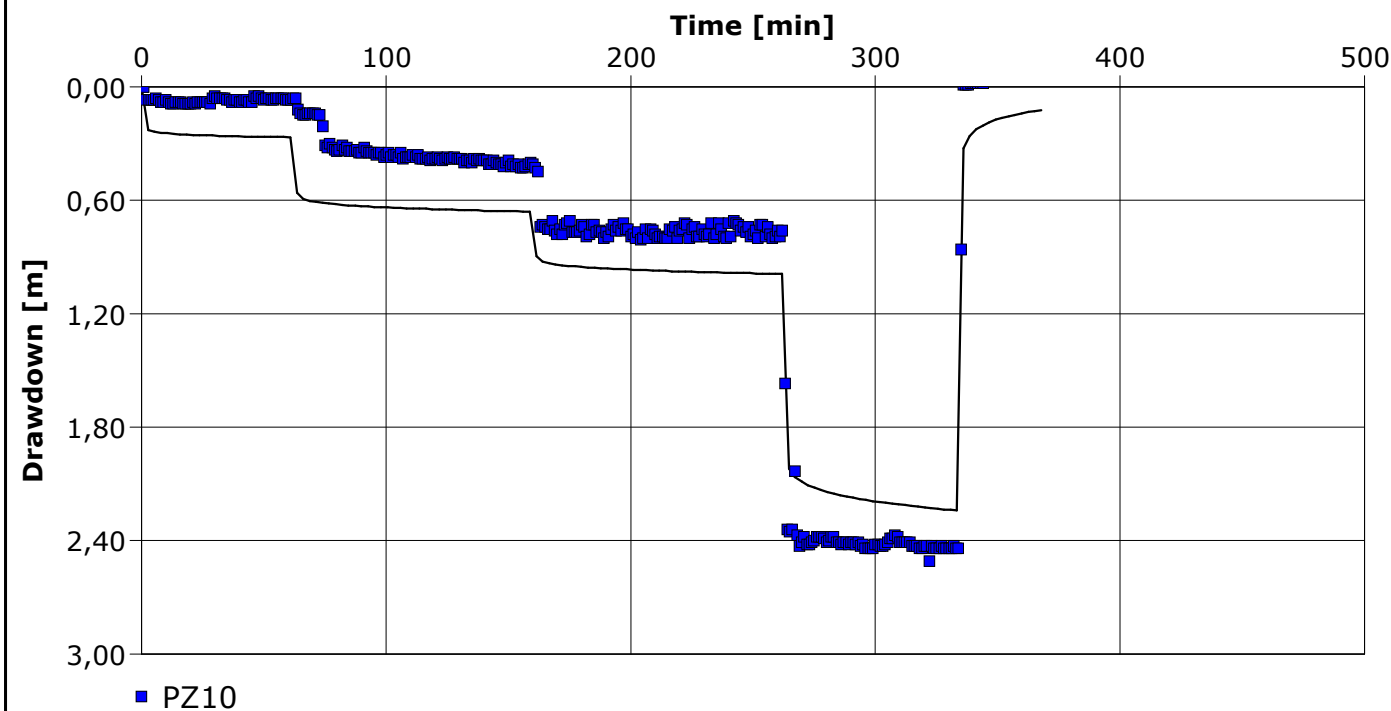
Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini

Number: 4018.07

Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Risalita - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	Risalita - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 5,64 m	Discharge: variable, average rate 0,82832 [l/s]	



Calculation using Theis with Jacob Correction

Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Storage coefficient	Radial Distance to PW [m]	
PZ10	$1,79 \times 10^{-3}$	$3,17 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-7}$	0,1	

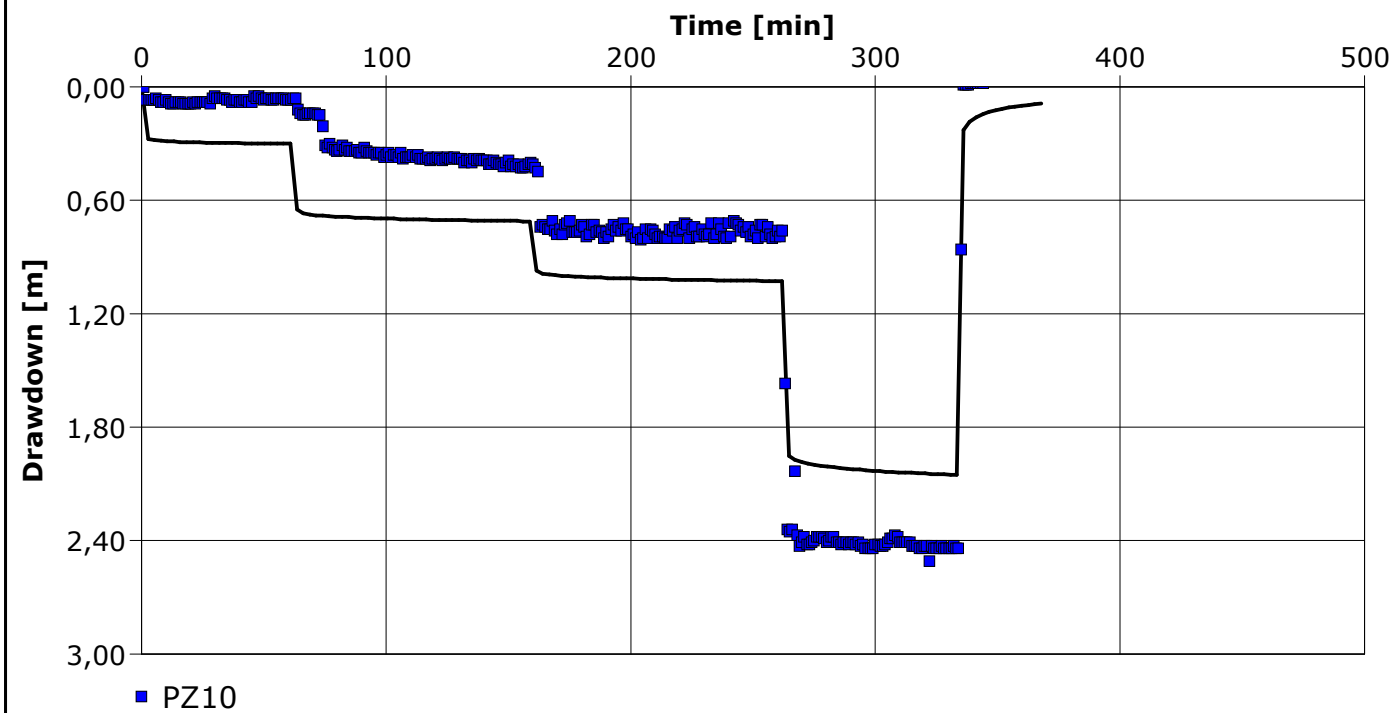


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Risalita - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	Risalita - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 5,64 m	Discharge: variable, average rate 0,82832 [l/s]	



Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ10	2,48 × 10 ⁻³	4,40 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷	8,50 × 10 ⁻²	1,00 × 10 ⁶	0,1

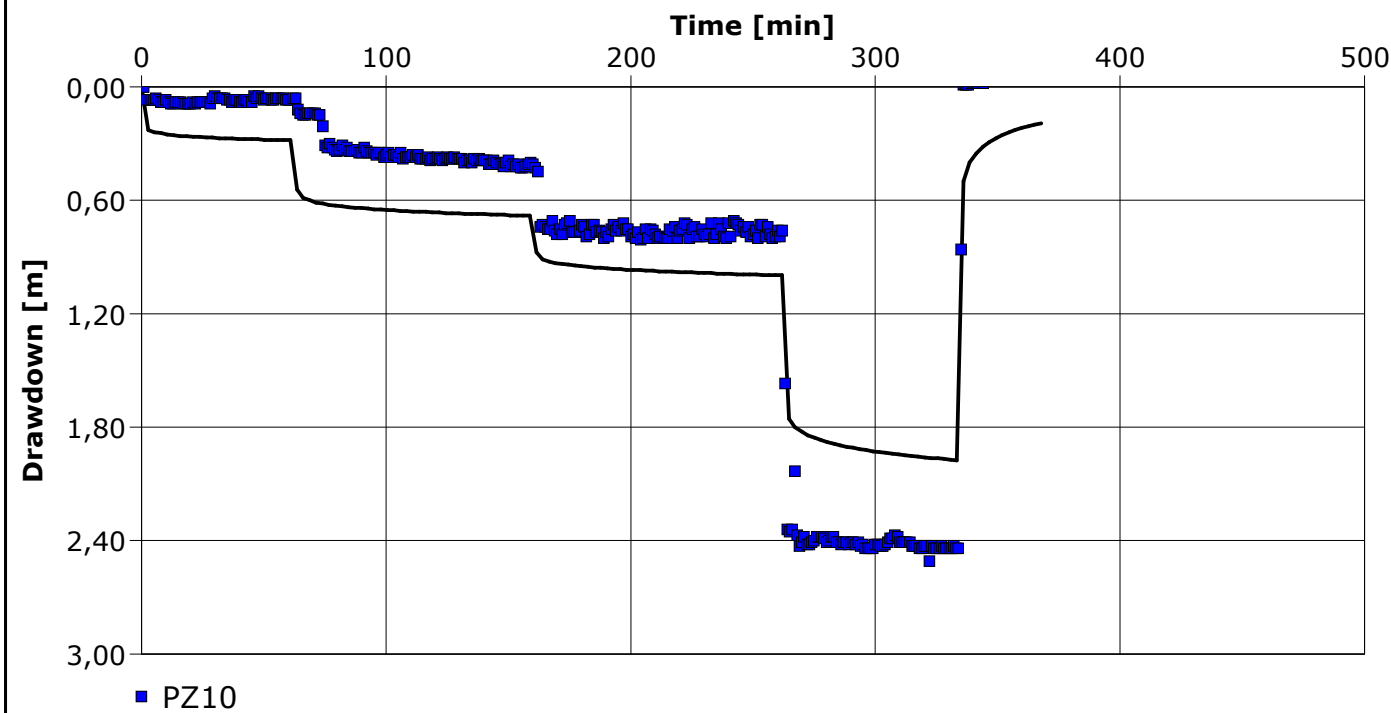


Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo	Pumping Test: Risalita - PZ10	Pumping Well: PZ10
Test Conducted by: NCE		Test Date: 07/04/2016
Analysis Performed by: ITG	Risalita - PZ10	Analysis Date: 26/08/2016
Aquifer Thickness: 5,64 m	Discharge: variable, average rate 0,82832 [l/s]	



Calculation using Boulton						
Observation Well	Transmissivity [m ² /s]	Hydraulic Conductivity [m/s]	Specific Yield	Drainage factor	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
PZ10	1,13 × 10 ⁻³	2,00 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻²	1,00 × 10 ²	0,1



Contact Info
Address
Company Name
City, State/Province

Pumping Test Analysis Report

Project: Prove a gradini
Number: 4018.07
Client: Eni

Location: Morimondo			Pumping Test: Risalita - PZ10			Pumping Well: PZ10		
Test Conducted by: NCE						Test Date: 07/04/2016		
Aquifer Thickness: 5,64 m			Discharge: variable, average rate 0,82832 [l/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	Risalita - PZ10	ITG	26/08/2016	Theis with Jacob Correction	PZ10	1,79 × 10 ⁻³	3,17 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷
2	Risalita - PZ10	ITG	26/08/2016	Neuman	PZ10	2,48 × 10 ⁻³	4,40 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁷
3	Risalita - PZ10	ITG	26/08/2016	Boulton	PZ10	1,13 × 10 ⁻³	2,00 × 10 ⁻⁴	1,00 × 10 ⁻⁴
Average						1,80 × 10 ⁻³	3,19 × 10 ⁻⁴	3,34 × 10 ⁻⁵

APPENDICE 2

DEPURAZIONE DI SUOLI ED ACQUE INQUINATE DA IDROCARBURI ATTRAVERSO TECNICHE DI FITORIMEDIO

Sito:

Oleodotto 10" Sannazzaro-Rho
Comune di Morimondo (MI), località Cascina Cerina di Sopra

Cliente:

Eni S.p.A.
Sede Legale
Piazzale Enrico Mattei, 1
00144 Roma - Italia

c/o Eni R&M
HSE HUB Nord
Lungomare Caboto snc loc. Arzano,
04024 Gaeta (LT)

Progetto N.:	4018.07
Data:	Maggio 2019
Rapporto N.:	32 - Appendice

Titolo:	Appendice 2 Depurazione di Suoli ed Acque Inquinata da Idrocarburi Attraverso Tecniche di Fitorimedio
Redatto da:	Gruppo di lavoro The IT Group Italia srl, con la collaborazione/supervisione del dott. Stefano Gomasca, Biologo botanico (vedi CV in allegato)
Revisionato da:	ing. Elisa Neri Project Manager – The IT Group
Approvato da:	ing. Lisa Dall'Agata Direttore Tecnico – The IT Group

THE IT GROUP ITALIA SRL
L.go Volontari del Sangue, 10
20097 SAN DONATO MILANESE (MI)
Tel. 02 51814311 - Fax 02 51814399
P. IVA 10195280150 C.F. 01898960136

DISCLAIMER

Quale autore e titolare, The IT Group Italia S.r.l. (di seguito ITG) si riserva tutti i diritti sul presente elaborato. La relativa riproduzione o diffusione, anche parziale, al di fuori della società Committente cui è direttamente destinato, è vietata senza il preventivo consenso scritto di ITG. ITG non assume alcuna responsabilità che possa derivare da un utilizzo incompleto, parziale o comunque difforme dalle clausole contrattuali, delle informazioni qui contenute da parte della società cliente o di terzi, o dall'utilizzo di eventuali dati, analisi e/o informazioni incomplete o errate fornite dalla Committente, salvo diversa clausola contrattuale. ITG non intende violare alcun Copyright. Le informazioni e la grafica qui raccolte sono, al meglio della nostra conoscenza, o di nostra esclusiva formulazione o di pubblico dominio o fornite dal Committente e soggette pertanto a vincoli di riservatezza o comunque autorizzate dagli autori. Se, involontariamente, è stato pubblicato materiale soggetto a copyright o in violazione alla legge si prega di comunicarlo e provvederemo immediatamente a rimuoverlo. Nomi di prodotti, nomi corporativi e società citati possono essere marchi di proprietà dei rispettivi titolari o marchi registrati di altre società e sono stati utilizzati a puro scopo esplicativo e a beneficio del possessore, senza alcun fine di violazione dei diritti di Copyright vigenti. ITG si riserva il diritto di modificare i contenuti del presente disclaimer in qualsiasi momento e senza alcun preavviso. I documenti possono contenere errori tipografici. Le stime dei costi, le raccomandazioni e le opinioni presentate in questo rapporto sono fornite sulla base della nostra esperienza e del nostro giudizio professionale e non costituiscono garanzie e/o certificazioni. Valutazioni in merito agli standard del servizio fornito devono tenere conto del momento e delle condizioni in cui il servizio è stato fornito. ITG è provvista di procedure ed istruzioni di qualità e di sicurezza per garantire la corretta gestione dei documenti forniti dal Committente al fine di evitarne la perdita, l'uso improprio e l'alterazione dei dati.

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	PREMESSA	3
1.2	IDROCARBURI DERIVATI DAL PETROLIO	3
1.3	MECCANISMI COINVOLTI NEI TRATTAMENTI BIOLOGICI.....	4
2	TECNICA DI BIORIMEDIO MEDIANTE MICRORGANISMI.....	5
3	IMPORTANZA DEI VEGETALI NEI BIORIMEDI.....	7
3.1	MECCANISMI DI FITODEPURAZIONE SU ACQUE E SUOLI CONTAMINATI DA \ IDROCARBURI.....	8
3.2	PRINCIPALI MECCANISMI DI FITODEPURAZIONE	10
3.2.1	<i>Fitoestrazione</i>	10
3.2.2	<i>Rizodegradazione</i>	10
3.2.3	<i>Fitostabilizzazione</i>	11
3.2.4	<i>Fitodegradazione</i>	12
3.2.5	<i>Fitovolatilizzazione</i>	12
9	APPROFONDIMENTO	27
9.1	UTILIZZO DEL COMPOST E DEI FUNGHI MICORRIZICI PER POTENZIARE IL FITORIMEDIO...27	
10	VALORIZZAZIONE DELLE BIOMASSE PRODOTTE DAGLI IMPIANTI DI PHYTOREMEDIATION	29
11	INQUADRAMENTO NORMATIVO	30
12	CONCLUSIONI	31
13	BIBLIOGRAFIA.....	33

TABELLE

Tabella 1 Progetti di fitorimediazione su acque sotterranee contaminate

Tabella 2 Piante terrestri individuate per progetti di fitorimediazione su suoli contaminati da idrocarburi

Tabella 3. Uso di fitorimediazione per la decontaminazione del suolo da idrocarburi

ALLEGATI

CV Specialista Biologo botanico

1 INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA

La fitodepurazione nell'ambito delle bonifiche ambientali, è una metodologia ispirata alla naturale attività depurativa, dove le piante e la loro interazione con i microrganismi situati sulla rizosfera sono in grado di rimuovere, abbattere e/o degradare i contaminanti organici in composti meno tossici o addirittura in CO₂ e H₂O (Guendy, 2008).

I vantaggi rispetto ad altre tecnologie convenzionali che includono la rimozione fisica o chimica dei prodotti inquinanti sono evidenti perché:

- i) è caratterizzato da un minor rapporto costo-efficacia;
- ii) cattura i gas serra;
- iii) migliora l'ambiente da una prospettiva estetica e paesaggistica;
- iv) la sua principale fonte di energia è la radiazione solare ed è quindi in piena sintonia con i principi che guidano il minor consumo energetico possibile (Guendy, 2008).

La fitodepurazione è definita come un'alternativa tecno-ecologica a basso costo sviluppata per "ripulire" differenti ambienti da diversi tipi di contaminanti (Khan et al., 2013). La tecnica della fitodepurazione è basata sull'uso di specie vegetali e sulla loro capacità d'interazione con i microrganismi situati nella rizosfera al fine di rimuovere, isolare o degradare le sostanze contaminanti presenti nel suolo, nei sedimenti, nelle acque superficiali, nelle acque sotterranee così come nell'aria (Meagher, 2000; Susarla et al., 2002; Ali et al., 2012; Kabra et al., 2012). Questa interessante alternativa ai sistemi canonici, molto più costosi ed impegnativi nella gestione, può essere utilizzata per rimuovere metalli, pesticidi, solventi, esplosivi, oli e idrocarburi derivati dal petrolio, composti clorurati e composti volatili nell'aria (Meagher, 2000; Newman & Reynolds, 2004; Imfeld et al., 2009).

1.2 IDROCARBURI DERIVATI DAL PETROLIO

Gli idrocarburi sono classificati in base ai gradi API, relativi alla densità che le singole molecole possiedono. Hanno aspetto caratteristico, alcuni composti hanno un colore chiaro e facilmente evaporano, mentre altri sono liquidi densi e scuri che non evaporano (ATSDR, 1999).

Gli idrocarburi sono solitamente divisi in tre diversi gruppi: aciclici con catene aperte, ciclici saturi con catene aperte e idrocarburi aromatici non saturi (Kamath et al., 2004), con l'anello benzenico come base strutturale, come i BTEX (benzene, toluene, etilbenzene e xilene che sono monoaromatici) o gli IPA (Naftalene, Fenantrene e Antracene che sono poliaromatici) (Gabriel et al., 2004).

I BTEX sono più solubili in acqua (basso Kow: 1,8-3,2) rispetto ai composti ciclici che

presentano un più alto peso molecolare. Questo facilita notevolmente la loro migrazione in ambienti acquosi e la loro biodegradazione in condizioni aerobiche (USEPA, 1999). Possono inoltre essere rimossi attraverso volatilizzazione, mettendo in evidenza come vasche a flusso superficiale (o aree umide con veli d'acqua in superficie) possano avere una certa efficacia nell'abbattimento di queste sostanze (Kadlec e Wallace, 2009).

Gli IPA appartengono ad un ampio gruppo di idrocarburi composti da 2 - 7 anelli benzenici caratterizzati da una bassa solubilità in acqua ($\log K_{ow} > 4$) e da una bassa volatilità; in natura questi composti hanno una emivita che può andare da settimane a diversi anni (Sverdrup et al., 2003). Quelli a più basso peso molecolare (2 -3 anelli benzenici) possono essere facilmente degradati attraverso processi biologici, ma quelli con alto peso molecolare possono essere resistenti anche alla biodegradazione microbica (Sun et al., 2010).

1.3 MECCANISMI COINVOLTI NEI TRATTAMENTI BIOLOGICI

Il trattamento biologico è una tecnica di rimozione degli inquinanti sviluppata negli anni '80, che utilizza la capacità naturale di microrganismi e/o piante per la rimozione di sostanze indesiderate (Balba et al., 1998, Diaz, Khan et al., 2013). Questa tecnologia in genere meno costosa dei metodi convenzionali e causa minor fastidi e necessità di lavorazioni nel sito di bonifica, favorendo una maggiore accettazione da parte del pubblico ed un minore disturbo a livello sia ambientale sia paesaggistico (Boopathy 2000, Jagadevan e Mukherji 2004, Khan et al., 2013).

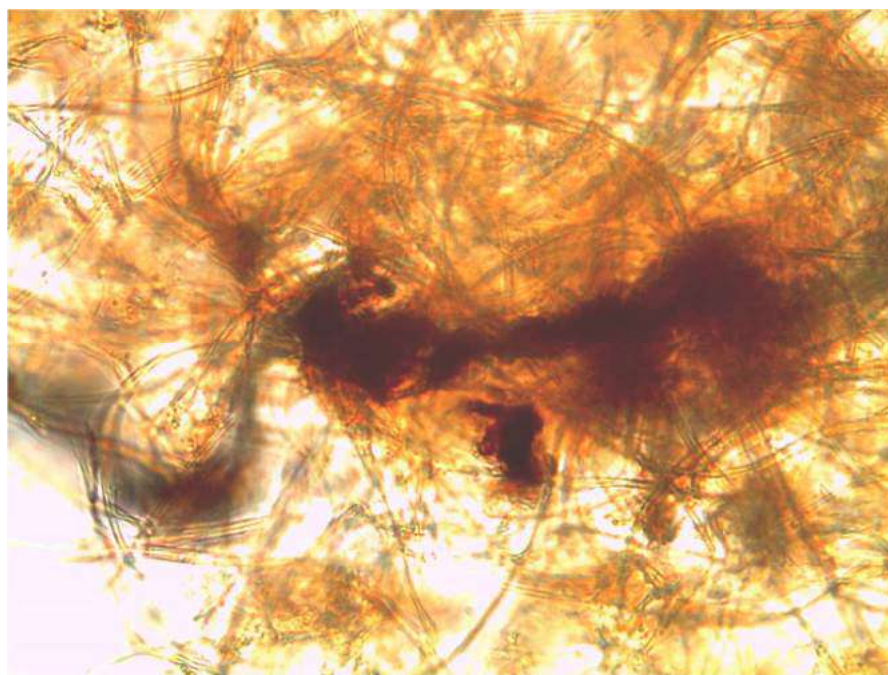
Il trattamento biologico è in genere adatto e più efficace nelle aree con livello di contaminazione medio-basso (Schnoor 1997).

Uno dei punti deboli del metodo è che richiede spesso più tempo di quelli convenzionali per raggiungere condizioni operative ottimali idonee al raggiungimento degli obiettivi di progetto (Van Epps 2006).

2 TECNICA DI BIORIMEDIO MEDIANTE MICRORGANISMI

Alcuni organismi microbici sono in grado di abbattere gli idrocarburi derivati dal petrolio trasformandoli, attraverso processi enzimatici, in prodotti più semplici utilizzati per la crescita (Joutey et al., 2013). Questi processi sono definiti “biodegradazione”. La biodegradazione è un'attività legata all'attività cellulare che può verificarsi in condizioni aerobiche o anaerobiche (Jagadevan e Mukherji 2004).

La degradazione anaerobica è molto più lenta di quella aerobica e utilizza Fe, Mn, solfato, As, e CO₂ anziché ossigeno come accettori di elettroni. In queste reazioni, gli idrocarburi agiscono come donatori di elettroni (Sierra-Garcia e de Oliveira 2013).



Le matrici batteriche che caratterizzano le sorgenti alta e media sono pigmentate di rosso/marrone a causa dei precipitati Fe/Mn.

A causa della complessità degli idrocarburi derivati dal petrolio, un singolo tipo di microrganismo (con un pool di enzimi distintivi) non è in grado di degradare completamente i contaminanti (Golyshin et al., 2003; Syed et al., 2010; Roy et al., 2013). Per avere una buona efficienza di degradazione degli idrocarburi è necessaria una cooperazione tra diversi microrganismi (Ghazali et al., 2004). Alcune ricerche hanno dimostrato che un elevato numero di specie di batteri, di archaea e di funghi collaborano attivamente nel processo di biodegradazione (Joutey et al., 2013).

I tentativi di incrementare la velocità o l'estensione delle attività microbiche comportano di norma l'incremento della rimozione di idrocarburi da un'area contaminata (Leahy and Colwell 1990; Kingston 2002; Ebuehi et al., 2005; Murakami et al., 2008).

Alcune ricerche suggeriscono l'applicazione di pretrattamenti fisico-chimici prima dei trattamenti biologici (Haritash e Kaushik 2009): l'applicazione di solventi chimici come l'acetone, l'uso di ozono e radiazioni UV, e i trattamenti termici sembrano essere efficaci nell'aumentare il tasso di diffusione di contaminanti nei media aumentando quindi la biodisponibilità di questi prodotti (Luers and Ten Hulscher 1996; Lee et al., 2001; Haritash e Kaushik 2009; Ishak e Malakahmad 2013). La loro applicazione è tuttavia molto limitata, a causa della necessità di intercettazione di eventuali residui chimici e dei costi eccessivi (Makkar e Rockne 2003).

Un evidente incremento nella degradazione degli idrocarburi, anche senza pretrattamenti specifici, può essere comunque ottenuto “seminando” microrganismi indigeni o ceppi esogeni ma comunque ben adattabili alla convivenza con le popolazioni microbiche native (Pezeshki et al., 2000; Escalante- Espinosa et al., 2005; Roldán- Martín et al., 2007; Liang et al., 2009; Khan et al., 2013). In base a questo approccio l'attività e l'efficienza dei microrganismi “seminati”, seguendo le reali necessità dell'area, possono talvolta essere inibite da fattori biotici e abiotici, provocando fenomeni di migrazione e competizione con i microrganismi autoctoni (Suja et al., 2014).

Un'altra strategia, definita “biostimolazione”, comporta l'integrazione di nutrienti e ossigeno nei suoli dell'area contaminata. Tali operazioni stimolano l'attività metabolica dei microrganismi, accelerando la loro capacità degradativa (Leahy e Colwell 1990, Dowty et al., 2001, Molina-Barahona et al., 2004; Lin et al., 2009 ; Roy et al. 2014). In molte ricerche è stato dimostrato che per favorire i processi di biorimediazione è necessaria un'adeguata concentrazione di nutrienti (ad es. azoto, fosforo, zolfo, ferro) (Atlas 1995, Ron e Rosenberg 2014). Tuttavia, alti tassi di nutrienti, specialmente sotto forma di fertilizzanti inorganici, possono apportare nei suoli elevate quantità di ammoniaca, molecola che in qualche caso inibisce la crescita del microbiota, e nel contempo favorisce la proliferazione di microalghe (Lung et al., 1993; Sarkar et al., 2005).

Allo stesso modo, per favorire la degradazione da parte di batteri aerobi può essere fornito ossigeno attraverso insufflazione in suolo seguendo differenti tecniche come ad esempio il bioventing, il landfarming e il compostaggio in condizioni aerobiche (Boopathy 2000, Malakahmad e Jaafar 2013).

3 IMPORTANZA DEI VEGETALI NEI BIORIMEDI

Le piante hanno diversi meccanismi per rimuovere e degradare gli idrocarburi dai suoli. In realtà solo pochi processi di degradazione avvengono direttamente nei tessuti vegetali, la maggior parte della degradazione è infatti il risultato della complessa associazione tra radici, essudati radicali, rizosfera e flora microbica (rizorimedio) (Cai et al 2010, Ndimele et al., 2011; Khan et al., 2013). Le caratteristiche fisiologiche e biochimiche specifiche delle cellule radicali delle piante, insieme all'attività dei microrganismi della rizosfera, rendono i sistemi metabolici delle piante efficienti nella degradazione degli xenobiotici tossici (Meagher 2000). L'elevata capacità di bonifica delle piante diviene più chiara considerando l'estensione degli apparati radicali. Questi possono occupare 350 milioni di km per ettaro, il che ci fa capire quanto sia immenso il potenziale di ripristino per aree vaste con contaminazione sia superficiale che profonda (Merkl et al., 2004; Andersen et al., 2008; Gerhardt et al. 2009). Il sistema radicale delle piante superiori è associato non solo all'ambiente del suolo ma anche ad una vasta comunità di microrganismi metabolicamente attivi. È sempre più evidente che piante sono in grado di creare habitat unici soprattutto attorno alle radici dove la popolazione microbica è considerevolmente più articolata di quella del suolo privo di radici (Lu et al., 2010). Circa il 40% dei prodotti derivati dall'attività fotosintetica di una pianta può essere trasudato dalle radici nel suolo confinante sotto forma di zuccheri, acidi organici, composti aromatici e ormoni, sostanze che favoriscono e stimolano la crescita dei microrganismi (Khan et al., 2013). È stato riscontrato che questi essudati attivano la risposta chemiotattica delle specie microbiche, che tendono a migrare verso la rizosfera. Qui formano colonie che iniziano ad incrementare di numero attivando processi di degradazione degli inquinanti organici (Leigh et al., 2002; Gerhardt et al., 2009). Alcuni studi hanno dimostrato che ogni specie vegetale è caratterizzato da sostanze chimiche distinte e da tassi di essudazione che hanno diversi effetti sui microrganismi (Grayston et al., 1998; Gleba et al., 1999, Yang and Crowley 2000; Bais et al., 2006). È importante anche sottolineare che le radici di specie vegetali legate agli ambienti umidi sono in grado di trasportare ossigeno nel suolo perché munite di tessuti aeriferi. In questo modo stimolano la crescita di comunità di microrganismi aerobi attivando processi di degradazione ossidativa

degli idrocarburi (più efficienti rispetto a quelli anossigenici). I prodotti finali della degradazione includono alcoli, acidi (più anidride carbonica e acqua) che sono meno persistenti rispetto ai composti primari e decisamente meno pericolosi degli idrocarburi (Gerhardt et al., 2009).

Oltre all'attività di stimolo nei confronti della flora microbica, la pianta rilascia anche enzimi come la deogenogenasi, la nitroreduktasi, la perossidasi e le laccasi che svolgono un ruolo significativo nella riduzione dei contaminanti organici (Alkorta e Garbisa 2001).

Le specie vegetali contribuiscono quindi alla trasformazione degli idrocarburi catalizzando una parte delle reazioni chimiche che portano alla parziale rottura delle molecole, aumentandone la biodisponibilità (attività che viene definita fitostabilizzazione) (Merkl et al., 2005a).

Poche sono le informazioni sull'assorbimento diretto di idrocarburi da parte delle radici (fitoestrazione) ed il loro conseguente sequestro all'interno del tessuto delle piante.

Solo un piccolo numero di idrocarburi, tutti di piccole dimensioni molecolari, può essere assorbito dalle piante (Alkorta e Garbisa 2001). Dopo l'assorbimento da parte della radice, gli idrocarburi possono sperimentare destini diversi. Quelli a basso peso molecolare possono essere rilasciati nell'atmosfera attraverso i processi di traspirazione (fitovolatilizzazione), mentre i composti non volatili (più pesanti a livello molecolare) possono essere sequestrati nei tessuti radicalari mediante modificazione enzimatica e successivo immagazzinamento a livello vacuolare oppure a livello delle pareti cellulari (fitoaccumulo) (Gerhardt et al 2009, Haritash e Kaushik 2009).

3.1 MECCANISMI DI FITODEPURAZIONE SU ACQUE E SUOLI CONTAMINATI DA IDROCARBURI

L'uso della fitodepurazione dipende dal tipo di risorsa interessata, dagli obiettivi del rimedio (tipo di contaminante), dal tipo di processo-esito preferibile: stabilizzazione, isolamento, riduzione, degradazione, metabolizzazione e / o mineralizzazione.

In accordo con alcuni autori come Susarla et al. (2002) e Zhang et al. (2012), è possibile affermare che **le piante svolgono un ruolo determinante nella bonifica dei suoli e delle**

acque contaminate attraverso diversi processi che riducono il grado di tossicità dei composti contaminanti modificando le proprietà fisico-chimiche del suolo contaminato ed il rapporto suolo/radice che favorisce l'escrezione di essudati radicali (ormoni, zuccheri, vitamine), di carbonio organico e l'immissione di aria a livello della rizosfera. La fitodepurazione è stata ampiamente indagata negli ultimi decenni al fine di comprendere e valutare meglio i processi metabolici (e di assorbimento) che le piante "azionano" per "smuovere" composti organici e inorganici da suolo ed acqua (Bock et al., 2002). Peña et al. (2006) hanno per esempio stabilito che le piante sono efficaci nell'abbattimento di composti organici come gli idrocarburi in quanto:

- i) l'area radicale e la rizosfera migliorano le proprietà del suolo attraverso immissione di aria (e di ossigeno), di nutrienti, vitamine ed ormoni che favoriscono la diversità e l'attività microbica;
- ii) l'interazione tra pianta e microrganismi è in grado di promuovere il co-metabolismo dei contaminanti attraverso l'attivazione di diverse vie metaboliche;
- iii) il trasporto dell'acqua alle parti superiori della pianta (zona epigea) favorisce l'immobilizzazione e la degradazione del contaminante sia all'interno che all'esterno dei tessuti della pianta. È stato infatti dimostrato che molte specie vegetali possono metabolizzare o immobilizzare gli idrocarburi del petrolio attraverso diversi processi, quali l'ossidazione metabolica o la co-ossidazione, a seconda della tipologia e dei livelli di concentrazione degli idrocarburi presenti nei substrati. Questo è il motivo per cui a bassi livelli di tossicità dei prodotti il sistema radicale è in grado di creare condizioni favorevoli (nutrizionali e di ossigenazione) che stimolano naturalmente l'incremento numerico della popolazione batterica, aumentandone anche il livello di diversità specifica, mentre elevati livelli di tossicità del prodotto possono influenzare negativamente sulla produzione da parte delle radici di essudati quali zuccheri, fattori di crescita ed acidi organici causando una diminuzione del pool di microrganismi (funghi e batteri) e soprattutto un importante decremento delle componenti batteriche che fissano l'azoto atmosferico (Pérez et al., 2002).

3.2 PRINCIPALI MECCANISMI DI FITODEPURAZIONE

La fitodepurazione agisce attraverso diversi meccanismi d'azione che sono classificati in base alla parte della pianta in cui avviene il processo (Figura 1). In breve i principali meccanismi sono: la fitoestrazione, la rizodegradazione, la fitostabilizzazione, la fitodegradazione e la fitovolatilizzazione (Imfeld et al., 2009; Jain et al., 2011).

3.2.1 *Fitoestrazione*

Si riferisce all'assorbimento del contaminante da parte della radice della pianta. Questa caratteristica è nota anche come fitoaccumulo, ed è determinata dalla capacità delle piante di accumulare composti diversi a livello delle parti epigee, cioè nei tessuti delle foglie e dei gambi (Glick, 2003; Carpena & Bernal, 2007), soprattutto quando i composti inquinanti non sono (o possono essere) completamente o rapidamente degradati. Questo meccanismo può essere influenzato dalla natura lipofila dell'inquinante, misurata come coefficiente di ripartizione ottanolo-acqua (Kow) (Kamath et al., 2004). Diversi studi (Schnorr, 1997; O'Niell & Nzengung, 2004; Wallace & Kadlec, 2005; Boonsaner et al., 2011) hanno dimostrato che il fitoaccumulo è un meccanismo efficiente per rimuovere BTEX, solventi clorurati e idrocarburi alifatici a catena corta purché i loro Kow varino tra 0-3. I composti che hanno un Kow > 4 sono composti idrofobi e, quindi, presentano difficoltà ad essere incorporati e assorbiti al livello delle cellule della radice, e quindi dal complesso radicale in toto (Khan et al., 2013). Le piante destinate al processo di fitoestrazione sono caratterizzate da una elevata tolleranza agli inquinanti, dall'efficacia nell'accumulo del prodotto e dalla facilità nella raccolta della massa vegetale (Vangronsveld et al., 2009).

Si veda Tavola 13 allegata al corpo del documento progettuale, in cui vengono evidenziate le diverse strategie di fitodepurazione ed i processi fisiologici alla base del processo di crescita e di fitodepurazione (modificato da Greipsson (2011)).

Il vantaggio principale di questo processo risiede nella possibilità d'implementare la tecnica mantenendo basso il costo se confrontato con altre tecniche di bonifica, di contro tra gli svantaggi vi è che l'impianto deve essere posizionato in aree con concentrazioni di contaminanti basse o moderate e che i tempi richiesti per la fitoestrazione e l'accumulo richiedono tempi lunghi (Spaczyński et al., 2012).

3.2.2 *Rizodegradazione*

In questa tecnica di fitodepurazione, la degradazione dei contaminanti organici avviene in prossimità delle radici della pianta attraverso l'attività dei microrganismi (funghi e batteri) stimolati dall'ossigeno, dagli enzimi, dagli ormoni e dagli zuccheri liberati dalla pianta. Questo è il motivo per cui viene anche chiamata fitostimolazione perché le piante non

degradano direttamente il contaminante, ma generano le condizioni ottimali per la crescita di funghi e batteri che hanno attività degradativa nei confronti dell'inquinante (Van Deeps, 2006; Cameselle et al., 2013 ; Khan et al., 2013). La Rizodegradazione nel caso della bonifica di suoli, oltre ad avere bassi costi di manutenzione ed investimento rispetto alle tecnologie convenzionali come scavi e l'esportazione di suolo (attività ex-situ), migliora la qualità e la consistenza del suolo, favorendo sia una maggior stabilità nella struttura del terreno sia mitigando i fenomeni erosivi generati dal vento e dall'acqua (Gerhard et al., 2009). Tuttavia, presenta alcuni svantaggi, ad esempio quando confrontato alle tecnologie tradizionali l'efficienza di biorisanamento non è elevata nel tempo (nel senso che avviene in tempi importanti rispetto alle bonifiche convenzionali) ed è fortemente influenzata dai fattori ambientali quali la temperatura, le precipitazioni, il livello di nutrienti, le specie patogene, la presenza di erbivori e la concorrenza con erbe infestanti che possono ostacolare o diminuire la crescita delle piante, influenzando la corretta struttura delle comunità microbiche (Nedunuri et al., 2000).

3.2.3 *Fitostabilizzazione*

Questa tecnica si riferisce all'uso di piante con lo scopo di ridurre la biodisponibilità dei contaminanti organici e inorganici favorendo la loro immobilizzazione attraverso parziali modifiche del chimismo e della struttura del suolo che ne possono influenzare l'assorbimento. In questo modo le radici delle piante e le particelle di terreno favoriscono la precipitazione degli inquinanti a livello della rizosfera, ostacolando la loro migrazione. Nel contempo si osserva una diminuzione dei fenomeni erosivi, del deflusso e della lisciviazione degli inquinanti (soprattutto nel caso dei metalli) (Van Deeps, 2006; Kumpiene et al., 2007). Questa tecnica si applica principalmente nel caso di contaminazioni da metalli o da molecole che li contengono perché spesso può essere consigliabile immobilizzare questi composti a causa della loro difficile traslocazione o della loro incompleta biodegradazione (Cameselle et al., 2013). Schwitzguébel e colleghi hanno dimostrato che questa tecnica di fitodepurazione promuove il restauro delle condizioni naturali ed il miglioramento dei livelli di biodiversità degli ecosistemi (Schwitzguébel et al. 2011). Nella sua applicazione è consigliato l'utilizzo di specie vegetali del posto, adattate ai terreni e alle condizioni

climatiche delle aree di bonifica, al fine di evitare problemi di adattamento e di invasione da parte di specie non desiderate più competitive.

3.2.4 Fitodegradazione

Questo meccanismo, noto anche come fitotrasformazione, consente l'assorbimento dei contaminanti e la loro trasformazione in molecole più semplici come CO₂ e H₂O per poi incorporarle ai tessuti vegetali favorendone la crescita e lo sviluppo (Conesa et al., 2012; Spaczyński et al., 2012). Questo processo è catalizzato da un pool di enzimi tipici delle piante è in grado di produrre rotture nelle molecole contaminanti degradando quindi i primitivi composti (de-Bashan et al., 2012).

La Fitodegradazione si articola in tre fasi fondamentali:

- i) conversione attraverso la reazione di ossidazione-riduzione;
- ii) coniugazione di amminoacidi e zuccheri;
- iii) assorbimento dei prodotti di degrado da parte della cellula vegetale ed incorporazione del contaminante degradato nei tessuti della pianta sottoforma di una nuova molecola (Dietz & Schnoor, 2001).

Spaczyński et al. (2012) sottolineano che in genere le cellule vegetali non sono in grado di effettuare una completa degradazione dei composti organici inquinanti (ad acqua e CO₂), ma usano i sottoprodotti della biotrasformazione come molecole base per reazioni organiche come la sintesi di amminoacidi. La Fitodegradazione, come processo sinergico tra pianta e microorganismi del suolo (funghi e batteri), è in grado di dare ottimi risultati in relazione ai processi di degradazione dei composti organici, come ad esempio i derivati del petrolio. Questo particolare fenomeno di cooperazione è conosciuto come rizo-fitodegradazione.

In questo processo la biodiversità metabolica data dalla copresenza di diverse specie di piante, funghi e batteri, rappresenta la base della sua grande efficacia. (Vangronsveld et al., 2009; Schwitzguébel et al., 2011).

3.2.5 Fitovolatilizzazione

Questo processo di fitodepurazione, efficiente soprattutto sugli inquinanti a basso peso molecolare, consiste nel loro assorbimento da parte della pianta, nella loro traslocazione a

livello fogliare e nella volatilizzazione del prodotto dalla superficie delle stesse foglie (Glick, 2003; O'Niell & Nzengung , 2004; Gerhardt et al., 2009; Conesa et al., 2012). La fitovolatilizzazione è stata molo utilizzata per decontaminare suoli da metalli pesanti come il mercurio o da altre molecole molto piccole, facilmente volatili. Questa tecnica, tuttavia, ha lo svantaggio che i metalli o gli inquinanti liberati in atmosfera possono tornare negli ecosistemi attraverso gli eventi meteorici, che ne causano la ricaduta a livello del suolo (Ghosh & Singh, 2005).

4 FITORIMEDIO DI PETROLIO GREGGIO NEGLI ECOSISTEMI ACQUATICI E NELLE ZONE UMIDE

Negli ecosistemi acquatici come laghi, fiumi e zone umide, sono presenti diverse specie vegetali denominate genericamente “macrofite” o “idrofite” che prosperano entro o prossime all'acqua, che possono essere emergenti, sommerse o galleggianti (Bhatia and Goyal 2014). Le macrofite possono essere usate per depurare le acque dagli idrocarburi. Una delle caratteristiche che le rende adatte al fitorimedio è la loro capacità di crescere rapidamente e di costituire grandi biomasse. Possono quindi essere utilizzate con una certa efficienza dopo uno sversamento di petrolio in acqua (Bhatia e Goyal 2014). Le radici di alcune idrofite creano grandi biomasse e possono fornire un'ampia superficie che favorisce la colonizzazione microbica (White et al., 2006).

Ndimele (2010) riporta che la biomassa creata dalle radici fibrose dei giacinti d'acqua (*Eichhornia crassipes*) sono in grado di degradare in modo significativo gli idrocarburi galleggianti sulle acque superficiali.

Anche *Paspalum vaginatum* è risultata essere un potenziale candidato per il fitorisanamento degli idrocarburi del petrolio. Il sistema di radici di questa specie cresce bene nei substrati contaminati da diesel (fino a 30 g/kg-1) (Sanusi et al., 2012).

Le canne di palude che crescono lungo le aree di costa e presso le rive di laghi e lanche fluviali forniscono una grande superficie radicolare che è molto efficace nella decontaminazione da petrolio (Wang et al., 2011).

Quattro specie vegetali che vivono in acque dolci e salmastre. *Alternanthera philoxeroides*, *Panicum hemitomon*, *Sagittaria lancifolia* e la canna comune (*Phragmites australis*) si sono dimostrate essere molto efficaci nella degradazione di olii in mesocosmi contaminati (Dowty et al., 2001).

Negli ecosistemi acquatici, a causa delle condizioni ipossiche e anossiche dei sedimenti o dei terreni la degradazione del petrolio greggio è di tipo anaerobico, processo molto lento e incompleto. Alcune macrofite trasportano molto efficacemente ossigeno atmosferico dalla parte epigea alle radici, favorendo condizioni aerobiche a livello della

rizosfera (Pezeshki et al., 2000, Moreira et al., 2011). Questo è un meccanismo comune in molte specie vegetali che prosperano nelle zone umide, sia emerse che sommerse. Tale strategia le rende in grado di crescere su substrati anossigenici con concentrazioni elevate di sostanze ridotte che spesso sono tossiche per le stesse piante (ad es., Fe^{2+} , Mn^{2+} e H_2S) (Pezeshki et al., 2000). Huesemann et al. (2009) hanno dimostrato che *Zostera marina*, una macrofita marina, può rimuovere in modo significativo idrocarburi aromatici e bifenili policlorurati in sedimenti marini sommersi.

La biodegradazione migliorata a livello di rizosfera attraverso essudati radicali, ossigeno ed enzimi vegetali è il processo di rimozione dominante. È stato anche riportato che la mangrovia rossa (*Rizophora mangle*) aumenta la densità dei batteri nella rizosfera dieci volte di più dei sedimenti non vegetati, soprattutto attraverso l'immissione di ossigeno, nutrienti ed enzimi nei sedimenti (Moreira et al., 2011).

Allo stesso modo, è stato dimostrato che *Typha* spp è in grado di rilasciare alti tassi di ossigeno a livello di rizosfera rispetto a *Juncus roemerianus* con differenze dell'intensità di emissione di ossigeno correlate al stato redox presente a livello della rizosfera (Wiebner et al., 2002).

In impianti di fitodepurazione a flusso orizzontale-verticale *Scirpus lacustris* è stato in grado di rimuovere il 99,9% di fenantrene (Machate et al., 1997), mentre *Juncus gerardii*, una pianta delle paludi costiere, ha ridotto del 15% gli idrocarburi totali del petrolio (TPH) nei sedimenti contaminati (Lin e Mendelsohn 2009).

Nelle specie galleggianti, dove il sistema radicale è di piccole dimensioni e, in genere, non arriva ai substrati, la capacità di bioaccumulo e di biosorbimento degli inquinanti dal mezzo liquido è ancora ben presente (Mkandawire e Dudel 2002, Rahman e Hasegawa 2011). Ci sono alcuni studi sulla capacità depurativa di piante galleggianti come la lattuga d'acqua (*Pistia stratiotes*) e le lenticchie d'acqua (*Spirodela polyrrhiza* e *Lemna* spp.) usate per rimuovere oli greggi da corpi idrici inquinati. Tuttavia, le loro prestazioni non risultano essere molto elevate (per lo meno quanto le specie con radici/rizomi infossati nei substrati) (Agbogidi e Bamidele 2009, Akapo et al., 2011).

5 APPLICAZIONE DEL BIORISANAMENTO IN ACQUE CONTAMINATE DA IDROCARBURI: AREE DI LAGUNAGGIO O IMPIANTI DI FITODEPURAZIONE

Gli impianti di fitodepurazione e/o le zone umide di medie dimensioni costruite artificialmente sono, nel loro complesso, sistemi ingegneristici progettati e realizzati in diverse parti del mondo a partire dagli anni '50 ad oggi con lo scopo di riprodurre in modo controllato i processi che avvengono nelle zone umide naturali, sfruttando le interazioni tra la vegetazione, il suolo e le comunità microbiche. In genere gli impianti di fitodepurazione vengono utilizzati per trattare le acque reflue di piccoli centri abitati o per affinare acque derivate da grandi impianti di depurazione (vedi impianto MM di Nosedo) (Brix, 1994; Verhoeven & Meuleman, 1999; Vymazal, 2007; Haarstad et al., 2012, Carvalho et al., 2014). Le zone umide artificiali possono essere classificate in base al tipo di crescita o forma di vita delle macrofite predominanti in loco, alle specie vegetali che si pensa di inserire, al regime di flusso idrico (Brix, 1994; Mahmood et al., 2013).

In linea di massima i sistemi di fitodepurazione possono essere classificati in base alle specie vegetali inserite (macrofite acquatiche inserite):

- i) specie flottanti libere, come la *Lemna*;
- ii) specie sommerse, come *Myriophyllum*, *Ranunculus*, *Ceratophyllum*;
- iii) specie emergenti come *Phragmites*, *Thypha*, *Juncus*, *Carex* (Vymazal et al., 1998).

Anche il tipo di flusso è un elemento chiave nell'inquadramento dell'impianto. Vi sono impianti caratterizzati da flusso orizzontale, verticale, superficiale o in sottosuolo. A questi tipi di flussi corrispondono differenti modelli di degradazione dei composti immessi (Kivaisi, 2001; Kusch et al., 2012).

Le zone umide artificiali e gli impianti di fitodepurazione hanno avuto diverse applicazioni di successo sin dalle loro prime implementazioni. Partendo dal trattamento delle acque reflue

domestiche si passa al drenaggio di miniere, alla depurazione di acque reflue da allevamenti suini, percolati, residui dell'industria alimentare, acque contaminate da pesticidi, residui liquidi dall'industria tessile, dalle industrie della pasta e della carta, dello zucchero e della distillazione, al “dumping” dell'industria militare con i preparati esplosivi (Haberl et al., 2003, Paredes et al., 2007; Rani et al., 2011; Vymazal, 2011). Le zone umide artificiali e gli impianti di fitodepurazione sono stati utilizzati in moltissimi paesi, dai più ricchi ed industrializzati a quelli più poveri. In Cina aree paludose artificiali sono state utilizzate addirittura per il trattamento di laghi e di fiumi contaminati da nutrienti, idrocarburi e metalli pesanti (Zhang et al., 2012).

All'interno dei sistemi di lagunaggio o di fitodepurazione gli idrocarburi possono essere rimossi attraverso processi di volatilizzazione naturale dei composti più leggeri (sia direttamente sia incrementata dalla vegetazione), di sedimentazione e di precipitazione per le molecole più pesanti, la degradazione biologica da parte della componente floristica, fungina e microbica e l'ossidazione fotochimica (Kadlec e Wallace, 2009). Alcuni studi hanno evidenziato come la presenza di idrocarburi nel suolo, direttamente o indirettamente (rilascio di metalli pesanti da parte di attività del microbiota) sia in grado di causare alterazioni morfologiche nella crescita delle piante, come la riduzione della crescita delle radici e dei fusti, l'inibizione dello sviluppo e della crescita dei peli radicali (fondamentali per le attività di assorbimento dei nutrienti ed in parte anche degli inquinanti o dei loro sottoprodotti), ritardi nella fioritura presenza di punti bianchi o di necrosi sulle foglie (Zhang et al., 2010). A livello cellulare si è osservato una riduzione nell'assunzione di nutrienti e acqua, il che comporta un rallentamento nei processi fotosintetici (il risultato è una crescita limitata nel tempo).

La Tabella 1 annessa alla presente appendice, presenta in sintesi esperienze di fitorimedio attraverso la realizzazione di zone umide artificiali per il trattamento di acque contaminate con diverse tipologie di idrocarburi. Da una veloce analisi dei dati presenti in letteratura è evidente come trattamenti di fitodepurazione di acque inquinate da idrocarburi derivati da petrolio siano in grado di demolire i composti, depurando le acque, con efficienze che variano dal 67% al 90%. Come regola generale, è attualmente possibile affermare che

meccanismi fisico-chimici predominanti relativi all'efficienza del fitorisanamento non sono facilmente delineabili poiché il comportamento scelto dalle piante per la degradazione dei composti si basa su diversi fattori che possono interagire in un dato momento, o non interagire in un altro.

In linea di massima i fattori più importanti che “governano” i processi e l'efficacia della fitodepurazione sono il coefficiente di ripartizione dell'idrocarburo contaminante, la volatilità della molecola, il regime di flusso idrico e il tipo di pianta utilizzata (o piante) nel realizzare gli impianti.

Per quanto riguarda l'uso di specie vegetali legate agli ambienti umidi, il *Phragmites australis* risulta essere la specie più ampiamente utilizzata nel trattamento delle acque reflue e/o inquinate da metalli ed idrocarburi (Hans Brix, *oltre 400 pubblicazioni su riviste internazionali I.F. focalizzate sulla depurazione delle acque e sull'efficacia di Phragmites australis nella biodepurazione* https://www.researchgate.net/profile/Hans_Brix). Molti studi (Brix ed altri autori) hanno dimostrato inoltre che *P. australis* migliora la conduttività idraulica dei letti/fondali delle zone umide assicurando un costante ed omogeneo flusso sotterraneo di acqua (Brix et al., 2007).

Lo stesso Brix in molti lavori mette in evidenza come *P. australis* (e altre specie vegetali naturalmente legate agli ambienti umidi) sia una specie capace di trasportare notevoli quantità di ossigeno dalla parte epigea (fusto e foglie) a quella ipogea (radice), ossigenando con efficacia i substrati asfittici che caratterizzano sistemi di lagunaggio. Questo fenomeno favorisce, nell'ambito della rizosfera, la proliferazione di comunità batteriche ossigeniche che sono in grado di degradare molto efficacemente i composti organici inquinanti. Altre evidenze mettono in luce come *P. australis* attraverso il rilascio a livello radicale di ossigeno, zuccheri, ormoni e vitamine sia in grado di stimolare la degradazione di idrocarburi da parte di microrganismi come *Mycobacterium* spp. La cooperazione *P. australis* e *Mycobacterium* porta ad un incremento della velocità di degradazione, in particolar modo dei composti ad alto peso molecolare (Jouanneau et al., 2005; Toyama et al., 2011). È da sottolineare che gran parte della ricerca sulla degradazione di idrocarburi da parte di piante e microflora è stata condotta su scala pilota e di laboratorio. È quindi evidente la necessità di ulteriori studi

e verifiche che potranno essere a breve effettuate su vasta scala per contribuire alla definizione dei criteri di attuazione di questo tipo di sistema, al fine di testare la reale efficacia nel trattamento di grandi volumi di acqua contaminata dai diversi idrocarburi.

In tal senso l'area di Morimondo potrebbe essere un caso concreto in cui realizzare impianti di fitodepurazione, con specie vegetali già presenti in loco, in particolar modo per depurare le acque che emergono a livello delle aree sorgentizie dove ancora sono riscontrabili tracce di idrocarburi.

6 FITORIMEDIO DI PETROLIO GREGGIO IN TERRENI INQUINATI

Nel tempo sono state identificate varie specie vegetali per il loro alto potenziale nell'attività di fitorisanamento per la bonifica dei suoli inquinati con idrocarburi grezzi (Tabella 2 annessa alla presente appendice) e per la buona tolleranza agli inquinanti. Ad esempio *Mirabilis jalapa* risulta essere una specie particolarmente efficiente nella degradazione degli idrocarburi e, nel contempo, particolarmente tollerante nei confronti della contaminazione da petrolio (esperimento condotto per 127 giorni) (Peng et al., 2009). Specie arboree forestali come *Tectona grandis* e *Gmelina arborea* hanno mostrato capacità di biorimedio più che accettabili. Prosperano bene in habitat contaminati con olii grezzi pari al 10% in peso idroc/peso del suolo. Tuttavia, la biomassa e l'altezza delle piante del test sono state significativamente influenzate da livelli elevati di idrocarburi (maggiori del 15%) (Mary Agbogidi et al., 2007). Anche *Sebastiania commersoniana*, un albero nativo brasiliano, si è dimostrato tollerante alla contaminazione del suolo da parte di derivati del petrolio, riducendo nel contempo del 94% gli idrocarburi presenti nei suoli contaminati (Ramos et al., 2009). La germinazione e la crescita delle plantule del mais (*Zea mays*), del miglio (*Panicum miliaceum*), del sorgo (*Sorghum bicolor*), della lattuga (*Lactuca sativa*), del gombo (*Abelmoschus esculents*), dell'anguria (*Citrullus lanatus*) e della soia (*Glicina max*) sono stati accuratamente valutati nell'ambito di sistemi sperimentali dove la contaminazione derivava da acqua reflua in uscita dai giacimenti petroliferi. I risultati hanno indicato un'elevata tolleranza del sorgo, del gombo, del miglio del mais e della soia alla fitotossicità del greggio rispetto alle altre specie (Issoufi et al., 2006, Pardue et al., 2015).

Il potenziale vegetale per il bioaccumulo di idrocarburi è un'altra caratteristica che rende le piante idonee al fitorisanamento. Boonsaner et al. (2011) riportano un elevato bioaccumulo di BTEX (benzene, toluene, etilbenzene e xileni) in germogli di *Canna indica*. Questa specie è in grado di rimuovere l'80% di BTEX nel terreno della zona radicale in 21 giorni. L'arbusto ornamentale tropicale, *Chromolaena odorata*, ha dimostrato un'elevata capacità di fitoaccumulo nei terreni contaminati con petrolio greggio e metalli pesanti. La rimozione di petrolio greggio da parte di questa specie arriva all'80% (Atagana 2011).

In alcune specie vegetali le radici presentano caratteristiche fisiche e morfologiche tali da attirare molti microrganismi attorno alle loro radici, accelerando i processi degradativi degli idrocarburi (Ansari et al., 2014). Le radici di alberi come il gelso (*Morus* spp.), il melo (*Malus domestica*) e la *Maclura pomifera* rilasciano flavonoidi e composti fenolici che stimolano la crescita dei batteri che degradano IPA (Fletcher e Hegde 1995). La balsamina (*Impatiens balsamina* L.) è una specie ornamentale e nel contempo è anche molto efficace nella rimozione di petrolio dai terreni contaminati. Durante il periodo di coltura di questa specie (circa 4 mesi) la popolazione di microrganismi che viveva attorno alla radice della pianta era aumentata in biomassa in modo significativo. Tale aumento in biomassa è stato accompagnato da un'intensa attività di riduzione dei composti inquinati (Cai et al 2010). Studi di laboratorio ha dimostrato che le talee di pioppo ibrido (*Populus deltoids* × *Populus nigra*) siano in grado d'incrementare la degradazione, la volatilizzazione e la riduzione della quantità di benzene negli effluenti di impianti petroliferi (Burken et al., 2001). Specie erbacee come il loglio annuale (*Lolium multiflorum*), l'erba del pane (*Brachiaria brizantha*), l'erba della noce (*Cyperus rotundus*) e *Cyperus brevifolius* sono considerati ideali per l'attività di fitorimediale perchè producono radici ramificate, estese e fibrose, che offrono una vasta superficie favorevole alla proliferazione della flora micoribica (Merkl et al., 2004; White et al. 2006; Basumatary et al. 2012A; Basumatary et al. 2012b). Le erbe perenni, come *Festuca arundinacea* ed il loglio perenne (*Lolium perenne*) presentano estesi sistemi di radici e crescita assai veloce, anche in presenza di alte concentrazioni di idrocarburi, favorendone la degradazione (Cook e Hesterberg 2013).

A differenza delle specie con sistema di radici superficiali, le specie vegetali che presentano

radici che crescono in profondità sono ovviamente in grado di raggiungere strati di terreno contaminato anche al di sotto della falda freatica diminuendo l'impatto dei contaminanti situati più in profondità (Merkl et al., 2004).

Alberi con radici profonde come i pioppi (*Populus* spp.) ed i salici (*Salix* spp.) sono stati utilizzati con successo nell'assorbimento di acqua sotterranea contenente idrocarburi totali (Ferro et al., 2013). Confrontando terreni con impianti a pioppo con altri nudi è risultato evidente come quelli piantumati presentano una grande varietà di microrganismi in grado di degradare petrolio ed i suoi sottoprodotti (Jordahl et al., 1997).

7 TRATTAMENTO DI TERRENI CONTAMINATI DA IDROCARBURI CON SPECIE VEGETALI

Il biorisanamento di suoli inquinati da idrocarburi con specie vegetali è, ecologicamente ed economicamente parlando, il miglior metodo, soprattutto quando le superfici da trattare sono medio-grandi e la concentrazione dei composti di derivazione petrolifera non è elevata, tale da non presentare fenomeni di tossicità. Il fitorisanamento offre anche altri innumerevoli vantaggi nella decontaminazione dei suoli contaminati. In sintesi questi possono essere riassunti in:

- i) incremento dell'attività microbica;
- ii) stabilizzazione dei terreni e riduzione dei processi erosivi;
- iii) protezione dalla radiazione solare diretta (Cameselle et al., 2013).

In generale il fitorisanamento dei suoli si attua mediante piantumazione (o semina) di appropriate specie vegetali che devono andare a coprire il più possibile i terreni contaminati. Kathi & Khan (2011) hanno raccolto il contenuto di diversi studi sul fitorimedio, elaborando e pubblicando un'ampia selezione di specie vegetali (alberi, cespugli ed erbe) da utilizzare nel trattamento di terreni contaminati da idrocarburi.

La Tabella 3 sintetizza i risultati di alcune ricerche che hanno focalizzato l'attenzione sulla bonifica dei suoli contaminati da idrocarburi, fornendo anche un elenco di specie utilizzate caso per caso.

Nel complesso i risultati dei lavori scientifici finora pubblicati mettono in evidenza come la rimozione degli idrocarburi mediata dai consorzi piante-microorganismi segua differenti meccanismi dipendenti da fattori legati al suolo, al clima, alla tipologia delle specie vegetali utilizzate, ai taxa di specie microbiche sensibili alla presenza delle piante, al tipo e alla quantità di contaminante, al mix di prodotti tossici da eliminare. Se ben progettato e realizzato un impianto di biorisanamento condotto su suolo può arrivare ad avere efficienze tra il 40 ed il 97%. Una serie di ricerche evidenzia come la presenza di specie erbacee (tipo *Lolium*) e leguminose diano risultati più che soddisfacenti nell'abbattimento degli idrocarburi inquinanti (Macci et al., 2013). Infine è bene sottolineare che le specie tipicamente utilizzate nel fitorisanamento del suolo da derivati del petrolio presentano tolleranze agli idrocarburi molto elevate (fino a 10.000 mg / Kg di suolo) e che per alcune specie la presenza di determinati composti contaminanti favorisce addirittura la crescita e lo sviluppo della pianta.

8 FATTORI AMBIENTALI E FABBISOGNI NUTRIZIONALI NEL FITORISANAMENTO DEGLI IDROCARBURI

Il grado di efficacia del processo di fitodepurazione è determinato da alcuni fattori quali:

- i) la concentrazione di microrganismi attorno alle radici delle piante (microcosmo microbico legato alla rizosfera);
- ii) il regime delle piogge (umidità del suolo, mobilità degli inquinanti);
- iii) il tipo di radici (superficiali, profonde, semplici, articolate etc.);
- iv) la capacità di adattamento della pianta ai contaminanti (resistenza, capacità di metabolizzare il contaminante);
- v) la radiazione solare;
- vi) la concentrazione del contaminante (livelli di tossicità o di sub-tossicità);
- vii) la temperatura (Frick et al., 1999; Glick, 2003; Petenello & Feldman, 2012).

Oltre a questi, Gerhardt et al. (2009) mettono in evidenza come altri fattori ambientali siano rilevanti per aumentare l'efficacia della fitodepurazione. Questi sono relativi alle

caratteristiche dei suoli, come ad esempio:

- i) la struttura;
- ii) la materia organica contenuta;
- iii) il pH;
- iv) l'umidità contenuta;
- v) l'attività microbica (che cambia nel tempo a seconda delle specie vegetali presenti ed in base al tipo di inquinante).

L'aumento della concentrazione di carbonio dovuto alla presenza di idrocarburi può alterare anche pesantemente gli equilibri nutrizionali, di pH e di ossigeno dei suoli. Carenze di idrogeno e fosforo sono spesso evidenti in siti contaminati da idrocarburi a causa dell'immobilizzazione di questi elementi prodotta dai processi metabolici dei microrganismi ed in parte delle piante (Kirkpatrick et al. , 2006; Guendy, 2008). Pardo et al. (2004) e Ramírez et al. (2009) indicano che la naturale proporzione C: N: P (100: 10: 1) è spesso alterata in presenza di idrocarburi. Gli autori indicano che per favorire i corretti equilibri biologici tra suolo e componente biologica è necessario riportare la concentrazione di azoto e fosforo alle corrette concentrazioni attraverso l'immissione di fertilizzanti. E' però necessario, monitorare il contenuto di azoto, perché se eccessivo rispetto al fosforo, può trasformarsi in un fattore inibitorio a causa dell'effetto tossico provocato dall'accumulo di nitrati e ossidi di azoto prodotti dai processi di denitrificazione microbica che si hanno in condizioni anaerobiche e bassi valori di pH (condizioni spesso riscontrate nei suoli contaminati da idrocarburi) (Chaîneau et al., 2005; Ramírez et al., 2009).

L'assimilazione delle sostanze nutritive da parte delle piante avviene grazie all'organizzazione dei macro elementi (carbonio, azoto, fosforo e zolfo) in composti organici (aminoacidi e proteine) che sono essenziali per la formazione di nuove cellule e di nuovi tessuti; questo è il motivo per cui il potenziale di assunzione di nutrienti da parte delle macrofite è il fattore limitante che regola il tasso di crescita delle piante e, conseguentemente, anche la loro efficienza nei processi fitodepurativi (Vymazal, 2007). In base a quanto descritto da Vanier & Dahab (2001) la capacità di assunzione di nutrienti azotati da parte delle piante è compresa tra 1000 e 2500 Kg N / Ha anno. Nelle aree umide, come paludi,

prati allagati, l'azoto ammonio presente è la forma di azoto che può essere assunta dalle piante attraverso le radici. Lo stesso ione viene attivamente organico dai microrganismi anaerobici del suolo che lo trasformano in materia organica (Zhu et al., 2010). Questi meccanismi dipendono da fattori biotici e abiotici come pH, il potenziale redox, la disponibilità e la presenza di microrganismi, la concentrazione di sostanze stimolanti o inibenti la crescita delle piante e della flora microbica (Jones et al., 2004). Un corretto equilibrio nella concentrazione dei nutrienti (N, P, S e K) è in grado di favorire la crescita sia della vegetazione che dei microrganismi.

Può, inoltre, limitare la competizione tra piante e microrganismi per i nutrienti stessi nei suoli inquinati da olii aumentando i tassi di degradazione di questi composti (Kirkpatrick et al., 2006; Unterbrunner et al., 2012a). In un esperimento in serra è stato verificato l'effetto del fertilizzante a rilascio controllato sul potenziale di crescita e biodegradazione da parte di *Lolium multiflorum*. I risultati hanno mostrato che un aumento della degradazione del petrolio nelle tesi trattate con fertilizzanti (Cartmill et al., 2014). In uno studio di campo l'applicazione di fertilizzanti azotati, fosforo e potassio (NPK) su mais (*Zea mays*) e su *Pennisetum purpureum* coltivati su suoli agricoli contaminati da idrocarburi, ha chiaramente aumentato la capacità degradativa fino ad arrivare al 77,5% di scomparsa del contaminante (Ayotamuno et al., 2006). Merkl et al. (2005b) hanno valutato l'effetto dei livelli di fertilizzante (200, 300 e 400 mg.kg⁻¹ di NPK) sull'efficienza di fitodepurazione del suolo contaminato da petrolio greggio. Nel corso del lavoro hanno dimostrato che l'aumento progressivo di fertilizzanti era correlato all'aumento del tasso di dissipazione degli idrocarburi (fino al 10,5% dopo 14 settimane di trattamento). L'uso di fertilizzanti in terreni contaminati da petrolio grezzo incrementa la biomassa radicale in *Lolium multiflorum* favorendo il proliferare della comunità microbica (White et al. 2003). Lin e Mendelsohn (1998) hanno infine dimostrato che anche in altre specie, tra cui *Spartina alterniflora*, l'applicazione di fertilizzanti influenza positivamente la degradazione di petrolio e dei suoi prodotti derivati.

Alternativamente alla concimazione di sintesi possono essere utilizzate le leguminose e gli ontani per la loro capacità di reintegrare l'azoto nei sistemi di fitodepurazione (Dawson &

Gordon 1979; Millett et al., 2012). I noduli delle leguminose contenenti batteri del tipo *Rhizobium* spp. sono in grado di convertire l'azoto atmosferico in composti ammoniacali che possono essere prontamente assorbiti anche dalle altre piante presenti nelle consociazioni vegetali (Gothwal et al., 2008). La fissazione biologica delle leguminose di N₂ riduce la necessità di fertilizzanti azotati. Questa proprietà è molto importante in aree inquinate da idrocarburi dove il rapporto C/N aumenta notevolmente a favore del Carbonio causando fenomeni di carenza di azoto (Ndimele et al., 2011).

L'associazione tra *Samanea saman*, una leguminosa arborea, ed i suoi microrganismi simbiotici è risultata avere un'ottima resa nella bonifica degli idrocarburi (Bento et al., 2012). *Panicum bisulcatum*, *Astragalus membranaceus*, *Aeschynomene indica* e *Medicago sativa* migliorano la degradazione degli IPA nei terreni attraverso il rilascio di enzimi, l'incremento della concentrazione di azoto e l'aumento dell'attività microbica (Wiltse et al., 1998; Lee et al. 2008). La leguminosa *Centrosema brasilianum* presenta una veloce crescita ed una grande produzione di biomassa. Quella radicale favorisce l'attività di fitorisanamento (Merkl et al., 2004).

La fitodegradazione può anche essere favorita attraverso la corretta applicazione al suolo di rifiuti di origine agricola e di compost. Gli emendanti organici distribuiti sui suoli sono in grado di migliorare le proprietà fisiche dei terreni ed il contenuto di nutrienti favorendo le attività microbiche (Olutayo 2007). Agamuthu et al. (2010) hanno dimostrato che la presenza di *Jatropha curcas* incrementa la degradazione di idrocarburi fino al 96%, in particolar modo dopo l'aggiunta di alcuni agenti in grado di arricchire di nutrienti il terreno, come la buccia di banana, la biomassa di scarto dei birrifici ed il compost usato per la coltivazione dei funghi. Wang et al. (2012) hanno riferito che l'applicazione del compost può aumentare la degradazione del pirene nei suoli fino al 46% da parte di *Lolium perenne* e di erba medica (*Medicago sativa*). Allo stesso modo, l'aggiunta ai suoli di scarti della coltivazione del cotone e di polvere di segatura ha prodotto un deciso aumento del potenziale di risanamento del fagiolo dall'occhio (*Vigna unguiculata*) (Olutayo 2007).

L'efficienza dell'attività del fitorimedio può essere incrementata anche attraverso l'inoculazione a livello della zona radicale di batteri promotori della crescita delle piante

(Hydrocarbon degrading –HC- e/o Plant growth-promoting bacteria -PGPB). I batteri tipo HC aumentano la tolleranza delle piante agli inquinanti come gli idrocarburi (Khan et al., 2013). Queste comunità di microrganismi sono in grado di produrre pool enzimatici capaci di degradare i composti organici tossici, riducendone la fitotossicità e favorendo l'evapotraspirazione degli idrocarburi volatili (Tara et al., 2014). I PGPB presentano effetti benefici sulle piante favorendo invece la loro crescita e controllando i fenomeni di indebolimento naturale causato da patogeni di vario tipo (Khan et al., 2013).

Alcune ricerche hanno messo in luce come l'inoculo di batteri HC in suoli contaminati da diesel (50 g.kg-1) seminati a *Lolium perenne* abbia prodotto un'evidente incremento dell'efficienza del fitorimedio con valori di rimozione del 57,3% e con un incremento del 7,3% rispetto al fitorimedio senza inoculo batterico (Chuluun et al., 2014). Altra prova è stata ottenuta tramite immissione in suolo di sospensioni di *Pseudomonas* (HC) in aree piantumate a teak (*Tectonia grandis*, *Gmelina arborea*, *Azadirachta indica* e *Michelia champaca*). Questa sperimentazione ha chiaramente messo in evidenza un aumento dell'efficienza di fitorimedio di queste specie (Yenn et al. 2014).

I funghi micorrizici arbuscolari (AMF) sono altri microrganismi che influenzano l'esito del fitorisanamento. Le ife micorriziche aumentano la superficie radicale fornendo una più ampia esplorazione del suolo, creando una nuova interfaccia a livello di interazioni suolo-pianta. I funghi micorrizici (ascomiceti e basidiomiceti che spesso apprezziamo in cucina come porcini e russule), sono noti per avvantaggiare le piante attraverso una serie di cambiamenti nella fisiologia vegetale, di incremento nella disponibilità dei nutrienti e della complessità microbica (Joner e Leyval 2003, Khan 2006). Loglio annuale (*Lolium multiflorum*) quando inoculato con un *Glomus* ssp. (un AMF) diviene particolarmente efficiente nella biodegradazione dei suoli contaminati da idrocarburi (oli greggi pari a 6.000 mg.kg-1) (Alarcón et al., 2008). La germinazione e la crescita di *Leucanthemum vulgare* micorrizzato sono decisamente più elevate rispetto al controllo (senza AMF), anche in un suolo contaminato da petrolio greggio (Noori et al., 2014). L'incremento del 9% nell'efficacia di degradazione di oli pesanti durante un periodo di 64 giorni è stata dimostrata anche in *Biden pilosa* a seguito dell'infezione radicale con funghi micorrizici

(terreni contaminati con 30.000 mg.kg-1 di idrocarburi) (Kuo et al 2013).

9 APPROFONDIMENTO

9.1 UTILIZZO DEL COMPOST E DEI FUNGHI MICORRIZICI PER POTENZIARE IL FITORIMEDIO

Il compost è un ammendante ottenuto attraverso un processo aerobico di stabilizzazione della sostanza organica di origine vegetale ma anche da scarti organici derivanti dalla raccolta differenziata nei rifiuti solidi urbani. Il suo utilizzo nei piani di fitorimedio, a dosi generalmente comprese tra le 40 e le 80 t ha-1 in peso fresco, ha come principale effetto il miglioramento della fertilità fisica e biologica del suolo attraverso i seguenti meccanismi:

- a) miglioramento della struttura grazie agli apporti di sostanza organica che favoriscono la formazione di aggregati stabili;
- b) potenziamento dell'attività microbica che può servire nel breve periodo ad attivare il metabolismo di degradazione degli inquinanti organici (vedi sezione sulla rizodegradazione);
- c) attivazione del ciclo dell'N. La fertilizzazione con compost consente in questo modo di creare una condizione idonea all'accrescimento delle colture anche in ambienti particolarmente ostili. Di particolare interesse per i protocolli di fitorimedio sono gli effetti del compost sulla mobilità e sulla biodisponibilità dei metalli (Huang et al. 2016). In particolare sono stati evidenziati processi di immobilizzazione legati all'assorbimento diretto da parte delle matrici compostate (Vanegas et al. 2015) e formazione di complessi insolubili (Achiba et al., 2009).

In altri termini le sostanze umiche riducono la mobilità passiva (diffusione, trasporto di massa) la quale determina flussi verticali o laterali con il rischio di contaminare i corpi idrici adiacenti. A questo va aggiunto un aumento della mobilità attiva (assorbimento radicale), visto che i complessi humus-metallo in presenza degli acidi organici degli essudati radicali, rilasciano i metalli e li rendono disponibili all'assorbimento da parte delle piante fitoestrattrici (Fiorentino et al, 2013).

I funghi micorrizici sono molto comuni nella rizosfera e sono in grado di instaurare una

simbiosi di tipo mutualistico con la porzione ipogea delle piante. L'utilizzo dei funghi micorrizici può favorire in modo determinante la colonizzazione di suoli degradati attraverso il potenziamento dell'attività radicale che ne aumenta l'efficienza di asportazione dei nutrienti e metalli potenzialmente tossici.

I meccanismi più riportati in letteratura sono: a) diluizione dei metalli e dei composti organici inquinanti nei tessuti delle piante grazie all'incremento della biomassa (Kaldorf et al., 1999); b) esclusione dei metalli attraverso la precipitazione o la chelazione nella rizosfera (Christie et al., 2004); c) riduzione delle asportazioni da parte della coltura grazie alla diretta compartimentalizzazione dei contaminanti nei tessuti del fungo (Christie et al., 2004). Tra le specie particolarmente utili per potenziare il fitorimedio vanno ricordate quelle appartenenti al genere *Trichoderma* spp. (Fiorentino et al., 2013) dei quali è nota la capacità di limitare fortemente la crescita di funghi patogeni come *F. oxysporum*, *R. solani*, *Phytophthora* spp, *Verticillium* spp e altri. Inoltre i funghi del genere *Trichoderma* esplicano una attività di antibiosi attraverso la produzione di un vasto numero di metaboliti secondari ad attività antibiotica (Harman et al., 2004). Alcuni ceppi stabiliscono forti e durature colonizzazioni delle superfici delle radici penetrando addirittura fino al di sotto dell'epidermide (Woo and Lorito, 2007). Grazie alla produzione di una grossa varietà di enzimi depolimerizzanti, *Trichoderma* spp. sono capaci di utilizzare come fonte di carbonio e azoto un ampio gruppo di composti e ciò, insieme all'abbondante produzione di conidi e all'adattabilità a diverse condizioni ambientali, conferiscono a queste specie un'elevata competitività rispetto alla restante microflora del terreno. Altri ceppi di *Trichoderma* interagiscono attivamente con la pianta promuovendone la crescita delle radici e del fusto (Harman et al., 2004).

Negli ultimi anni è stata dimostrata anche la capacità di alcuni ceppi di *Trichoderma* di biodegradare o comunque tollerare una vasta gamma di inquinanti ambientali tanto è vero che in letteratura è riportato l'impiego di *Trichoderma* spp. nel fitorisanamento di suoli inquinati da idrocarburi (Harman et al., 2004). Tali ceppi, in virtù delle loro peculiarità, sono stati inseriti anche in programmi di recupero di suoli; essendo microrganismi rizosfera-competenti, contribuiscono alla stabilità delle comunità microbiche nella rizosfera,

controllano la microflora patogena e competitiva: insomma migliorano la salute delle piante e aumentano lo sviluppo e la densità delle radici. Nella fattispecie si è visto che il ceppo T22 di *T. harzianum* aumenta notevolmente l'efficacia delle piante utilizzate per il fitorisanamento e recenti studi hanno dimostrato che il trattamento delle radici di felci con questo fungo determina una drastica riduzione dei livelli di arsenico nei suoli contaminati ed un significativo incremento della biomassa radicale, rispetto alle piante controllo (Harman et al., 2004, Fiorentino et al., 2013).

10 VALORIZZAZIONE DELLE BIOMASSE PRODOTTE DAGLI IMPIANTI DI PHYTOREMEDIATION

Il crescente interesse verso le filiere bioenergetiche e la ricerca di strategie che non entrino in competizione con la produzione di colture alimentari, ha aperto la strada all'individuazione di suoli marginali (compreso quelli inquinati) definiti dall'OCSE come suoli con “basso potenziale agricolo e non idonei per propositi residenziali” per la produzione di colture cosiddette no-food. Tali suoli possono essere parzialmente contaminati da metalli pesanti, idrocarburi o altri tipi di inquinanti ed essere depurati dall'azione estrattiva di biomasse specificamente selezionate. Per implementare correttamente la fitodegradazione è, tuttavia, necessario dotarsi di un piano di smaltimento sicuro del materiale prodotto dopo la raccolta, specie se contaminato.

Alcuni studi riportano il compostaggio e la compattazione come possibili post-trattamenti, in quanto entrambi sono in grado di ridurre notevolmente il volume della biomassa raccolta. Tuttavia, l'elevata solubilità dei metalli pesanti e la tossicità di alcuni composti chimici nel percolato derivante da questi processi inducono a valutare trattamenti alternativi per garantire una raccolta e uno smaltimento appropriato. Inoltre, la fattibilità economica del processo di fitodepurazione potrebbe ancor più trarre vantaggio dalla valorizzazione dei residui vegetali prodotti qualora essi posseggano caratteristiche tali da consentirne l'inserimento in filiere bioenergetiche o di produzione di biomateriali (compreso il legno da costruzione) (Kuppens et al. 2015; Vigil et al. 2015). In tal senso, la scelta delle biomasse

utilizzate per la fitodepurazione, generalmente selezionate solo sulla base di criteri puramente agronomici e della loro attitudine ad estrarre metalli e a degradare inquinanti organici, va effettuata prendendo in considerazione anche la possibilità di un impiego dei residui finali al posto di un loro costoso smaltimento in discariche speciali.

11 INQUADRAMENTO NORMATIVO

Da un punto di vista normativo le biomasse prodotte dagli impianti di bonifica o di messa in sicurezza di siti contaminati sono da considerarsi come un *sottoprodotto* (parte IV del D.Lgs. n. 152/06 art. 184 ter D.Lgs. 152/06), che può quindi essere reimpiegato in un ulteriore processo produttivo. Non c'è pertanto una limitazione del loro impiego ad eccezione dall'uso alimentare e della digestione anaerobica (Decreto Interministeriale n. 5046 del 25 Febbraio 2016 -Decreto effluenti), rientrando pienamente nella definizione di biomassa del D. Lgs 387/2003 modificato dal D. Lgs 28/2011 "Attuazione della direttiva 2009/28/ CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE". All'articolo 2 lett. e) si definisce biomassa "la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, gli sfalci e le potature provenienti dal verde pubblico e privato, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani".

La valorizzazione energetica è quindi una strada perseguibile quando:

- a) le biomasse rappresentano il prodotto di un sito dove la fitodegradazione è stata utilizzata per la messa in sicurezza dell'area;
- b) i metalli e altre molecole potenzialmente tossiche sono prevalentemente accumulate nei rizomi o nelle radici lasciando pulite le zone epigee (fusto e foglie). Da questo ne consegue che non è possibile accedere agli incentivi statali sulla biovalorizzazione che sono regolati dall'allegato 2 punto 2 del D. Lgs 28/2011 (*Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.*). In tale allegato è infatti specificato

che, per poter accedere agli incentivi statali è necessario il rispetto di requisiti e specifiche tecniche degli impianti alimentati da fonti rinnovabili secondo quanto riportato: “Per le biomasse utilizzate in forma di pellet o cippato ai fini dell’accesso agli incentivi statali, [...], è richiesta la conformità alle classi di qualità A1 e A2: per il pellet, indicate nelle norme UNI EN 14961-2 (oggi sostituita dalla UNI EN ISO 17225-2:2014 Definizione delle classi di pellet di legno), per il cippato, indicate nelle norme UNI EN 14961- 4 (oggi sostituita dalla UNI EN ISO 17225- 4:2014 Definizione delle classi di cippato di legno) “. In quest’ultimo caso è comunque esclusa dalla classe A la classe 1.1.1.3 “...ceduo a turnazione breve qualora la piantagione sia stata espressamente usata per sequestrare sostanze chimiche ...”.

12 CONCLUSIONI

Questo documento mette in luce l’interessante potenziale dei sistemi di depurazione che operano nella rimozione degli idrocarburi totali derivati da petrolio attraverso specie vegetali. È sempre più evidente come questa alternativa di bio-bonifica stia diventando nel tempo una delle soluzioni più promettenti e più utilizzate per ridurre e marginalizzare gli effetti negativi causati dalla presenza di composti contaminanti con il chiaro vantaggio che tale applicazione può essere utilizzata a costi contenuti sia nell’ambito delle aree di effrazione, che in impianti che trattano i suoli ex situ. I metodi termici, meccanici e chimici applicati alla bonifica dei siti contaminanti sono sempre più costosi, “energivori”, alteranti per l’ambiente ed il paesaggio.

Il Fitorimedio, come “variante” del biorisanamento, è stato sviluppato per essere una tecnica di decontaminazione eco-compatibile ed economica. Si basa sulla capacità delle piante di estrarre, degradare, stabilizzare e volatilizzare i contaminanti del suolo e degli ambienti acquatici. Il Fitorimedio è pertanto applicata come tecnica in situ, non distruttiva e non impattante per l’ambiente, che non solo rimuove efficacemente gli inquinanti organici, ma migliora anche le condizioni del suolo, incrementandone la “vitalità”, il grado di biodiversità microbica, prevenendo l’erosione dei terreni.

Dall’insieme dei dati presenti in letteratura emerge con evidenza come prima di realizzare un impianto di fitorisanamento sia molto importante conoscere le caratteristiche fisiologiche

e morfologiche delle specie vegetali ipotizzate per l'intervento (anche a livello di varietà o di cultivar) da utilizzare per rimuovere gli idrocarburi. Ciò comporta che il team di progetto debba scegliere specie vegetali che hanno un buon livello di tolleranza nei confronti dei composti inquinanti, al fine di favorire con la massima efficienza i processi di interazione tra piante, microorganismi ed ambiente, processi che consentono di trasformare e/o ridurre la concentrazione di idrocarburi nei suoli e nelle acque. Elevate concentrazioni di contaminanti possono però causare stress ossidativi, producendo effetti tossici ed inibitori sia a livello ipogeo (radici) che a quello epigeo (fusti e foglie) in specie vegetali sensibili e non adeguatamente individuate. Il fitorisanamento può quindi essere applicato con elevata efficacia sin dall'inizio nelle aree dove il tasso di inquinamento è basso o, in alternativa, come trattamento finale in aree inizialmente molto inquinate.

Molti dati mettono in luce come la massima efficienza del sistema si possa ottenere solo se l'attività microbica del terreno che si realizza all'interno delle aree contaminate è sufficientemente conosciuta. La determinazione delle comunità microbiche viene di norma eseguita attraverso test biochimici e molecolari che consentono l'identificazione a livello tassonomico dei microrganismi che sono specificatamente associati ai processi di rimozione degli idrocarburi.

L'applicazione e la reale efficienza dei processi legati al fitorisanamento devono essere valutati su una scala realistica al fine di stimare la capacità operativa di questa tecnologia nella degradazione di composti organici specifici, in quanto la famiglia degli idrocarburi è molto ampia e le loro reazioni con l'acqua, il suolo e le piante cambiano da un gruppo chimico all'altro.

È bene ricordare che il fitorimediazione riduce la sua efficacia a basse temperature (periodo invernale) quando la crescita delle specie vegetali ed il metabolismo della flora microbica è lento o addirittura interrotto. È comunque vero che l'ossigenazione del sottosuolo permane in tutte le stagioni (sebbene più elevato nei periodi primaverili/estivi) e con essa anche l'attività microbica ossidante (anche questa comunque rallentata dalle basse temperature).

13 BIBLIOGRAFIA

- Abdelwahab, O. (2014). Assessment of raw luffa as a natural hollow oleophilic fibrous sorbent for oil spill cleanup. *Alexandria Engineering Journal*, 53(1), 213–218.
- Achiba W.B., Gabteni N., Lakhdar A., Laing G.D., Verloo M., Jedidi N., Gallali T., 2009. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 130 (3–4), 156–163
- Agamuthu, P., Abioye, O. P., & Aziz, A. A. (2010). Phytoremediation of soil contaminated with used lubricating oil using *Jatropha curcas*. *Journal of hazardous materials*, 179(1), 891–894.
- Agbogidi, O. M., & Bamidele, J. F. (2009). Suitability of *Pistia stratiotes* Linn. and *Spirodela polyrrhiza* Trev. for the removal of pollutants in oil polluted water bodies. *Discovery and Innovation*, 19(2).
- Akapo, A. A. R., Omidiji, S. O., & Otitoloju, A. A. (2011). Morphological and anatomical effects of crude oil on *Pistia stratiotes*. *The Environmentalist*, 31(3), 288–298.
- Alarcón, A., Davies, F. T., Jr., Autenrieth, R. L., & Zuberer, D. A. (2008). Arbuscular mycorrhiza and petroleum degrading microorganisms enhance phytoremediation of petroleum-contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation*, 10(4), 251–263.
- Al-Baldawi, I.A., Abdullah, S. R. S., Suja, F., Anuar, N. & Idris, M. (2013) Phytotoxicity test of *Scirpus grossus* on diesel-contaminated water using a subsurface flow system. *Ecological Engineering*, 54, 49-56.
- Ali, N., Sorkhoh, N., Salamah, S., Eliyas, M., & Radwan, S. (2012). The potential of epiphytic hydrocarbon-utilizing bacteria on legume leaves for attenuation of atmospheric hydrocarbon pollutants. *Journal of Environmental Management*, 93(1), 113–120.
- Alkorta, I., & Garbisu, C. (2001). Phytoremediation of organic contaminants in soils. *Bioresource Technology*, 79(3), 273–276.
- Al-Majed, A. A., Adebayo, A. R., & Hossain, M. E. (2012). A sustainable approach to controlling oil spills. *Journal of Environmental Management*, 113, 213–227.
- Alwan, A., Fadil, S., Khadair, S., Haloub, A., Mohammed, D., Salah, M., Sabbar, S., Mousa, N. & Salah, Z. (2013) Bioremediation of the water contaminated by waste of hydrocarbon by use *Ceratophyllaceae* and *Potamogetonaceae* plants. *Journal of Genetic and Environmental Resources Conservation*, 1 (2), 106-110.
- Andersen, R. G., Booth, E. C., Marr, L. C., Widdowson, M. A., & Novak, J. T. (2008). Volatilization and biodegradation of naphthalene in the vadose zone impacted by phytoremediation. *Environmental Science & Technology*, 42(7), 2575–2581.
- Andrew James, C., Xin, G., Doty, S. L., Muiznieks, I., Newman, L., & Strand, S. E. (2009). A mass balance study of the phytoremediation of perchloroethylene

- contaminated groundwater. *Environmental Pollution*, 157(8), 2564–2569. Ansari, A. A., Gill, S. S., Gill, R., Lanza, G. R., & Newman, L. (Eds.). (2014). *Phytoremediation: management of environmental contaminants* (vol. 1). Springer.
- Asadpour, R., Sapari, N. B., Isa, M. H., & Orji, K. U. (2014). Enhancing the hydrophobicity of mangrove bark by esterification for oil adsorption. *Water Science & Technology*, 70(7), 1220–1228.
 - Atagana, H. I. (2011). Bioremediation of co-contamination of crude oil and heavy metals in soil by phytoremediation using *Chromolaena odorata* (L) King & HE Robinson. *Water, Air, & Soil Pollution*, 215(1–4), 261–271.
 - Atlas, R. M. (1995). Petroleum biodegradation and oil spill bioremediation. *Marine Pollution Bulletin*, 31(4), 178–182.
 - Atlas, R. M., & Hazen, T. C. (2011). Oil biodegradation and bioremediation: a tale of the two worst spills in US history. *Environmental Science & Technology*, 45(16), 6709–6715.
 - ATSDR - Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. (1999) Resumen de salud pública de hidrocarburos totales del petróleo. Departamento de salud y servicios humanos de los EE.UU.
 - Ayotamuno, J. M., Kogbara, R. B., & Ekwunem, P. N. (2006). Comparison of corn and elephant grass in the phytoremediation of a petroleum-hydrocarbon contaminated agricultural soil in Port Harcourt, Nigeria. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 4(3/4), 218.
 - Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 233–266.
 - Balba, M. T., Al-Awadhi, N., & Al-Daher, R. (1998). Bioremediation of oil-contaminated soil: microbiological methods for feasibility assessment and field evaluation. *Journal of Microbiological Methods*, 32(2), 155–164.
 - Basumatary, B., Bordoloi, S., & Sarma, H. P. (2012b). Crude oil contaminated sola fitodepurazioneby using *Cyperus brevifolius* (Rottb.) Hassk. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(6), 3373–3383.
 - Basumatary, B., Saikia, R., & Bordoloi, S. (2012a). Phytoremediation of crude oil contaminated soil using nut grass, *Cyperus rotundus*. *Journal of Environmental Biology*, 33(5).
 - Baussant, T., Sanni, S., Jonsson, G., Skadsheim, A., & Borseth, J. F. (2001). Bioaccumulation of polycyclic aromatic compounds: 1. Bioconcentration in two marine species and in semi-permeable membrane devices during chronic exposure to dispersed crude oil. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20(6), 1175–1184.
 - Bayat, A., Aghamiri, S. F., Moheb, A., & Vakili-Nezhaad, G. R. (2005). Oil spill cleanup from sea water by sorbent materials. *Chemical Engineering & Technology*, 28(12), 1525–1528.
 - Bedessem, M., Ferro, A. & Hiegel, T. (2007) Pilot-scale constructed wetlands for petroleum contaminated groundwater. *Water environment research*, 79 (6), 581-586.

- Bento, F.M., Camargo, F.A.D.O., Okeke, B. & Frankenberger-Junior, W.T. (2003) Bioremediation of soil contaminated by diesel oil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 34 (1), 65-68.
- Bento, R. A., Saggin-Júnior, O. J., Pitard, R. M., Stralioatto, R., da Silva, E. M. R., de Lucena Tavares, S. R., Frederico, H. T. G., Luiz, F. M., & Volpon, A. G. T. (2012). Selection of leguminous trees associated with symbiont microorganisms for phytoremediation of petroleum-contaminated soil. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(9), 5659–5671.
- Berndes, G. (2013). Bioenergy and water: challenges and opportunities. *Bioenergy and Water*, 49.
- Bhatia, M., & Goyal, D. (2014). Analyzing remediation potential of wastewater through wetland plants: a review. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 33(1), 9–27.
- Bock, C., Kolb, M., Bokern, M., Harms, H., Makova, M., Chroma, M., Macek, T., Hughes, J., Just, C. & Schnoor, J. (2002) Advances in phytoremediation: Phytotransformation. In: D. Reible & K. Demnerova (Ed.), *Innovative approaches to the on site assessment of remediation of contaminated sites*. Springer Netherlands pp 115-140.
- Boonsaner, M., Borirukwisitsak, S. & Boonsaner, A. (2011) Phytoremediation of BTEX contaminated soil by *Canna×generalis*. *Ecotoxicology and environmental safety*, 74 (6), 1700-1707.
- Boonsaner, M., Borirukwisitsak, S., & Boonsaner, A. (2011). Phytoremediation of BTEX contaminated soil by *Canna generalis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(6), 1700–1707.
- Boopathy, R. (2000). Factors limiting bioremediation technologies. *Bioresource Technology*, 74(1), 63–67.
- Brix, H. (1994) Use of constructed wetlands in water pollution control: historical development, present status, and future perspectives. *Water Science and Technology*, 30 (8), 209-224.
- Brix, H., Schierup, H.-H. & Arias, C.A. (2007) Twenty years experience with constructed wetland systems in Denmark- what did we learn? *Water Science & Technology* (3), 56, 63-68.
- Buist, I., Potter, S., Nedwed, T., & Mullin, J. (2011). Herding surfactants to contract and thicken oil spills in pack ice for in situ burning. *Cold Regions Science and Technology*, 67(1), 3–23.
- Burken, J. G., Ross, C., Harrison, L. M., Marsh, A., Zetterstrom, L., & Gibbons, J. S. (2001). Benzene toxicity and removal in laboratory phytoremediation studies. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, 5(3), 161–171.
- Cai, Z., Zhou, Q., Peng, S., & Li, K. (2010). Promoted biodegradation and microbiological effects of petroleum hydrocarbons by *Impatiens balsamina* L. with strong endurance. *Journal of Hazardous Materials*, 183(1), 731–737.
- Calvo, C., Manzanera, M., Silva-Castro, G. A., Uad, I., & González-López, J. (2009). Application of bioemulsifiers in soil oil bioremediation processes. *Future prospects. Science of the Total Environment*, 407(12), 3634–3640.

- Camacho, M., Luzardo, O. P., Boada, L. D., López Jurado, L. F., Medina, M., Zumbado, M., & Orós, J. (2013). Potential adverse health effects of persistent organic pollutants on sea turtles: evidences from a cross-sectional study on Cape Verde loggerhead sea turtles. *Science of the Total Environment*, 458, 283–289.
- Cameselle, C., Chirakkara, R.A. & Reddy, K.R. (2013) Electrokinetic-enhanced phytoremediation of soils: Status and opportunities. *Chemosphere*, 93(4), 626-636.
- Carpena, R. & Bernal, M. (2007) Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas* 16.
- Cartmill, A. D., Cartmill, D. L., & Alarcón, A. (2014). Controlled release fertilizer increased phytoremediation of petroleum contaminated sandy soil. *International Journal of Phytoremediation*, 16(3), 285–301.
- Carvalho PN, Basto MC, Almeida CM, Brix H. (2014) A review of plant-pharmaceutical interactions: from uptake and effects in crop plants to phytoremediation in constructed wetlands. *Environ Sci Pollut Res Int.*, 21(20):11729-63.
- Ceylan, D., Dogu, S., Karacik, B., Yakan, S. D., Okay, O. S., & Okay, O. (2009). Evaluation of butyl rubber as sorbent material for the removal of oil and polycyclic aromatic hydrocarbons from seawater. *Environmental Science & Technology*, 43(10), 3846–3852.
- Chaîneau, C., Rougeux, G., Yéprémian, C. & Oudot, J. (2005) Effects of nutrients on the biodegradation of crude oil and associated microbial populations in soil. *Soil biology and biochemistry*, 37 (8), 1490-1497
- Chambers, R.M., Meyerson, L. A. & Saltonstall, K. (1999) Expansion of *Phragmites australis* into tidal wetlands of North America. *Aquatic Botany*, 64 (3-4), 261-273.
- Chase, D. A., Edwards, D. S., Qin, G., Wages, M. R., Willming, M. M., Anderson, T. A., & Maul, J. D. (2013). Bioaccumulation of petroleum hydrocarbons in fiddler crabs (*Uca minax*) exposed to weathered MC-252 crude oil alone and in mixture with an oil dispersant. *Science of the Total Environment*, 444, 121–127.
- Chatterjee, S., Chattopadhyay, P., Roy, S., & Sen, S. K. (2008). Bioremediation: a tool for cleaning polluted environments. *Journal of Applied Biosciences*, 11, 594–601.
- Chen, Z., Kusch, P., Reiche, N., Borsdorf, H., Kästner, M. & Köser, H. (2012) Comparative evaluation of pilot scale horizontal subsurface-flow constructed wetlands and plant root mats for treating groundwater contaminated with benzene and MTBE. *Journal of hazardous materials*, 209, 510-515.
- Cherubini, F., and Strømman, A.H., (2011). Chemicals from lignocellulosic biomass: opportunities, perspectives, and potential of biorefinery systems. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* 5, 548-561.
- Choi, H. M., & Cloud, R. M. (1992). Natural sorbents in oil spill cleanup. *Environmental Science & Technology*, 26(4), 772– 776.
- Christie P., Li X., Chen B., 2004. Arbuscular mycorrhiza can depress translocation of zinc to shoots of host plants in soils moderately polluted with zinc. *Plant and Soil*, 261 (1), 209–217

- Chuluun, B., Shah, S. H., & Rhee, J. S. (2014). Bioaugmented phytoremediation: a strategy for reclamation of diesel oil contaminated soils. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16, 624–628.
- Cicero-Fernández D., Peña-Fernández M, Expósito-Camargo J, Antizar-Ladislao B. (2016) Role of *Phragmites australis* (common reed) for heavy metals phytoremediation of estuarine sediments. *Int. J. Phytoremediation.*, 18(6), 575-82.
- Cojocar, C., Macoveanu, M., & Cretescu, I. (2011). Peat-based sorbents for the removal of oil spills from water surface: application of artificial neural network modeling. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 384(1), 675–684.
- Compernelle, T., Van Passel, S., Weyens, N., Vangronsveld, J., Lebbe, L., & Thewys, T. (2012). Groundwater remediation and the cost effectiveness of phytoremediation. *International journal of phytoremediation*, 14(9), 861–877.
- Conesa, H. C. M., Evangelou, M. W. H., Robinson, B. H. & Schulin, R. (2012) A critical view of current state of phytotechnologies to remediate soils: still a promising tool? *The Scientific World Journal*, 2012, 1-10.
- Cook, R. L., & Hesterberg, D. (2013). Comparison of trees and grasses for rhizoremediation of petroleum hydrocarbons. *International journal of phytoremediation*, 15(9), 844–860.
- Corseuil, H. & Moreno, F. (2001) Phytoremediation potential of willow trees for aquifers contaminated with ethanol-blended Gasoline. *Water Research*, 35 (12), 3013-3017.
- Bushnaf K.M., Puricelli S., Saponaro S., Werner D. (2011) Effect of biochar on the fate of volatile petroleum hydrocarbons in an aerobic sandy soil *Journal of Contaminant Hydrology*, 126, 208–215
- Dave, D., & Ghaly, A. E. (2011). Remediation technologies for marine oil spills: a critical review and comparative analysis. *American Journal of Environmental Sciences*, 7(5), 423.
- Dawson J. O., Gordon J. C, (1979), Nitrogen Fixation in Relation to Photosynthesis in *Alnus glutinosa* *Botanical Gazette, Supplement: Symbiotic Nitrogen Fixation in Actinomycete-Nodulated Plants* Vol. 140 pp. S70-S75
- de-Bashan, L., Hernandez, J. & Bashana, Y. (2012) The potential contribution of plant growth-promoting bacteria to reduce environmental degradation – a comprehensive evaluation. *Applied Soil Ecology*, 61, 171-189.
- Demirbas, A., Arin, G., 2005. An overview of biomass pyrolysis. *Energy Sources*, 24, 471-82
- Díaz, E. (2010). Bacterial degradation of aromatic pollutants: a paradigm of metabolic versatility. *International Microbiology*, 7(3), 173–180.
- Di Blasi, C., 2009. Combustion and gasification rates of lignocellulosic chars. *Progress in energy and combustion science*, 35, 121-40.
- Dietz, A. & Schnoor, J. (2001) Advances in Phytoremediation. *Environmental Health Perspectives*, 109 (1), 163-168.

- Dosnon-Olette, R., Couderchet, M., & Eullaffroy, P. (2009). Phytoremediation of fungicides by aquatic macrophytes: toxicity and removal rate. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(8), 2096–2101.
- Dowty, R. A., Shaffer, G. P., Hester, M. W., Childers, G. W., Campo, F. M., & Greene, M. C. (2001). Phytoremediation of small-scale oil spills in fresh marsh environments: a mesocosm simulation. *Marine Environmental Research*, 52(3), 195–211.
- Dutta, T. K., & Harayama, S. (2001). Biodegradation of n-alkyl-cycloalkanes and n-alkylbenzenes via new pathways in *Alcanivorax* sp. strain MBIC 4326. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(4), 1970–1974.
- Ebuehi, O. A. T., Abibo, I. B., Shekwolo, P. D., Sigismund, K. I., Adoki, A., & Okoro, I. C. (2005). Remediation of crude oil contaminated soil by enhanced natural attenuation technique. *Journal of Applied Sciences & Environmental Management*, 9, 103–106.
- Eke, P. E. & Scholz, M. (2008) Benzene removal with vertical-flow constructed treatment wetlands. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 83 (1), 55-63.
- Erdogan, E. E., & Karaca, A. (2011). Bioremediation of crude oil polluted soils. *Asian Journal of Biotechnology*, 3, 206–213.
- Escalante-Espinosa, E., Gallegos-Martínez, M. E., Favela-Torres, E., & Gutiérrez-Rojas, M. (2005). Improvement of the hydrocarbon phytoremediation rate by *Cyperus laxus* Lam. inoculated with a microbial consortium in a model system. *Chemosphere*, 59(3), 405–413.
- Esler, D., Schmutz, A., Jarvis, L., & Mulcahy, D. M. (2000). Winter survival of adult female harlequin ducks in relation to history of contamination by the Exxon Valdez oil spill. 28.
- Evans, D. D., Mulholland, G.W., Baum, H. R., Walton, W. D., & McGrattan, K. B. (2001). In situ burning of oil spills. *Journal of Research-National Institute of Standards and Technology*, 106(1), 231–278.
- Farmer, J., Ladd, D., & Williams, S. (2006). Fate and transport of petroleum hydrocarbons in soil and ground water at big South Fork National River and Recreation Area, Tennessee and Kentucky, 2002–2003.
- Favas, P. J., Pratas, J., & Prasad, M. N. V. (2012). Accumulation of arsenic by aquatic plants in large-scale field conditions: opportunities for phytoremediation and bioindication. *Science of the Total Environment*, 433, 390–397.
- Favas, P. J., Pratas, J., Varun, M., D'Souza, R., & Paul, M. S. (2014). Accumulation of uranium by aquatic plants in field conditions: prospects for phytoremediation. *Science of the Total Environment*, 470, 993–1002.
- Fernández-Álvarez, P., Vila, J., Garrido-Fernández, J. M., Grifoll, M., & Lema, J. M. (2006). Trials of bioremediation on a beach affected by the heavy oil spill of the Prestige. *Journal of Hazardous Materials*, 137(3), 1523–1531.
- Ferro, A. M., Adham, T., Berra, B., & Tsao, D. (2013). Performance of deep-rooted phreatophytic trees at a site containing total petroleum hydrocarbons. *International Journal of Phytoremediation*, 15(3), 232–244.

- Fingas, M. (2012). The basics of oil spill cleanup. CRC Press. Fletcher, J. S., & Hegde, R. S. (1995). Release of phenols by perennial plant roots and their potential importance in bioremediation. *Chemosphere*, 31(4), 3009–3016.
- Fiorentino N., Fagnano M., Ventorino V., Pepe O., Zoina A., Impagliazzo A., Spigno P., 2013. Assisted phytoextraction of heavy metals: compost and *Trichoderma* effects on giant reed uptake and soil quality. *Italian Journal of Agronomy*, 8, 244–254.
- Fountoulakis, M., Terzakis, S., Kalogerakis, N. & Manios, T. (2009) Removal polycyclic aromatic hydrocarbons and linear alkylbenzene sulfonates from domestic wastewater in pilot constructed wetlands and gravel filter. *Ecological engineering*, 35 (12), 1702-1709.
- Franco, C. A., Cortés, F. B., & Nassar, N. N. (2014). Adsorptive removal of oil spill from oil-in-fresh water emulsions by hydrophobic alumina nanoparticles functionalized with petroleum vacuum residue. *Journal of Colloid and Interface Science*, 425, 168–177.
- Frick, C., Farrell, R. & Germida, J. (1999) Assessment of phytoremediation as an in-situ technique for cleaning oil-contaminated sites. In: *Petroleum Technology Alliance of Canada*, Calgary, Alberta. 88 pp.
- Gabriel, J., Baldrian, P., Verma, P., Cajthaml, T., Merhautová, V., Eichlerová, I., Stoytchev, I., Trnka, T., Stopka, P. & Nerud, F. (2004) Degradation of BTEX and PAHs by Co (II) and Cu (II)-based radical-generating systems. *Applied Catalysis B: Environmental*, 51 (3), 159-164.
- Garbisu, C., & Alkorta, I. (2001). Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. *Bioresource Technology*, 77(3), 229–236.
- George-Ares, A., & Clark, J. R. (2000). Aquatic toxicity of two Corexit® dispersants. *Chemosphere*, 40(8), 897–906.
- Gerhardt, K. E., Huang, X. D., Glick, B. R., & Greenberg, B. M. (2009). Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: potential and challenges. *Plant Science*, 176(1), 20–30.
- Gerhardt, K.E., Huang, X.D., Glick, B.R. & Greenberg, B.M. (2009) Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: Potential and challenges. *Plant Science*, 176 (1), 20-30.
- Gessner, T., Kadlec, R. & Reaves, R. (2005) Wetland remediation of cyanide and hydrocarbons. *Ecological engineering*, 25 (4), 457-469.
- Ghannam, M. T., & Chaalal, O. (2003). Oil spill cleanup using vacuum technique. *Fuel*, 82(7), 789–797.
- Ghazali, F. M., Rahman, R. N. Z. A., Salleh, A. B., & Basri, M. (2004). Biodegradation of hydrocarbons in soil by microbial consortium. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 54(1), 61–67.
- Ghosh, M. & Singh, S.P. (2005) A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. *Asian Journal Energy Environmental*, 6 (4), 214-231.
- Gleba, D., Borisjuk, N. V., Borisjuk, L. G., Kneer, R., Poulev, A., Skarzhinskaya, M., & Raskin, I. (1999). Use of plant roots for phytoremediation and

molecular farming. Proceedings of the National Academy of Sciences, 96(11), 5973–5977.

- Glick, BR. (2003) Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. Biotechnol Adv. 21(5), 383-393.
- Golyshin, P. N., Dos Santos, V. A. M., Kaiser, O., Ferrer, M., Sabirova, Y. S., Lünsdorf, H., ... & Timmis, K. N. (2003). Genome sequence completed of *Alcanivorax borkumensis*, a hydrocarbon-degrading bacterium that plays a global role in oil removal from marine systems. Journal of biotechnology, 106(2), 215–220.
- Gothwal, R. K., Nigam, V. K., Mohan, M. K., Sasmal, D., & Ghosh, P. (2008). Screening of nitrogen fixers from rhizospheric bacterial isolates associated with important desert plants. Applied Ecology and Environmental Research, 6(2), 101–109.
- Grayston, S. J., Wang, S., Campbell, C. D., & Edwards, A. C. (1998). Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere. Soil Biology and Biochemistry, 30(3), 369–378.
- Greipsson, S. (2011) Phytoremediation. Nature Education Knowledge, 3 (10), 7.
- Guendy, M. (2008) Pigments and moisture contents in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex steudel, would be engines for monitoring biodegradation of petroleum contaminants in constructed wetlands. Australian Journal of basic and applied Sciences, 2 (4), 1068-1075.
- Günther, T., Dornberger, U. & Fritsche, W. (1996) Effects of ryegrass on biodegradation of hydrocarbons in soil. Chemosphere, 33 (2), 203-215.
- Ha, N. T. H., Sakakibara, M., & Sano, S. (2011). Accumulation of Indium and other heavy metals by *Eleocharis acicularis*: an option for phytoremediation and phytomining. Bioresource Technology, 102(3), 2228–2234.
- Haarstad, K., Bavor, H.J. & Maehlum, T. (2012) Organic and metallic pollutants in water treatment and natural wetlands: a review. Water Science & Technology, 65 (1), 76-99.
- Haberl, R., Grego, S., Langergraber, G.N., Kadlec, R.H., Cicalini, A.R., Dias, S.M., Novais, J.M., Aubert, S., Gerth, A. & Thomas, H. (2003) Constructed wetlands for the treatment of organic pollutants. Journal of soils and sediments, 3 (2), 109-124.
- Haritash, A. & Kaushik, C. (2009) Biodegradation aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A review. Journal of Hazardous Materials 169. 1-15.
- Haritash, A. K., & Kaushik, C. P. (2009). Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): a review. Journal of Hazardous Materials, 169(1), 1–15.
- Harman G.E., Howell C.R., Viterbo A., Chet I., Lorito M., 2004. Trichoderma species-opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature Review Microbiology, 2, 43-56
- Huang M., Zhu Y., Li Z., Huang B., Luo N., Liu C., Zeng G., 2016 Compost as a Soil Amendment to Remediate Heavy Metal-Contaminated Agricultural Soil: Mechanisms, Efficacy, Problems, and Strategies. Water Air and Soil Pollution, 227 (10), 1-18.
- Huesemann, M. H., Hausmann, T. S., Fortman, T. J., Thom, R.M., & Cullinan, V. (2009). In situ phytoremediation of PAH-and PCB-contaminated marine sediments with eelgrass (*Zostera marina*). Ecological Engineering, 35(10), 1395–1404.

- Ibrahim, S. I., Abdel Lateef, M. F., Khalifa, H. M. S., & Abdel Monem, A. E. (2013). Phytoremediation of atrazine contaminated soil using Zea mays (maize). *Annals of Agricultural Sciences*, 58(1), 69–75.
- Ishak, S., & Malakahmad, A. (2013). Optimization of Fenton process for refinery wastewater biodegradability augmentation. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 30(5), 1083–1090.
- Issoufi, I., Rhykerd, R. L., & Smiciklas, K. D. (2006). Seedling growth of agronomic crops in crude oil contaminated soil. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192(4), 310–317.
- ITRC (2009). Phytotechnology technical and regulatory guidance and decision trees, revised. ALT-3. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Alternative Landfill Technologies Team. www.itrcweb.org.
- Jagadevan, S., & Mukherji, S. (2004). Successful in situ oil bioremediation programmes—key parameters. *Indian Journal of Biotechnology*, 3(4), 495–501.
- Jagtap, S.S., Woo, S.M., Kim, T.S., Dhiman, S.S., Kim, D. & Lee, J.K. (2014) Phytoremediation of diesel-contaminated soil and saccharification of the resulting biomass. *Fuel*, 116, 292-298.
- Jain, P. K., Gupta, V. K., Gaur, R. K., Lowry, M., Jaroli, D. P., & Chauhan, U. K. (2011) Bioremediation of petroleum oil contaminated soil and water. *Research Journal of Environmental Toxicological*, 5(1), 1-26.
- Jarboe, L.R., Wen, Z., Choi, D., Brown, R.C. (2011). Hybrid thermochemical processing: fermentation of pyrolysis-derived bio-oil. *Appl Microbiol Biotechnol.*, 91(6), 1519-23.
- Jewett, S. C., Dean, T. A., Woodin, B. R., Hoberg, M. K., & Stegeman, J. J. (2002). Exposure to hydrocarbons 10 years after the Exxon Valdez oil spill: evidence from cytochrome P4501A expression and biliary FACs in near shore demersal fishes. *Marine Environmental Research*, 54(1), 21–48.
- Joner, E. J., & Leyval, C. (2003). Phytoremediation of organic pollutants using mycorrhizal plants: a new aspect of rhizosphere interactions. *Agronomie-Sciences des Productions Vegetales et de l'Environnement*, 23(5–6), 495–502.
- Jones, D., Hodge, A. & Kuzyakov, Y. (2004) Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. *Tansley review. New phytologist*, 163 (3), 459-480.
- Jordahl, J. L., Foster, L., Schnoor, J. L., & Alvarez, P. J. (1997). Effect of hybrid poplar trees on microbial populations important to hazardous waste bioremediation. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16(6), 1318–1321.
- Jouanneau, Y., Willison, J. C., Meyer, C., Krivobok, S., Chevron, N., Besombes, J.-L. & Blake, G. (2005) Stimulation of Pyrene mineralization in freshwater sediments by bacterial and plant bioaugmentation. *Environmental science & technology*, 39 (15), 5729-5735.
- Joutey, N. T., Bahafid, W., Sayel, H., & El Ghachtouli, N. (2013). Biodegradation: involved microorganisms and genetically engineered microorganisms. *Biodegradation-life of science. InTech, Rijeka*, 289–320.
- Kabra, A. N., Khandare, R.V., Waghmode, T. R., & Govindwar, S. P. (2012). Phytoremediation of textile effluent and mixture of structurally different dyes by *Glandularia pulchella* (Sweet) Tronc. *Chemosphere*, 87(3), 265–272.

- Kabra, A.N., Khandare, R.V., Waghmode, T.R. & Govindwar, S.P. (2012) Phytoremediation of textile effluent and mixture of structurally different dyes by *Glandularia pulchella* (Sweet) Tronc. Chemosphere, 87 (3), 265–272.
- Kadlec, R. & Wallace, S. (2009). Treatment wetlands. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 1000 p.
- Kamath, R., Rentz, J. A., Schnoor, J. L., & Alvarez, P. J. J. (2004). Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soils: principles and applications. Studies in surface science and catalysis, 151, 447–478.
- Kaldorf M., Kuhn A.J., Schröder W.R., Hildebrandt U., Bothe H., 1999. Selective element deposits in maize colonized by a heavy metal tolerance conferring arbuscular mycorrhizal fungus. Journal of Plant Physiology. 154 (5– 6), 718–728.
- Kamath, R., Rentz, J., Schnoor, J. & Alvarez, P. (2004) Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soils: principles and applications. In: R. Vasquez-Duhalt & R. Quintero-Ramírez (Ed), Studies in Surface Science and Catalysis. Elsevier, pp 447-478.
- Kang, S. W., Kim, Y. B., Shin, J. D., & Kim, E. K. (2010). Enhanced biodegradation of hydrocarbons in soil by microbial biosurfactant, sophorolipid. Applied Biochemistry and Biotechnology, 160(3), 780–790.
- Kathi, S. & Khan, A. (2011) Phytoremediation approaches to PAH contaminated soil. Indian Journal of Science and Technology, 4 (1), 56-63.
- Khan, A. G. (2006). Mycorrhizo-remediation—an enhanced form of phytoremediation. Journal of Zhejiang University Science, 7(7), 503–514.
- Khan, S., Afzal, M., Iqbal, S. & Khan, Q.M. (2013) Planta-bacteria partnerships for the remediation of hydrocarbon contaminated soils. Chemosphere, 90, 1317-1332.
- Khan, S., Afzal, M., Iqbal, S., & Khan, Q. M. (2013). Plant– bacteria partnerships for the remediation of hydrocarbon contaminated soils. Chemosphere, 90(4), 1317–1332.
- Kingston, P. F. (2002). Long-term environmental impact of oil spills. Spill Science & Technology Bulletin, 7(1), 53–61.
- Kirkpatrick, W., White, P., Wolf, D., Thoma, G. & Reynold, C. (2006) Selecting plants and nitrogen rates to vegetate crude oil contaminated soil. International journal of phytoremediation, 8 (4), 285-297.
- Kirkpatrick, W. D., White, P. M., Jr., Wolf, D. C., Thoma, G. J., & Reynolds, C. M. (2006). Selecting plants and nitrogen rates to vegetate crude-oil-contaminated soil. International Journal of Phytoremediation, 8(4), 285–297.
- Kivaisi, A.K. (2001) The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. Ecological Engineering, 16 (4), 545-560.
- Konnerup, D., Koottatep, T., & Brix, H. (2009). Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with *Canna* and *Heliconia*. Ecological Engineering, 35(2), 248–257.
- Kuiper, I., Lagendijk, E. L., Bloemberg, G. V., & Lugtenberg, B. J. (2004). Rhizoremediation: a beneficial plant-microbe interaction. Molecular Plant-Microbe Interactions, 17(1), 6–15.
- Kumpiene, J., Lagerkvist, A. & Maurice, C. (2007) Stabilization of Pb-and Cu-contaminated soil using coal fly ash and peat. Environmental Pollution, 145 (1), 365-373.

- Kuo, H. C., Juang, D. F., Yang, L., Kuo, W. C., & Wu, Y. M. (2013). Phytoremediation of soil contaminated by heavy oil with plants colonized by mycorrhizal fungi. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1–8.
- Kuppens, T., Van Dael, M., Vanreppelen, K., Thewys, T., Yperman, J., Carleer, R., Schreurs, S., Van Passel, S., 2015. Techno-economic assessment of fast pyrolysis for the valorization of short rotation coppice cultivated for phytoextraction. *Journal of Cleaner Production*, 88, 336–344
- Kuschik, P., Wiessner, A., Seeger, E., Kästner, M., Kappelmeyer, U., Paredes, D. & Shtemenko, N. (2012) The status of research on constructed wetlands. In: Vitale, K. (Ed.) *Environmental and Food Safety and Security for South-East Europe and Ukraine*. Dnepropetrovsk, Ucraina, Springer Netherlands. 155-171.
- Kuzovkina, Y. A., & Quigley, M. F. (2005). Willows beyond wetlands: uses of *Salix* L. species for environmental projects. *Water, Air, and Soil Pollution*, 162(1–4), 183–204.
- Leahy, J. G., & Colwell, R. R. (1990). Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *Microbiological Reviews*, 54(3), 305–315.
- Lee, P. H., Ong, S. K., Golchin, J., & Nelson, G. L. (2001). Use of solvents to enhance PAH biodegradation of coal tar. *Water Research*, 35(16), 3941–3949.
- Lee, R. F., & Page, D. S. (1997). Petroleum hydrocarbons and their effects in subtidal regions after major oil spills. *Marine Pollution Bulletin*, 34(11), 928–940.
- Lee, S. H., Lee, W. S., Lee, C. H., & Kim, J. G. (2008). Degradation of phenanthrene and pyrene in rhizosphere of grasses and legumes. *Journal of Hazardous Materials*, 153(1), 892–898.
- Lee, S.-H., Lee, W.-S., Lee, C.-H. & Kim, J.-G. (2008). Degradation of phenanthrene and pyrene in rhizosphere of grasses and legumes. *Journal of hazardous materials*, 153 (1), 892-898.
- Leigh, M. B., Fletcher, J. S., Fu, X., & Schmitz, F. J. (2002). Root turnover: an important source of microbial substrates in rhizosphere remediation of recalcitrant contaminants. *Environmental Science & Technology*, 36(7), 1579–1583.
- León, V. M., Moreno-González, R., González, E., Martínez, F., García, V., & Campillo, J. A. (2013). Interspecific comparison of polycyclic aromatic hydrocarbons and persistent organo-chlorines bioaccumulation in bivalves from a Mediterranean coastal lagoon. *Science of the Total Environment*, 463, 975–987.
- Li, Z., Xiao, H., Cheng, S., Zhang, L., Xie, X., & Wu, Z. (2014). A comparison on the phytoremediation ability of triazophos by different macrophytes. *Journal of Environmental Sciences*, 26(2), 315–322.
- Liang, Y., Zhang, X., Dai, D., & Li, G. (2009). Porous bio carrier enhanced biodegradation of crude oil contaminated soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63(1), 80–87.
- Lin, Q., & Mendelssohn, I. A. (1998). The combined effects of phytoremediation and biostimulation in enhancing habitat restoration and oil degradation of petroleum contaminated wetlands. *Ecological Engineering*, 10(3), 263–274.

- Lin, Q., & Mendelssohn, I. A. (2009). Potential of restoration and phytoremediation with *Juncus roemerianus* for diesel contaminated coastal wetlands. *Ecological Engineering*, 35(1), 85–91.
- Lin, X., Li, X., Sun, T., Li, P., Zhou, Q., Sun, L., & Hu, X. (2009). Changes in microbial populations and enzyme activities during the bioremediation of oil-contaminated soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83(4), 542–547.
- Lotfy, S. M., & Mostafa, A. Z. (2013). Phytoremediation of contaminated soil with cobalt and chromium. *Journal of Geochemical Exploration*, 144, 367–373.
- Lu, M., Zhang, Z., Sun, S., Wei, X., Wang, Q., & Su, Y. (2010). The use of goosegrass (*Eleusine indica*) to remediate soil contaminated with petroleum. *Water, Air, & Soil Pollution*, 209(1–4), 181–189.
- Lucas, Z., & Mac Gregor, C. (2006). Characterization and source of oil contamination on the beaches and seabird corpses, Sable Island, Nova Scotia, 1996–2005. *Marine Pollution Bulletin*, 52(7), 778–789.
- Luers, F., & Ten Hulscher, T. E. (1996). Temperature effect on the partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons between natural organic carbon and water. *Chemosphere*, 33(4), 643–657.
- Lung, W. S., Martin, J. L., & McCutcheon, S. C. (1993). Eutrophication analysis of embayments in Prince William sound, Alaska. *Journal of Environmental Engineering*, 119(5), 811–824.
- Macci, C., Doni, S., Peruzzi, E., Bardella, S., Filippis, G., Ceccanti, B. & Masciandaro, G. (2013) A real-scale soil phytoremediation. *Biodegradation*, 24, 521-538.
- Machate, T., Noll, H., Behrens, H., & Kettrup, A. (1997). Degradation of phenanthrene and hydraulic characteristics in a constructed wetland. *Water Research*, 31(3), 554–560.
- Mahmood, Q., Pervez, A., Zeb, B.S., Zaffar, H., Yaqoob, H., Waseem, M., Zahidullah & Afsheen, S. (2013) Natural treatment systems as sustainable ecotechnologies for the developing countries. *BioMed Research International*, 2013, 1-19.
- Makkar, R. S., & Rockne, K. J. (2003). Comparison of synthetic surfactants and biosurfactants in enhancing biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22(10), 2280–2292.
- Malakahmad, A., & Jaafar, N. (2013). Oil sludge contaminated soil bioremediation via composting using refinery treatment plant sludge and different bulking agents. In *Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC)*, 2013 I.E. (pp. 832–835). IEEE.
- Mary Agbogidi, O., Dickens Dolor, E., & Mercy Okechukwu, E. (2007). Evaluation of *Tectona grandis* (Linn.) and *Gmelina arborea* (Roxb.) for phytoremediation in crude oil contaminated soils. *Agriculturae Conspectus Scientificus (ACS)*, 72(2), 149–152.
- McGuinness, M., & Dowling, D. (2009). Plant-associated bacterial degradation of toxic organic compounds in soil. *International journal of environmental research and public health*, 6(8), 2226–2247.

- Meagher, R. B. (2000). Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Current Opinion in Plant Biology*, 3(2), 153–162.
- Meagher, R.B. (2000) Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Current opinion in plant biology*, 3 (2), 153–162.
- Mendelssohn, I. A., Andersen, G. L., Baltz, D. M., Caffey, R. H., Carman, K. R., Fleeger, J. W., & Rozas, L. P. (2012). Oil impacts on coastal wetlands: implications for the Mississippi River Delta ecosystem after the Deepwater Horizon oil spill. *BioScience*, 62(6), 562–574.
- Millett J, Godbold D, Smith A.R, Grant H. (2012) N₂ fixation and cycling in *Alnus glutinosa*, *Betula pendula* and *Fagus sylvatica* woodland exposed to free air CO₂ enrichment. *Oecologia*. 169(2):541-52
- Merkl, N., Schultze-Kraft, R., & Arias, M. (2005b). Influence of fertilizer levels on phytoremediation of crude oil-contaminated soils with the tropical pasture grass *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex a. rich.) stapf. *International Journal of Phytoremediation*, 7(3), 217– 230.
- Merkl, N., Schultze-Kraft, R., & Infante, C. (2004). Phytoremediation in the tropics—the effect of crude oil on the growth of tropical plants. *Bioremediation Journal*, 8(3–4), 177–184.
- Merkl, N., Schultze-Kraft, R., & Infante, C. (2005a). Phytoremediation in the tropics—influence of heavy crude oil on root morphological characteristics of graminoids. *Environmental Pollution*, 138(1), 86–91.
- Mkandawire, M., & Dudel, G. E. (2002). Uranium attenuation from tailing waters by floating macrophyte *Lemna gibba* L. In *Uranium in the aquatic environment* (pp. 623–630). Springer Berlin Heidelberg.
- Minkova V., Razvigorova M., Bjornbom E., Zanzi R., Petrova B. N. (2011) Effect of water vapour and biomass nature on the yield and quality of the pyrolysis products from biomass. *Fuel Processing Technology* 70, (1), 53-61
- Mohamad, R. S., Verrastro, V., Cardone, G., Bteich, M. R., Favia, M., Moretti, M., & Roma, R. (2014). Optimization of organic and conventional olive agricultural practices from a Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 70, 78–89.
- Molina-Barahona, L., Rodríguez-Vázquez, R., Hernández- Velasco, M., Vega-Jarquín, C., Zapata-Pérez, O., Mendoza- Cantú, A., & Albores, A. (2004). Diesel removal from contaminated soils by biostimulation and supplementation with crop residues. *Applied Soil Ecology*, 27(2), 165–175.
- Moreira, I. T., Oliveira, O. M., Triguís, J. A., dos Santos, A. M., Queiroz, A. F., Martins, C. M., ... & Jesus, R. S. (2011). Phytoremediation using *Rizophora mangle* L. in mangrove sediments contaminated by persistent total petroleum hydrocarbons (TPH's). *Microchemical Journal*, 99(2), 376–382.
- Moreira, I., Oliveira, O., Triguís, J., Dos Santos, A., Queiroz, A., Martins, C., Silva, C. & Jesus, R. (2011) Phytoremediation using *Rizophora mangle* L. in mangrove sediments contaminated by persistent total petroleum hydrocarbons (TPH's). *Microchemical Journal*, 99 (2). 376-382.

- Moreira, I., Oliveira, O., Triguís, J.A., Queiroz, A.F.S., Ferreira, S.L.C., Martins, C., Silva, A. & Falcão, B.A. (2012) Phytoremediation in mangrove sediments impacted by persistent total petroleum hydrocarbons (TPHs) using *Avicennia schaueriana*. *Marine pollution bulletin*, 67 (1-2), 130-136.
- Mullin, J. V., & Champ, M. A. (2003). Introduction/overview to in situ burning of oil spills. *Spill Science & Technology Bulletin*, 8(4), 323–330.
- Murakami, Y., Kitamura, S. I., Nakayama, K., Matsuoka, S., & Sakaguchi, H. (2008). Effects of heavy oil in the developing spotted halibut, *Verasper variegatus*. *Marine Pollution Bulletin*, 57(6), 524–528.
- Muratova A, Turkovskaia O, Hubner T, Kusch P. (2003) Efficiency of alfalfa and reed in the phytoremediation of hydrocarbon polluted soil *Prikl Biokhim Mikrobiol*. 39(6), 681-8.
- Ndimele, P. E. (2010). A review on the phytoremediation of petroleum hydrocarbon. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 13(15), 715.
- Ndimele, P. E., Kumolu-Johnson, C. A., & Anetekhai, M. A. (2011). The invasive aquatic macrophyte, water hyacinth -*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solm-Laubach: Pontedericeae}: problems and prospects. *Research Journal Environmental Sciences*, 5(6), 509–520.
- Nedunuri, K.V., Govindaraju, R.S., Banks, M.K., Schwab, A.P. & Chen, Z. (2000) Evaluation of phytoremediation for field-scale degradation of total petroleum hydrocarbons. *Journal of Environmental Engineering*, 126 (6), 483-490.
- Newman, L. & Reynolds, C. (2004) Phytoremediation of organic compounds. *Biotechnology*, 15 (3). 225-230.
- Nikolopoulou, M., Pasadakis, N., & Kalogerakis, N. (2007). Enhanced bioremediation of crude oil utilizing lipophilic fertilizers. *Desalination*, 211(1), 286–295.
- Noori, A. S., Zare Maivan, H., & Alaie, E. (2014). *Leucanthemum vulgare* Lam. germination, growth and mycorrhizal symbiosis under crude oil contamination. *International Journal of Phytoremediation*, 16(9), 962–970.
- O'Hara, P. D., & Morandin, L. A. (2010). Effects of sheens associated with offshore oil and gas development on the feather microstructure of pelagic seabirds. *Marine Pollution Bulletin*, 60(5), 672–678.
- O'Niell, W.L. & Nzengung, V.A. (2004) In-situ bioremediation and phytoremediation of contaminated soils and water: three case studies. *Environmental Research, Engineering and Management*, 4(30): 49-54.
- Olutayo, M. (2007). Effects of amendments and bioaugmentation of soil polluted with crude oil, automotive gasoline oil, and spent engine oil on the growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Scientific Research and Essays*, 2(5), 147–149.
- Omari, K., Revitt, M., Shutes, B. & Garelick, H. (2003) Hydrocarbon removal in an experimental gravel bed constructed wetland. *Water Science and Technology*, 48 (5), 275-281.
- Oropesa, A. L., Pérez-López, M., Hernández, D., García, J. P., Fidalgo, L. E., López-Beceiro, A., & Soler, F. (2007). Acetylcholinesterase activity in seabirds affected by the Prestige oil spill on the Galician coast (NW Spain). *Science of the Total Environment*, 372(2), 532–538.

- P. & Kaestner, M. (2011) Bioremediation of benzene-, MTBE-and ammonia-contaminated groundwater with pilot-scale constructed wetlands. *Environmental Pollution*, 159 (12), 3769-3776.
- Pardo, J., Perdomo, M. & Benavides, J. (2004) Efecto de la adición de fertilizantes inorgánicos compuestos en la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados con petróleo. *Nova*, 2 (2), 39 – 49.
- Pardue, M. J., Castle, J. W., Rodgers, J. H., Jr., & Huddleston, G. M., III. (2015). Effects of simulated oilfield produced water on early seedling growth after treatment in a pilot-scale constructed wetland system. *International Journal of Phytoremediation*, 17(4), 330–340.
- Paredes, D., Vélez, M., Kusch, P. & Mueller, R. (2007) Effects of type of flow, plants and addition of organic carbon in the removal of zinc and chromium in small-scale model wetlands. *Water Science & Technology*, 56 (3), 199-205.
- Patil, A.V., & Jadhav, J. P. (2013). Evaluation of phytoremediation potential of *Tagetes patula* L. for the degradation of textile dye Reactive Blue 160 and assessment of the toxicity of degraded metabolites by cytogenotoxicity. *Chemosphere*, 92(2), 225–232.
- Peña, J., Barrera, B., Ruiz, R. & Xoconostle, B. (2006) Bases moleculares de la fitorremediación de hidrocarburos totales de petróleo. *Terra Latinoamericana*, 24 (4), 529-539.
- Peng, S., Zhou, Q., Cai, Z. & Zhang, Z. (2009) Phytoremediation of petroleum contaminated soils by *Mirabilis Jalapa* L. in a greenhouse plot experiment. *Journal of Hazardous Materials*, 168 (2), 1490-1496.
- Peng, S., Zhou, Q., Cai, Z., & Zhang, Z. (2009). Phytoremediation of petroleum contaminated soils by *Mirabilis Jalapa* L. in a greenhouse plot experiment. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2), 1490–1496.
- Pérez, J., García, G. & Esparza, F. (2002) Papel ecológico de la flora rizosférica en fitorremediación. *Avance y Perspectiva*, 21. 297-300.
- Petenello, M. & Feldman, S. (2012) Evaluación de la tolerancia a suelos contaminados con aceite diesel en especies vegetales con potencial biorremediado. *Acta Biológica Colombiana*, 17 (3), 589-598.
- Pezeshki, S. R., Hester, M. W., Lin, Q., & Nyman, J. A. (2000). The effects of oil spill and clean-up on dominant US Gulf coast marsh macrophytes: a review. *Environmental Pollution*, 108(2), 129–139.
- Phillips, L., Greerb, C. & Germida, J. (2006) Culture-based and culture-independent assessment of the impact of mixed and single plant treatments on rhizosphere microbial communities in hydrocarbon contaminated flare-pit soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 38 (9), 2823-2833.
- Pirozzi, D., Fiorentino, N., Impagliazzo, A., Sannino, F., Yousuf, A., Zuccaro, G., Fagnano, M., (2015). Lipid production from *Arundo donax* under different agronomical conditions. *Renewable Energy* 77, 456-462.
- Pirozzi, D., Yousuf, A., Fagnano, M., Mori, M., Fiorentino, N., Impagliazzo, A., (2010). Lipids production by yeast grown on giant reed biomass. *J Biotechnol.* 150, 167- 178.

- Pradhan, S.P., Conrad, J.R., Paterek, J.R. & Srivastava, V.J. (1998) Potential of phytoremediation for treatment of PAHs in soil at MGP sites. *Journal of Soil Contamination*, 7 (4), 467-480.
- Rahman, M. A., & Hasegawa, H. (2011). Aquatic arsenic: phytoremediation using floating macrophytes. *Chemosphere*, 83(5), 633–646.
- Ramachandran, S. D., Swezey, M. J., Hodson, P. V., Boudreau, M., Courtenay, S. C., Lee, K., & Dixon, J. A. (2006). Influence of salinity and fish species on PAH uptake from dispersed crude oil. *Marine Pollution Bulletin*, 52(10), 1182–1189.
- Ramírez, M., Zapién, B., Zegarra, H., Rojas, N. & Fernández, L. (2009) Assessment of hydrocarbons biodegradability in clayed and weathered polluted soils. *International biodeterioration and biodegradation*, 63, 347-353.
- Ramos, D. T., Maranhão, L. T., Godoi, A. F. L., da Silva Carvalho Filho, M. A., Lacerda, L. G., & de Vasconcelos, E. C. (2009). Petroleum hydrocarbons rhizodegradation by *Sebastiania commersoniana* (BAILL.) L. B. SM. & Downs. *Water, Air, & Soil Pollution*, 9(3–4), 293–302.
- Rani, S.H.C., Din, M.F.M., Yusof, M.B.M. & Chelliapan, S. (2011) Overview of subsurface constructed wetlands application in tropical climates. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 1 (2), 103-114.
- Roldán-Martín, A., Calva-Calva, G., Rojas-Avelizapa, N., Díaz- Cervantes, M. D., & Rodríguez-Vázquez, R. (2007). Solid culture amended with small amounts of raw coffee beans for the removal of petroleum hydrocarbon from weathered contaminated soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 60(1), 35–39.
- Ron, E. Z., & Rosenberg, E. (2014). Enhanced bioremediation of oil spills in the sea. *Current Opinion in Biotechnology*, 27, 191–194.
- Roy, A. S., Baruah, R., Borah, M., Singh, A. K., Boruah, H. P. D.,
- Roy, A. S., Baruah, R., Gogoi, D., Borah, M., Singh, A. K., & Boruah, H. P. D. (2013). Draft genome sequence of *Pseudomonas aeruginosa* strain N002, isolated from crude oil-contaminated soil from Geleky, Assam, India. *Genome announcements*, 1(1), e00104–e00112.
- Saikia, N.,...& Bora, T. C. (2014). Bioremediation potential of native hydrocarbon degrading bacterial strains in crude oil contaminated soil under microcosm study. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 94, 79–89.
- Salt, D. E., Smith, R. D., & Raskin, I. (1998). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 49(1), 643–668.
- Sánchez, F., Velasco, F., Cartes, J. E., Olaso, I., Preciado, I., Fanelli, E., & Gutierrez-Zabala, J. L. (2006). Monitoring the Prestige oil spill impacts on some key species. *Marine Pollution Bulletin*, 53, 332–349.
- Sandhu, A., Halverson, L. J., & Beattie, G. A. (2007). Bacterial degradation of airborne phenol in the phyllosphere. *Environmental Microbiology*, 9(2), 383–392.
- Sangabriel, W., Ferrera, R., Trejos, A., Mendoza, M., Cruz, J. & Alarcón A. (2006) Tolerancia y capacidad de fitorremediación de combustóleo en el suelo por seis especies vegetales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 22 (2), 63-73.

- Sanusi, S. N. A., Abdullah, S. R. S., & Idris, M. (2012). Preliminary test of phytoremediation of hydrocarbon contaminated soil using *Paspalum Vaginatatum* Sw. Australian Journal of Basic & Applied Sciences, 6(1).
- Sarkar, D., Ferguson, M., Datta, R., & Birnbaum, S. (2005). Bioremediation of petroleum hydrocarbons in contaminated soils: comparison of biosolids addition, carbon supplementation, and monitored natural attenuation. Environmental pollution, 136(1), 187–195.
- Schnoor, J. L. (1997). Phytoremediation. Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center (GWRTAC).
- Schnoor, J.L. (1997) Phytoremediation, Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center Technology Evaluation Report, TE-98-01, October 1997, [http:// www.clu-in.org/download/toolkit/phyto_e.pdf](http://www.clu-in.org/download/toolkit/phyto_e.pdf)
- Schwitzguébel, J.-P., Comino, E., Plata, N. & Khalvati, M. (2011) Is phytoremediation a sustainable and reliable approach to clean-up contaminated water and soil in Alpine areas? Environmental Science and Pollution Research, 18 (6), 842-856.
- Sierra-Garcia, I. N., & de Oliveira, V. M. (2013). Microbial Hydrocarbon Degradation: Efforts to Understand Biodegradation in Petroleum Reservoirs.
- Spaczyński, M., Seta-Koselska, A., Patrzył, P., Betlej, A. & Skórzyńska-Polit, E. (2012) Phytodegradation and biodegradation in rhizosphere as efficient methods of reclamation of soil contaminated by organic chemicals (a review). Acta Agrophysica, 19 (1), 155-169.
- Spier, C., Stringfellow, W. T., Hazen, T. C., & Conrad, M. (2013). Distribution of hydrocarbons released during the 2010 MC252 oil spill in deep offshore waters. Environmental Pollution, 173, 224–230.
- Suja, F., Rahim, F., Taha, M. R., Hambali, N., Rizal Razali, M., Khalid, A., & Hamzah, A. (2014). Effects of local microbial bioaugmentation and biostimulation on the bioremediation of total petroleum hydrocarbons (TPH) in crude oil contaminated soil based on laboratory and field observations. International Biodeterioration & Biodegradation, 90, 115– 122.
- Sun, T., Cang, L., Wang, Q., Zhou, D., Cheng, J. & Xu, H. (2010) Roles of abiotic losses, microbes, plant roots, and root exudates on phytoremediation of PAHs in a barren soil. Journal of Hazardous Materials 176 (1), 919-925.
- Susarla, S., Medina, V. & McCutcheon, S. (2002) Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. Ecological Engineering, 18 (5), 647-658.
- Sverdrup, L., Henning, P., Nielsen, T., Kjær, C. & Stenersen, J. (2003) Toxicity of eight polycyclic aromatic compounds to red clover (*Trifolium pratense*), ryegrass (*Lolium perenne*), and mustard (*Sinapis alba*). Chemosphere, 53 (8), 993-1003.
- Syed, K., Doddapaneni, H., Subramanian, V., Lam, Y. W., & Yadav, J. S. (2010). Genome-to-function characterization of novel fungal P450 mono-oxygenases oxidizing polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Biochemical and biophysical research communications, 399(4), 492–497.
- Tara, N., Afzal, M., Ansari, T. M., Tahseen, R., Iqbal, S., & Khan, Q. M. (2014). Combined use of alkane-degrading and plant growth-promoting bacteria enhanced phytoremediation of diesel contaminated soil. International Journal of Phytoremediation, 16(12), 1268–1277.

- Thawale, P. R., Juwarkar, A. A., & Singh, S. K. (2006). Resource conservation through land treatment of municipal wastewater. *Current Science*, 90(5), 704–711.
- Toyama, T., Furukawa, T., Maeda, N., Inoue, D., Sei, K., Mori, K., Kikuchi, S. & Ike, M. (2011) Accelerated biodegradation of pyrene and benzo[a]pyrene in the *Phragmites australis* rhizosphere by bacteria-root exudate interactions. *Water research*, 45 (4), 1629-1638.
- Tromp, K., Lima, A.T., Barendregt, A. & Verhoeven, J.T.A. (2012) Retention of heavy metals and poly-aromatic hydrocarbons from road water in a constructed wetland and the effect of de-icing. *Journal of hazardous materials*, 203, 290-298.
- U.S. EPA (2000) Introduction to phytoremediation. EPA 600-R- 99-107, Office of Research and Development. <http://clu-in.org/download/remed/introphyto.pdf>.
- Unterbrunner, R., Wieshammer, G., Hollender, U., Felderer, B., Wieshammer-Zivkovic, M., Puschenreiter, M., & Wenzel, W. W. (2007). Plant and fertiliser effects on rhizodegradation of crude oil in two soils with different nutrient status. *Plant and Soil*, 300(1–2), 117–126.
- Urum, K., & Pekdemir, T. (2004). Evaluation of biosurfactants for crude oil contaminated soil washing. *Chemosphere*, 57(9), 1139–1150.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency (1999) Phytoremediation resource guide. Solid waste and emergency response. June.
- Van Deeps, A. (2006) Phytoremediation of petroleum hydrocarbons. United States Environmental Protection Agency - USEPA. Office of Solid Waste and Emergency Response and Office of Superfund Remediation and Technology Innovation. Washington, D.C.
- Van Epps, A. (2006). Phytoremediation of petroleum hydrocarbons. Environmental Protection Agency, US.
- Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Adriaensen, K., Ruttens, A., Thewys, T., Vassilev, A., Meers, E. & Nehnevajova, E. (2009) Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. *Environmental Science and Pollution Research*, 16 (7), 765-794.
- Vanier, S. & Dahab, M. (2001) Start up performance of a subsurface-flow constructed wetland for domestic wastewater treatment. *Environmental Technology*, 22 (5), 587-596.
- Venegas A., Rigol A., Vidal M., 2015. Viability of organic wastes and biochars as amendments for the remediation of heavy metal-contaminated soils. *Chemosphere*, 119, 190–198.
- Venosa, A. D., & Zhu, X. (2003). Biodegradation of crude oil contaminating marine shorelines and freshwater wetlands. *Spill Science & Technology Bulletin*, 8(2), 163–178.
- Verhoeven, J.T.A. & Meuleman, A.F.M. (1999) Wetlands for wastewater treatment: Opportunities and limitations. *Ecological Engineering*, 12 (1), 5-12.
- Viñas, L., Franco, M. A., Soriano, J. A., González, J. J., Ortiz, L., Bayona, J.M., & Albaigés, J. (2009). Accumulation trends of petroleum hydrocarbons in commercial shellfish from the Galician coast (NW Spain) affected by the Prestige oil spill. *Chemosphere*, 75(4), 534–541.
- Vigil, M., Marey-Pérez, M. F., Huerta, G. M., & Cabal, V. Á., 2015. Is phytoremediation without biomass valorization sustainable? Comparative LCA of

landfilling vs. anaerobic co-digestion. *Science of the Total Environment*, 505, 844-850.

- Vymazal, J. (2007) Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, 380 (1), 48-65.
- Vymazal, J. (2011) Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Five Decades of Experience. *Environmental science & technology*, 45 (1), 61-69.
- Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Haberl, R., Perfler, R. & Laber, J. (1998) Removal mechanisms and types of constructed wetlands. In: Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B. & Haberl, R. (Ed), *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe*. Backhuys -Publishers, Leiden, The Netherlands, 17-66.
- Wallace, S. & Kadlec, R. (2005) BTEX degradation in a cold-climate wetland system. *Water Science and Technology*, 51(9), 165-172.
- Walls, W. D. (2010). Petroleum refining industry in China. *Energy Policy*, 38(5), 2110-2115.
- Wang, J., Liu, X., Zhang, X., Liang, X., & Zhang, W. (2011). Growth response and phytoremediation ability of Reed for diesel contaminant. *Procedia Environmental Sciences*, 8, 68- 74.
- Wang, M. C., Chen, Y. T., Chen, S. H., Chien, S. C., & Sunkara, S. V. (2012). Phytoremediation of pyrene contaminated soils amended with compost and planted with ryegrass and alfalfa. *Chemosphere*, 87(3), 217-225.
- Weatherly, A., Ballesteros, T. & Gardner, K. (2006) Uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in salt marsh plants *Spartina alterniflora* grown in contaminated sediments. *Chemosphere*, 62 (8), 1253-1260.
- White, P. M., Jr., Wolf, D. C., Thoma, G. J., & Reynolds, C. M. (2006). Phytoremediation of alkylated polycyclic aromatic hydrocarbons in a crude oil-contaminated soil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 169(1-4), 207-220.
- White, P. M., Jr., Wolf, D. C., Thoma, G. J., & Reynolds, C. M. (2003). Influence of organic and inorganic soil amendments on plant growth in crude oil-contaminated soil. *International journal of phytoremediation*, 5(4), 381-397.
- Wiebner, A., Kusch, P., & Stottmeister, U. (2002). Oxygen release by roots of *Typha latifolia* and *Juncus effusus* in laboratory hydroponic systems. *Acta Biotechnologica*, 22(1-2), 209-216.
- Wiese, F. K., & Ryan, P. C. (2003). The extent of chronic marine oil pollution in south eastern Newfoundland waters assessed through beached bird surveys 1984-1999. *Marine Pollution Bulletin*, 46(9), 1090-1101.
- Wiltse, C. C., Rooney, W. L., Chen, Z., Schwab, A. P., & Banks, M. K. (1998). Greenhouse evaluation of agronomic and crude oil-phytoremediation potential among alfalfa genotypes. *Journal of Environmental Quality*, 27(1), 169-173.
- Woo S.L., Lorito M., 2007. Exploiting the interactions between fungal antagonists, pathogens and the plant for biocontrol. In: Vurro M., Gressel J. (Eds.), *Novel Biotechnologies for Biocontrol Agent Enhancement and Management*. IOS, Springer Press, Amsterdam, the Netherlands, 107-130.

- Xiu, M., Pan, L., & Jin, Q. (2014). Bioaccumulation and oxidative damage in juvenile scallop *Chlamys farreri* exposed to benzo [a] pyrene, benzo [b] fluoranthene and chrysene. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 107, 103–110.
- Xu, L., Teng, Y., Li, Z. G., Norton, J. M., & Luo, Y. M. (2010). Enhanced removal of polychlorinated biphenyls from alfalfa rhizosphere soil in a field study: the impact of a rhizobial inoculum. *Science of the Total Environment*, 408(5), 1007– 1013.
- Yang, C. H., & Crowley, D. E. (2000). Rhizosphere microbial community structure in relation to root location and plant iron nutritional status. *Applied and environmental microbiology*, 66(1), 345–351.
- Yang, S. Z., Jin, H. J., Wei, Z., He, R. X., Ji, Y. J., Li, X. M., & Yu, S. P. (2009). Bioremediation of oil spills in cold environments: a review. *Pedosphere*, 19(3), 371–381.
- Yenn, R., Borah, M., Boruah, H. D., Roy, A. S., Baruah, R., Saikia, N., & Tamuli, A. K. (2014). Phytoremediation of abandoned crude oil contaminated drill sites of assam with the aid of a hydrocarbon-degrading bacterial formulation. *International Journal of Phytoremediation*, 16(9), 909–925.
- Zengel, S. A., Michel, J., & Dahlin, J. A. (2003). Environmental effects of in situ burning of oil spills in inland and upland habitats. *Spill Science & Technology Bulletin*, 8(4), 373–377.
- Zhang, T., Xu, D., He, F., Zhang, Y. & Wu, Z. (2012) Application of constructed wetland for water pollution control in China during 1990-2010. *Ecological Engineering*, 47 (0), 189-197.
- Zhang, Z., Rengel, Z. & Meney, K. (2010) Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) differentially influence growth of various emergent wetland species. *Journal of hazardous materials*, 182 (1), 689-695.
- Zhang, Z., Rengel, Z., Chang, H., Meney, K., Pantelic, L. & Tomanovic R. (2012) Phytoremediation potential of *Juncus subsecundus* in soil contaminated with cadmium and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs). *Geoderma*, 175-176, 1-8.
- Zheng, M., Ahuja, M., Bhattacharya, D., Clement, T. P., Hayworth, J. S., & Dhanasekaran, M. (2014). Evaluation of differential cytotoxic effects of the oil spill dispersant Corexit 9500. *Life sciences*, 95(2), 108–117.
- Zhu, G., Jetten, M.S.M., Kusch, P., Ettwig, K.F. & Yin, C. (2010) Potential roles of anaerobic ammonium and methane oxidation in the nitrogen cycle of wetland ecosystems. *Applied microbiology and biotechnology*, 86 (4), 104

TABELLE

Tabella 1 Progetti di fitorimediazione su acque sotterranee contaminate

Tabella 2 Piante terrestri individuate per progetti di fitorimediazione su suoli contaminati da idrocarburi

Tabella 3. Uso di fitorimediazione per la decontaminazione del suolo da idrocarburi

Tabella 1 PROGETTI DI FITORIMEDIO SU ACQUE SOTTERRANEE CONTAMINATE				
CONTAMINANTE	SPECIE VEGETALE UTILIZZATA	IMPIANTO	EFFICACIA	RIFERIMENTO
Acqua sotterranea contaminata con etanolo benzina	<i>Salix babylonica</i>	VF	Riduzione di etanolo e benzene > 90%. Composti tossici per macrofita in concentrazioni maggiori di 2000 mg/l	Corseuil & Moreno (2001)
Acque reflue contaminate con gasolio	<i>Typha latifolia – Lemna minor</i>	FSB	Efficienza di rimozione tra 80, 78 e 72% a livello di superficie, media e parte inferiore del bacino	Omari et al.(2003)
Acque sotterranee con idrocarburi e cianuro	<i>Ceratophyllum demersum e Potamageton spp</i>	FS	Rimozione del 67% di benzina e diesel	Gessner et al. (2005)
Effluenti del processo di raffinazione - BTEX	<i>Salix, Phragmites, Schoenoplectus, Juncus and Cornus.</i>	FSB areati e non areati	Ricerca fatta sul pilota e scale reali; le maggiori efficienze di rimozione sono state trovate nelle zone umide ventilate; le rimozioni di BTEX hanno raggiunto il 94%.	Wallace & Kadlec (2005)
Acque sotterranee con BTEX e diesel	<i>Salix, Phragmites, Scirpus, Juncus, Cornus</i>	FV areati	Rimozione fino di BTEX all'88%; riduzione del benzene tra il 13 ed il 21%.	Bedessem et al. (2007)
Acque più sporche contaminate dal benzene	<i>Phragmites australis</i>	FV	Rimozione di benzene dell'85%; nelle zone umide con presenza di biomassa vegetale la rimozione ha richiesto la metà del tempo rispetto a quanto riportato per le zone umide senza biomassa; il meccanismo di rimozione predominante era la fitovolatilizzazione.	Eke & Scholz (2008)
Effluente AR di un trattamento primario con IPA ed equilbenzene	<i>Phragmites australis, Arudo donax</i>	FS, FSB	L'FSB presentava migliori efficienze rispetto agli altri sistemi valutati; il meccanismo di Fitodegradazione era predominante.	Fountoulakis et al. (2009)
Contaminati con benzene e MTBE in acque sub-superficiali	<i>Phragmites australis</i>	FSBO	Sistemi di suoli umidi comparati con aree a ghiaia e piante. Le maggiori efficienze di rimozione erano riscontrabili nelle zone umide a fragmiteto.	Seeger et al. (2011)
Acque grigie di deflusso con idrocarburi e metalli pesanti provenienti da veicoli	<i>Phragmites australis</i>	FV	rimozione dei composti al 90-95%	Tromp et al. (2012)
Acque sotterranee contaminate con benzene e MTBE	<i>Phragmites australis.</i>	VF, FSB (piantati e non piantati)	L'VF congiuntamente all'FBS piantato presentava efficienze di rimozione simili	Chen et al. (2012)
Acque reflue con diesel ed idrocarburi	<i>Scirpus grossus</i>	FSB	Concentrazioni tossiche > 17400 mg/l di gasolio; rimozione del 91,5%. Incremento della flora microbica a livello della rizosfera con l’aumento delle concentrazioni di idrocarburi.	Al-Baldawi et al. (2013)
Acque reflue da raffinerie	<i>Ceratophyllum demersum</i>	----	L'impianto aveva presentato efficienze> 80%. Il principale meccanismo di rimozione era stato la fitoestrazione.	Alwan et al. (2013)
Sedimenti di fiumi ricchi in metalli pesanti	<i>Phragmites australis.</i>	----	P. australis è efficiente nel traslocare e nel bioaccumulare metalli pesanti	Cicero-Fernández et al. 2016

LEGENDA: FS: impianti a flusso superficiale; FSB: impianti a flusso subsurfaciale; FSBO: impianti a flusso subsurfaciale orizzontale; FV: impianti a flusso verticale; VF: impianti a vegetazione flottante

Tabella 2 PIANTE TERRESTRI INDIVIDUATE PER PROGETTI DI FITORIMEDIO SU SUOLI CONTAMINATI DA IDROCARBURI				
SPECIE	CONCENTRAZIONE INIZIALE DI IDROCARBURI	% DI RIMOZIONE	DURATA DELL'AZIONE	RIFERIMENTI
<i>Mirabilis Jalapa</i>	10.000 mg/kg-1	41,61-63,20 %	127 giorni	(Peng et al. 2009)
<i>Impatiens balsamina</i>	5000-10.000 mg/kg-1	18,13-65,03 %	4 mesi	(Cai et al. 2010)
<i>Canna indica</i>	400-495 mg.kg-1	80%	21 giorni	(Boonsaner et al. 2011)
<i>Chromolaena odorata</i>	50.000 mg.kg-1	80%	180 giorni	(Atagana 2011)
<i>Biden pilosa</i>	30.000 mg.kg-1	9%	64 giorni	(Kuo et al. 2013)
<i>Tectona grandis</i>	1-15 % (w/w) /suolo	risultati incerti	3 mesi	(Mary Agbogidi et al. 2007)
<i>Tectona grandis</i> <i>Gmelina arborea</i> <i>Azadirachta indica</i> <i>Michelia champaca</i>	15,1-32,8 % (w/w) /suolo	risultati incerti	non conosciuto	(Yenn et al. 2014)
<i>Sebastiania commersoniana</i>	25-75 g.kg-1	94%	424 giorni	(Ramos et al. 2009)
<i>Zea mays</i> <i>Glycine max</i>	10-100 g.kg-1	risultati incerti	28 giorni	(Issoufi et al. 2006)
<i>Lolium arundinaceum</i> <i>Lolium multiflorum</i> <i>Cynodon dactylon</i>	9,175 mg.kg-1	risultati incerti	-.-.-	(White et al. 2006)
<i>Lolium multiflorum</i>	6000 mg.kg-1	59%	80 giorni	(Alarcón et al. 2008)
<i>Cyperus rotundus</i>	2,05-10,2 % (w/w) /suolo	32,6-50,01 %	180 giorni	(Basumatary et al. 2012a)
<i>Cyperus brevifolius</i>	8 % (w/w) /suolo	61,2-86,2	360 giorni	(Basumatary et al. 2012b)
<i>Brachiaria brizantha</i> <i>Centrosema brasilianum</i> <i>Calopogonium mucunoides</i> <i>Astragalus membranaceus</i> <i>Aeschynomene indica</i>	5 % (w/w) /suolo	0	180 giorni	(Merkel et al. 2004)
<i>Panicum bisulcatum</i>		77-99 %	80 giorni	(Lee et al. 2008)
<i>Medicago sativa</i>	20 g.kg-1	33 to 56 %	1 anno	(Wiltse et al. 1998)

Tabella 3.

USO DI FITORIMEDIO PER LA DECONTAMINAZIONE DEL SUOLO DA IDROCARBURI

CONTAMINANTI NEL SUOLO	SPECIE VEGETALI UTILIZZATE	RISULTATI	RIFERIMENTI
Suolo inquinato da HTP	<i>Lolium multiflorum</i>	Efficienza di rimozione> 97% in idrocarburi totali; maggiore presenza di microrganismi rispetto ai terreni non impiantati.	Gunter et al. (1996)
Presenza di IPA	<i>Medicago sativa</i> , <i>Panicum virgatum</i> , <i>Schizachyrium scoparium</i>	L'impianto ha mostrato efficienze di rimozione del 50% nel giro di 6 mesi	Prahand et al. (1998)
Suoli inquinati da idrocarburi	<i>Phragmites australis</i> e <i>Medicago sativa</i>	incremento della degradazione di idrocarburi e aumento dell'attività microbica	Muratova A et al. (2003)
Sedimenti marini con IPA	<i>Spartina alterniflora</i>	La maggiore concentrazione di contaminante è stata trovata nelle radici e negli steli rispettivamente con due e tre ordini di grandezza rispetto alla concentrazione del suolo. Buona parte dei contaminanti hanno aderito alla superficie della radice (zona corticale).	Weatherly et al.(2006)
Fuoriuscita accidentale di olio combustibile sul terreno.	Leguminose (<i>Clitoria ternatea</i> , <i>Phaseolus coccineus</i> e <i>Cicer arietinum</i>), Gramíneae (<i>Brachiaria ibrido</i> , <i>Urochloa brizantha</i> , <i>Panicum maximum</i>)	Le graminacee hanno tollerato facilmente gli inquinanti. Il meccanismo predominante è stata la rizovolatilizzazione. U. brizantha è risultata la specie più efficiente	Sangabriel et al. (2006)
suoli contaminati da idrocarburi	alcune gramíneae – principalmente <i>Medicago sativa</i>	Sono stati ottenuti rimozioni > 50%. L'erba medica ha presentato un effetto stimolante sui microrganismi.	Phillips et al. (2006)
suoli contaminati da penantrene e pirene	<i>Echinogalus</i> e <i>Astragalus membranaceus</i>	I composti studiati non sono risultati tossici per le leguminose utilizzate. Il degrado dei contaminanti da parte delle piante è attribuibile all'aumento dei microrganismi nella rizosfera e alla loro attività microbica	Lee et al. (2008)
Idrocarburi da giacimenti petroliferi	<i>Mirabilis jalapa</i>	Rimozione tra il 40-60% e il 19-37% rispettivamente in condizioni naturali ed in serra. Effetti tossici da 10000 mg / Kg in su.	Peng et al. (2009)
Sedimenti di mangrovieti contaminate da idrocarburi totali	<i>Rizophora mangle</i> e <i>Avicennia schaueriana</i>	Il fitorimedio presentata una notevole efficienza nella rimozione dei contaminanti (87%) e le piante hanno presentato una crescita maggiore rispetto alle zone non contaminate. Il meccanismo di rimozione predominante è stata la rizodegradazione	Moreira et al. (2011; 2012)
suoli contaminati da BTEX	<i>Canna</i> specie varie	L'impianto può ottenere la rimozione dell'80% di BTEX. Il meccanismo di rimozione predominante è la fitoestrazione. È necessario prendere in considerazione il contenuto di acqua del suolo perché influisce sul meccanismo di fitodepurazione	Boosaner et al. (2011)
suoli contaminati da idrocarburi e metalli pesanti	<i>Populus nigra</i> , <i>P. tomentosa</i> , <i>Salix ssp</i> , <i>Citrus scoparius</i>	Sperimentazione su scala reale (1 ettaro). La riduzione degli idrocarburi ha raggiunto il 40% in tre anni. Aumento della deidrogenasi nei suoli che indica una forte attività microbica	Macci et al. (2013)
Terreno contaminato con gasolio	<i>Pinus densiflora</i> , <i>Populus tomentiglandulosa</i> , <i>Thuja orientalis</i>	Le specie valutate hanno tollerato concentrazioni di gasolio di 6000 mg / Kg. I consorzi microbici e l'aggiunta di fertilizzanti hanno migliorato l'efficienza del processo.	Jagtap et al. (2014)

ALLEGATI

CV Specialista Biologo botanico



Dati personali	
Luogo e data di nascita	Milano, 14-01-1962
Indirizzo	Via Matteotti 09, CAP 20060, GESSATE (Mi), Italia
Telefoni	Cell. 3403364799, ufficio UniMi 0250316599
e-mail	stefano.gomarasca@quest.unimi.it ;
p. I.V.A.	13081570155
Patente	In possesso di patente B

Servizio Militare	
1986-1988	servizio civile sostitutivo presso VIRTUS Verona come educatore di ragazzi con problemi famigliari a vari livelli

Formazione	
	Laurea in Scienze Biologiche (vecchio ordinamento) con votazione di 103/110 presso l'Università Statale degli Studi di Milano

Attività di ricerca in ambito universitario	
2019- termine 2021	Responsabile per la parte dei rilievi vegetazionali, indicatori di qualità delle acque e dei suoli, valutazione dei servizi eco sistemici – A.R.E.T.E' – Acqua in Rete - gestione virtuosa della risorsa idrica e degli agro ecosistemi per l'incremento del capitale naturale . Parco Lombardo della Valle del Ticino, Ente gestore aree protette del Ticino e del Lago Maggiore, Provincia di Pavia, Associazione Est Sesia, Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi, Università degli Studi di Milano, CNR IRSA, Legambiente Lombardia, Soc di Sci. Nat. Verbano Cusio Ossola. <i>Finanziamento Fondazione Cariplo</i>
2019- termine 2021	Responsabile per la parte dei rilievi vegetazionali, indicatori di qualità delle acque ReLambro SE, Rete Ecologica Lambro Metropolitano Sud Est . ERSAF Lombardia, Politecnico di Milano DASTU, Parco Nord Milano, Università degli Studi di Milano, CNR IRSA, Istituto Nazionale di Urbanistica, Legambiente Lombardia, Associazione Grande Forlanini, Comune di Milano, Comune di Segrate, Comune di Melegnano, Comune di Peschiera Borromeo, comune di San Donato Milanese. <i>Finanziamento Fondazione Cariplo</i>



2018-2019	Coordinatore del progetto PerBio – Valutazione della perdita di biodiversità nelle acque interne minori lombarde . UniMI – CNR IRSA. Finanziamento Fondazione Cariplo
2018	Socio fondatore dello spin-off del Politecnico di Milano – Lympha Ingegnous
Gennaio – Aprile 2018	Partecipazione al progetto STRUNA - Struttura Natura - bioreattori e coltivazione di microalghe all'interno dell'opera. - <i>Triennale di Milano mostra 999 - una collezione di domande sull'abitare contemporaneo, mostra mutante e collaborativa.</i> <i>Fuori salone del Mobile di Milano</i> - Prof. Ingrid Paoletti – Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito (ABC)- Politecnico di Milano e Scienze e Politiche Ambientali (DISPA) dell'Università degli studi di Milano
2016-2019	PARTECIPAZIONE AL PROGETTO DI FONTANILE IN FONTANILE (DIFOINFO) - Responsabile per la parte dei rilievi vegetazionali, indicatori di qualità delle acque e dei suoli (Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi, Università degli Studi di Milano, CNR IRSA, Legambiente Lombardia, Comuni di Liscate, Vignate, Peschiera Borromeo, Pantigliate, Rodano - cofinanziamento Fondazione CARIPLO responsabile Prof. S. Bocchi, Dip. di Scienze e Politiche Ambientali (DESP) dell'Università degli Studi di Milano
2016-2017	Collaborazione con gruppo RICICLA (DISAA UniMI) Coltivazione di alghe in condizioni di mixotrofia e risposte fisiologico.adattative ad alti contenuti di carbonio.
2016-2017	Valutazione degli stadi di crescita di <i>Thinopyrum intermedium</i> Collaborazione con Prof. S. Bocchi, Dip. Dip. di Scienze e Politiche Ambientali (DESP) dell'Università degli studi di Milano
2015-2017	Risposte di popolazioni microalgali naturali ad alcune classi di microinquinanti emergenti. Collaborazione con Prof. M. Iriti, Dip. di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia dell'Università degli studi di Milano (correlatore di tesi sull'argomento).
2013-2015	Analisi dei processi evolutivi del territorio della provincia di Milano con lo scopo di identificare e progettare biocorridoi tra Parco del Ticino e Parco dell'Adda Sud, puntando l'attenzione sul reticolo idrico minore ed il sistema dei fontanili: Responsabile per la parte dei rilievi vegetazionali, indicatori di qualità delle acque. Progetto cofinanziato da Fondazione CARIPLO: 100 Fontanili dall'Adda al Ticino. Sistemi ambientali di connessione per la rete ecologica. Partner di progetto: Provincia di Milano, Università degli Studi di Milano, CNR IRSA, Consorzio di Bonifica Est Villoresi, Legambiente Lombardia. (correlatore di tesi sull'argomento).
2013-2015	Individuazione dei meccanismi di trasporto e di accumulo di alcuni contaminanti emergenti nella filiera produttiva del riso. Collaborazione con il Dip. di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia dell'Università degli studi di Milano, CNR IRSA Brughiero, Istituto Mario Negri Milano. (correlatore di tesi sull'argomento).
2012-2013	Collaborazione con la Prof.ssa Mezzanotte, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca. Analisi delle componenti diatomiche nell'ambito del Progetto di Sperimentazione sul Deflusso Minimo Vitale (DMV) nell'alto corso del



	fiume Serio.
2011-2012	Collaborazione con Prof. J. Komarek del "Centre for Polar Ecology, Czech Republic" per la revisione sistematica di alcuni gruppi di Cyanophyte riscontrate nei fontanili lombardi.
2009-2012	Sistema per la tutela e la valorizzazione dei fontanili del territorio Lombardo (FonTe). Progetto finanziato da D.G. Agricoltura e D.G. Qualità Ambiente- Regione Lombardia. Collaborazione con Dip di Ingegneria Agraria Fac. Agraria (Uni. MI) (Prof. Ing A Toccolini, Prof. Ing. C. Gandolfi, Prof. Ing. G.B. Bischetti) e Dr. Ing. G Negri di URBIM.
2010	Applicazione degli Indici di Funzionalità Fluviale sul percorso del fiume Olona. Progetto ARPA Lombardia- Dipartimento di Varese e Dipartimento di Biologia Uni. Mi. (sono stato correlatore di una tesi sull'argomento)
2009-2010	Genetica di popolazione e risposte ecologiche di <i>Themeda triandra</i> in alcune regioni del Kenya. Collaborazione con Prof. S. Bocchi (Dip di Agronomia Fac. Agraria . Uni. MI) e con il Dr. L. Gianfranceschi (Dip. Di Biologia Uni. Mi) (sono stato correlatore di tesi sull'argomento)
2009-2010	Studio degli agro-ecosistemi nell'ambito del Masterplan " Expo Milano 2015" Incarico da parte della Facoltà di Agraria dell'Università di Milano http://www.stefanoboeriarchitetti.net/?p=3001&lang=it
2008-2010	Realizzazione di un sistema informativo ambientale per la stima del valore ecologico delle coperture di suolo nel territorio della pianura lombarda. Progetto sostenuto finanziariamente da D.G. Qualità Ambiente - Regione Lombardia. Collaborazione con Prof. S. Bocchi (Dip di Agronomia Fac. Agraria . Uni. MI) e Prof. Ing. P. Pileri (Politecnico di Milano)
2009	Interpretazione funzionale degli ecosistemi acquatici attraverso la valutazione di caratteristiche fenotipiche e fisiologiche di alcune specie di idrofite. Collaborazione con il Prof. B. Cerabolini, Uni. Insubria - Varese
2009	Soggiorno presso il Kew Garden – Wakehurst. (Ardingly Haywards Heath, UK). Apprendimento delle tecniche di insegnamento della botanica elaborate dal personale del Kew Garden
2009	Indagine sui consumi di suolo in Lombardia. Progetto finanziato da Fondazione Cariplo. Collaborazione con Prof. Ing. P. Pileri (Politecnico di Milano).
2008-2009	Produzione di bioetanolo da <i>Arundinoideae</i> Progetto sostenuto finanziariamente da M.I.P.P.A.F.. Collaborazione con Dipartimento di Biologia (Prof. C. Soave, Prof. M. Katter), Dip di Agronomia Fac. Agraria (Uni.MI) (Prof. S. Bocchi, Prof. F. Salamini) e C.R.A., Bologna (Dr. Di Candilo) (sono stato correlatore di tesi sull'argomento)
2008-2009	Ruolo allelopatico dei flavonoidi del genere <i>Primula</i> Collaborazione con Dipartimento di Biologia (Dr.sa Gelsomina Fico) – Uni. Mi. (sono stato correlatore di tesi sull'argomento)



2007	Risposte di piante acquatiche all'attività di alcuni diserbanti. Collaborazione con Dipartimento di Biologia (Prof.ssa S. Galassi), Dip. Patologia vegetale (Prof. F. Faoro, Dr. M. Iriti) - Uni. Mi. - (sono stato correlatore di tesi sull'argomento)
2006-2007	Studio di popolazioni di <i>Callitriche</i> nel territorio Lombardo e revisione sistematica del gruppo. Collaborazione con il Prof. E. Banfi (Museo di Storia Naturale di Milano) e Prof. S. Castiglione (Fac. Di Scienze Ambientali Univ. di Salerno) (sono stato correlatore di tesi sull'argomento)
2006-2007	Studio della variabilità genetica delle popolazione di <i>Prunus serotina</i> nel contesto del territorio lombardo. Collaborazione con il Prof. S. Castiglione (Fac. Di Scienze Ambientali Univ. di Salerno).
2005-2007	Valutazione della traspirazione fogliare attraverso analisi nell'infrarosso termico per testare potenziali sostanze a funzione antitraspirante. Collaborazione con Dipartimento di Biologia (Prof. C. Soave), Dip. di Fisica (Dr. N. Ludwig), Dip. Patologia vegetale (Prof. F. Faoro, Dr. M. Iriti) - Uni. Mi.- (sono stato correlatore di tesi sull'argomento)
2005-2007	Elaborazione di nuovi indici ecologici per la valutazione della qualità di aree boscate "relitte" in contesto agricolo. Collaborazione con il Prof. S. Bocchi (Fac. di Agraria Uni.Mi), Dr. Ing.P. Pileri (Politecnico di Milano), Prof. M. Cotta Ramusino (Dip. Biologia Uni. Mi.) (sono stato correlatore di tesi sull'argomento)
2005- 2007	Studio e messa a punto di nuovi Indicatori Macrofitici per la valutazione della qualità biologica di acque correnti (così come previsto dalla D.L. 2000/60 UE e dal D.Leg. 152/2006). Il progetto, sostenuto economicamente ed operativamente da Regione Lombardia e A.R.P.A Lombardia, è frutto di collaborazione con altri gruppi di ricerca italiani (La Sapienza- Roma). (sono stato correlatore di tesi sull'argomento)
2005-2006	Caratterizzazione di regolatori dell'attività H⁺ATPasica in <i>Arabidopsis thaliana</i>. Collaborazione con Dr P. Morandini e Prof. C. Soave, Dip. di Biologia (Uni.Milano)
2005-2006	Studio della variabilità genetica e morfologica di <i>Populus tremula</i>, <i>P. alba</i> e del loro ibrido <i>P. canescens</i>. Collaborazione con il Prof. S. Castiglione (Fac. Di Scienze Ambientali Univ. Di Salerno) (sono stato correlatore di tesi sull'argomento).
dal 2004 al 2010	Ricerca sulle specie idrofite rare per la Pianura Padana. Collaborazione con la Rete degli Orti Botanici Lombardi ed il Centro Flora Autoctona della Lombardia
2004-2005	Studio sul sistema dei fontanili della Provincia di Lodi. Collaborazione con il Prof. P. Viaroli e il Prof. G. Rossetti - Sez. di Ecologia Dip Scienze Ambientali - Università degli Studi di Parma, (sono stato correlatore di tesi sull'argomento).
dal 2002 al 2008	Organizzazione di attività didattiche e realizzazione delle raccolte relative alla flora della pianura e delle zone umide del territorio lombardo, presso "Orto Botanico di Cascina Rosa - Università Statale degli Studi di Milano"



2002	Studio sulle resistenze indotte da fenomeni di ipersensibilità nelle piante. Collaborazione con Dip. di Biologia - Prof. C. Soave, Dip. Patologia Agraria – Prof. F. Faoro - Università degli Studi di Milano) (sono stato correlatore di tesi sull'argomento)
2002	Elaborazione di un quadro riassuntivo relativo alla legislazione nazionale, regionale e provinciale correlata alla tutela e riqualificazione dei fontanili, al fine di ipotizzare nuovi ed efficaci strumenti normativi. Collaborazione con la Prof.ssa A. Canevari – Fac. di Architettura - Politecnico di Milano (sono stato correlatore di tesi sull'argomento).
2000	Messa a punto di nuovi indicatori di qualità ambientale del sistema idrico minore basati sullo studio degli assetti vegetazionali e perfitici algali. Collaborazione con Prof. M. Cotta Ramusino - Dip. di Biologia - Uni. Mi.) (sono stato correlatore di tesi sull'argomento).
2000	Studio del “sistema dei filari del Parco Agricolo Sud Milano” dal punto di vista agronomico, ecologico e attraverso l’analisi della dinamica storica di presenza-assenza di questi biotopi. Collaborazione con il Prof. S. Bocchi - Dip. di Agronomia Uni. Mi., (sono stato correlatore di una tesi sull'argomento)
1998-2000	Indagini sul sistema idrico superficiale nonché sulla microfauna e sulla microflora ad esso connesso. Collaborazione Prof. A. Gambini. Università Milano Bicocca.
1997-2000	Studi sulla scomparsa di specie vegetali in rapporto alle alterazioni territoriali prodotte da spinte antropiche. Collaborazione con Prof. G. Tedesco - Sezione di Botanica Sistemica Dip. di Biologia (Uni.Mi). (sono stato correlatore di una tesi sull'argomento).
1989-1996	Studi sulle resistenze delle piante superiori nei confronti di stress biotici ed abiotici. Collaborazione con Prof. C. Soave - Sezione di Fisiologia e Biochimica Vegetale del Dip. di Biologia dell'Università Statale di Milano

Attività didattica	
Luglio 2018	Seminario sulla biodiversità nelle acque nell'ambito dell'iniziativa “Open Science” promossa da Università degli Studi di Milano e Metropolitana Milanese
Marzo- Giugno 2017-2018	Seminari nell'ambito del corso di laurea Coltivazione Erbacee (prof. S. Bocchi) presso la facoltà di Agraria di Milano
Febbraio – Settembre 2015	Corso per i funzionari e volontari Legambiente Lombardia “il GIS per tutti: uso del GIS nella decodificazione del paesaggio lombardo” – Legambiente Lombardia, Fondazione Cariplo
Ottobre 2012	Lezioni su “acqua, sistema idrico minore e azienda agricola; spunti didattici” nell'ambito del progetto Fattorie didattiche - Regione Lombardia
dal 2002 al 2008	Esercitazioni ed esami nell'ambito del Corso di Biologia - Corso di Laurea in Scienze della Produzione e Benessere Animale (Uni.Mi.) (Prof. L. Carraro)



dal 2001 al 2008	Docenza nell'ambito del Corso di Didattica e Laboratorio di Morfologia Vegetale per la "Scuola Inter – Universitaria Lombarda di Specializzazione per l'Insegnamento nelle Scuole Medie Superiori (060) S.I.L.S.I.S. – MI"
Giugno 2007	Incarico da parte di A.R.P.A. Lombardia dell'organizzazione di: A) un corso sull'Indice Macrofitico in applicazione del D.Leg. 152/2006 e Dir. 2000/60 UE (anche in qualità di docente guida). B) un corso sull'Indice Diatomico in applicazione del D.Leg. 152/2006 e Dir. 2000/60 UE
dal 2002 al 2006	Parte del corso, esercitazioni ed esami di Botanica Generale (Prof. F. Sala) Corso di Laurea in Scienze Biologiche -Università Statale di Milano (in qualità di professore a contratto).
dal 2000 al 2006	Lezioni presso il Dip. di Biologia (Milano) sull'ecologia delle zone umide del piano padano. Nel contesto del corso del Laboratorio di Ecologia (Prof. M. Cotta Ramusino Dip. Biologia Univ. Statale di Milano) ho svolto parti (Corso di Laurea in Scienze Biologiche) o interi cicli di lezioni (Corso di Laurea in Scienze Naturali) sulla vegetazione acquatica (dalle alghe unicellulari alle piante superiori).
Febbraio 2005	Incaricato dell'organizzazione e della realizzazione delle esercitazioni del corso di Botanica Generale (corso Prof.. S. Castiglione) (C. laurea in Sc. Biologiche - Uni.Mi.).
Ottobre 2004	Incarico da parte dell'Università degli Studi di Milano in qualità di Professore a contratto di organizzare e realizzare il corso per Scienze Biologiche intitolato "biodiversità delle specie vegetali"
Settembre 2004	Incaricato dell'organizzazione, della supervisione e della realizzazione delle esercitazioni di istologia e citologia (parte di citologia vegetale) (laurea in Sc. Biologiche - Uni. Mi.).
Maggio 2004	Seminario su "l'acqua e la pianta". Attività svolta nell'ambito del corso intitolato "Civiltà dell'acqua e sviluppo sostenibile: l'acqua come patrimonio naturale dell'umanità e come fonte di vita e cultura" organizzato da: Riserva Regionale del Lago di Penne (Pe)
dal 2003 al 2004	Esercitazioni di Botanica per il Corso di Laurea in Scienze Biologiche (Prof P. Crosti); Università di Milano - Bicocca
dal 2003 al 2004	Incaricato di organizzare e tenere nel periodo di maggio-giugno sia del 2003 che del 2004 una serie di lezioni/laboratori sulla biodiversità ed un corso integrativo sull'ecosistema fontanile (affidenti al corso ufficiale di Didattica della Biologia 2B) - Facoltà di Scienze della Formazione (Univ. Bicocca)
Marzo 2003	Conferimento dell'incarico di docenza su "alghe e macrofite d'acqua dolce quali indicatori di qualità ambientale" nell'ambito del Master Universitario in "Tecnico per il monitoraggio delle acque interne superficiali ai sensi della normativa italiana e comunitaria" Dip di Biologia - Università Statale Studi MI
dal 2002 al 2004	Conferimento dell'incarico di docenza per il corso intitolato "Riconoscimento micro e macroscopico delle specie vegetali" nell'ambito del "Master Universitario in Tecnologie Erboristiche" Facoltà di Farmacia - Univ. Statale di



	Milano
Novembre 2002	Iscrizione all'albo dei cultori della materia (per Didattica della Biologia) presso la Facoltà di Scienze della Formazione (Univ. Bicocca). Nell'inverno 2002, in qualità di Professore a Contratto, ho svolto parte del corso ed esami nell'ambito del corso di Didattica della Biologia.
1999	Lezioni sul ruolo territoriale ed ambientale del Parco Agricolo Sud Milano (Corso di Conservazione della natura e delle sue risorse - Laurea in Scienze Naturali -Milano)
1998	Botanica sistematica e fitogeografia; corso F.S.E. "La figura del Manager dei Parchi" organizzato da Ce.I.E. (Centro Iniziative Ecologiche) Milano.
1998	Botanica generale e sistematica e fisiologia vegetale; corso F.S.E. "Operatore per la qualità dell'ambiente - tecnico di fitomonitoraggio, fitocontenimento e fitorimozione di agenti inquinanti" organizzato da S.I.S. (Sistema Imprese Sociali) Milano
dal 1997 al 2003	Esercitazioni di Botanica Sistematica (Prof. G. Tedesco), Corso di Laurea in Scienze Biologiche (Uni. Mi.)
1997	Il complesso di lezioni relative alle esercitazioni del corso di botanica e una serie di lezioni su piante tossiche e alimentazione animale Corso di Laurea in Medicina –Veterinaria, Uni. Mi.

Esperienze lavorative in ambito extrauniversitario	
2016 -2018	Membro del direttivo regionale di Legambiente Lombardia
2017-2018	Collaborazioni con IT Group, ENI, Idrogea- Monitoraggio della componente diatomica in acque contaminate da idrocarburi nelle aree di terrazzo presso Morimondo (MI), Parco del Ticino.
2014-2018	Collaborazioni con alcuni gruppi privati e liberi professionisti - monitoraggi relativi alla vegetazione, valutazione delle comunità macrofittiche e diatomiche di fiumi e torrenti (es: Serio, Brembo)
2015-2016	Collaborazione al progetto VOLARE: Valorizzare il fiume Lambro nella Rete Ecologica regionale. Nell'ambito del progetto ho svolto attività di monitoraggio biologico e applicazione di indicatori di qualità delle acque secondo quanto previsto da D lgs. 260/2010. Collaborazione con Istituto Nazionale di Urbanistica (INU), Politecnico di Milano, CNR IRSA, Legambiente Lombardia, Comuni di San Donato Milanese, San Giuliano e Melegnano.
dal 2007 al 2013	<u>ESPERIENZA LAVORATIVA PRESSO A.R.P.A. Lombardia</u> Nel corso degli anni trascorsi in A.R.P.A. Lombardia (2007-2013) ho approfondito la mia conoscenza e incrementato la mia esperienza sui metodi di valutazione



	dell'integrità ecologica attraverso applicazione del deflusso minimo vitale (DMV), di indicatori di funzionalità sia fluviale che lacustri (IFF, IFP), macrofite acquatiche (laghi e fiumi), diatomee (platoniche per i laghi, bentoniche per i fiumi) macroinvertebrati bentonici lacustri e fluviali, ponendo la mia attenzione sulla struttura delle popolazioni e sul loro significato ecologico
dal 2012 a luglio 2013	Contratto con A.R.P.A Lombardia: progetto CIP AIS – Commissione italo elvetica: studio sugli impatti antropici, sulla vegetazione acquatica, e sui macroinvertebrati del Lago Maggiore
2012 - 2013	Per ALP-EN (Alpine Environment) srl. - Mallero Energia s.r.l. Studio degli assetti diatomici dei Torrenti Finale, Carogna, Mallero, (SO) nell'ambito di progetti di derivazione delle acque per piccole centrali elettriche e di valutazione del deflusso minimo vitale (DMV).
dal 2010 al 2011	Contratto con A.R.P.A Lombardia: FITO-Gorla. La collaborazione ha previsto studi delle comunità dei macroinvertebrati del fiume Olona e la verifica delle diverse fasi di realizzazione dell'impianto di fitodepurazione di Gorla Maggiore.
dal 2007 al 2010	Contratto con A.R.P.A Lombardia: partecipazione alla messa a punto e all'applicazione sperimentale degli indici biologici previsti dal D.Leg. 152/2006 (indici basati su macrofite, diatomee, fitoplancton e macroinvertebrati) sui laghi e sui fiumi lombardi - Progetto MON.ECO.LA.
Dicembre 2008	Studio degli assetti di falda per la riqualificazione del fontanile S. Carlo di Albairate. Incarico da parte del comune di Albairate e Fondo Ambiente Italia (F.A.I.)
2007- 2012	In qualità di esperto, nomina a membro del Comitato Scientifico e di Gestione del P.L.I.S. del <i>Corridoio Morenico del Basso Garda Bresciano</i> .
Novembre 2006	Incarico da parte del comune di Desenzano del Garda di compiere un breve studio sulla zona del Parco Locale di Interesse Sovracomunale (PLIS) del Corridoio Morenico del Basso Garda Bresciano, al fine di realizzare una pubblicazione su quest'area.
Giugno 2006	Nomina, da parte di "Centro Flora Autoctona della Lombardia", a raccogliatore ufficiale di materiale riproduttivo della flora lombarda nell'ambito del progetto Banca del Germoplasma delle piante lombarde (Regione Lombardia, Parco del Monte Barro, Università degli Studi di Pavia)
Febbraio-Maggio 2004	Incarico da parte di Ricerche e Cooperazione, W.W.F. per studi della vegetazione nell'ambito di una ricerca volta alla programmazione di piani di intervento per lo sviluppo di progetti di turismo ecosostenibile nell'area di Bahia Rosas (Vietna -Rio Negro - Argentina)
Gennaio 2004	Incarico professionale nell'ambito del Progetto <i>LIFE Natura IT/03/000112 "Ardeides and Amphibians: habitat conservation in Monticchie Natural Reserve (Italy)"</i> finanziato da: Comunità Europea - Regione Lombardia, con riferimento all'azione specifica del progetto " D.6": Monitoraggio della qualità



	delle acque, degli assetti algali e dei macroinvertebrati acquatici della Riserva Naturale di Monticchie (Italia)
Marzo 2003	Incarico da parte del Comune di San Donato Milanese: studio per la riqualificazione dell'area di esondazione del Fiume Lambro posta a sud dell'aeroporto di Linate.
dal 1998 al 2001	Collaborazione con il Comitato Scientifico del W.W.F. Lombardia.
Dicembre 2000	Partecipazione (in collaborazione con molti altri ricercatori ed appassionati) al censimento della flora del Parco Agricolo Sud Milano (Provincia di Milano). Tale progetto di ricerca è stato parte di un lavoro molto ampio svolto a livello regionale con l'intento di creare un data-base sulla flora lombarda (D.G. Qualità Ambiente - Regione Lombardia).
Maggio 2000	Realizzazione di un erbario della flora del piano padano nel contesto del progetto "Polo Botanico di Casa Gola - Rodano" (Incarico da parte di Parco Agricolo Sud Milano - Provincia di Milano).
1999	Partecipazione alla ricerca " <i>Centri di Biomonitoraggio per la diversità biologica</i> " (Fondazione Lombardia per l'Ambiente - Regione Lombardia - W.W.F. Italia).
1999	Incarico del Comune di Melegnano: indagine naturalistico-vegetazionale su di un'area prossima al Fiume Lambro " <i>Aspetti vegetazionali dell'Oasi di Montorfano</i> "
1999	Incarico, da parte della Provincia di Milano - Parco Agricolo Sud Milano - WWF Lombardia, di organizzare e condurre un'approfondita ricerca sul sistema dei fontanili nel territorio provinciale anche in relazione al problema dell'innalzamento della falda.
1997	Incarico W.W.F. Lombardia: progetto mirato all'individuazione di canali biotici e di percorsi naturalistico-storici presenti nel territorio compreso tra i parchi dell'Adda, Agricolo Sud Milano e Ticino.
dal 1989 al 1990	Collaborazione ad indagini di carattere ecologico-ambientale (Labo Consul - R.Q.A. Milano) (<i>Piano Ecologico Comunale - Segrate, Qualità delle acque sul fiume Bormida - ACNA- Montedison</i>)
dal 1986 al 1988	Collaborazione con la Sezione Botanica del Museo di Storia Naturale di Milano nella gestione delle collezioni scientifiche Prof E. Banfi.

Principali pubblicazioni	<p>Parte delle pubblicazioni sono scaricabili dal seguente sito</p> <p>Researchgate: https://www.researchgate.net/profile/Stefano_Gomasasca/publications</p>
Libri e monografie	
2012	<p>G. Bischetti, N. Fumagalli, S. Gomasasca, T. Pillitteri, E. Piantanida, G. Senes, G. Negri, L. Marziali, A. Toccolini <i>Tutela e valorizzazione dei fontanili del territorio lombardo. Progetto Fonte</i> Quaderni della Ricerca n° 144, marzo 2012, Regione Lombardia, D.G. Agricoltura ed. http://www.agricoltura.regione.lombardia.it</p>



2009	Gambini Annastella, <u>Gomasasca Stefano</u>, Broglia Alfredo , <i>Vita e segreti dei microrganismi acquatici. Guida per l'osservazione e lo studio</i> . Mimesis Edizioni. Pag 56 http://www.mimesisedizioni.it/archives/000910.html
2008	Incarico da parte di Mondatori Electa della revisione scientifica della traduzione italiana di: <i>Encyclopedia of Plants & Flowers</i> 743 pag. The Royal Horticultural Society, Christopher Brickell Ed. in Chief. Dorling Kindersley Limited, London Ed., Fourth Edition 2006
2008	Francesco Bracco, Cristina Delucchi, Alberto Garlandini, <u>Stefano Gomasasca</u>, Fabrizio Grassi, Claudio Longo, Valentino Martinelli, Emanuela Piaggi, Gabriele Rinaldi, Francesco Zonca . <i>Piante Rare ed interessanti degli Orti Botanici della Lombardia</i> . Ed. Rete degli Orti Botanici della Lombardia, Regione Lombardia - Direzione Generale Culture, Identità e Autonomie della Lombardia http://reteortibotanicilombardia.it/wordpress/wp-content/uploads/2012/07/Piante-Rare-2008.pdf
2007	<u>Stefano Gomasasca</u>, Luisa Angela Maggioni <i>Il Parco Ritrovato: Parco Locale di Interesse Sovracomunale (PLIS) del Corridoio Morenico del Basso Garda Bresciano</i> . (2007) Citta di Desenzano del Garda ed.; 35 pag.
2002	<u>Stefano Gomasasca</u> <i>I fontanili del Parco Agricolo Sud Milano</i> . Provincia di Milano, WWF Lombardia, Parco Agricolo Sud Milano. Ed. Cogegstre Penne (PE); 120 pag.
Saggi, e articoli pubblicati su libri o riviste con <u>comitato redazionale internazionale</u>	
2019	Valiante D, Sirtori I, Cossa S, Corengia L, Pedretti M, Cavallaro L, Vignoli L, Galvagni A, <u>Gomasasca S</u>, Pesce GR, Boccardelli A, Orsi L, Lovarelli D, Facchinetti D, Pessina D, Bacenetti J . (2019) <i>Environmental impact of strawberry production in Italy and Switzerland with different cultivation practices</i> . Sci Total Environ. 664:249-261
2016	M. Pierik, M. Dell'Acqua, R. Confalonieri, S. Bocchi, <u>S. Gomasasca</u> <i>Designing ecological corridors in a fragmented landscape: A fuzzy approach to circuit connectivity analysis</i> . Ecological Indicators ; Vol. 67, pag. 807 - 820
2014	M. Dell'Acqua, A. Fricano, <u>S. Gomasasca</u>, M. Caccianiga, P. Piffanelli, S. Bocchi, L. Gianfranceschi <i>Genome scan of Kenyan Themeda triandra populations by AFLP markers reveals a complex genetic structure and hints for ongoing environmental selection</i> . South African Journal of Botany ; Vol. 92, pag. 28-38
2013	<u>S. Gomasasca</u>, A. Cikatelli, L. A. Maggioni, S. Castiglione <i>The use of Callitriche for water quality determination can be misleading: an example from the Po valley in northern Italy</i> . Plant Biosystem ; Vol. 147, Number 2, pag. 459-471
2013	M. Dell'Acqua, <u>S. Gomasasca</u>, A. Porro, S. Bocchi <i>A tropical grassy resource for pasture improvement and landscape management: Themeda triandra Forssk</i> . Grass and Forage Science ; Vol.68, Issue 2, pag. 205–215
2010	C, Mariani, R. Cabrini, A. Danin, P. Piffanelli, <u>S. Gomasasca</u>, M. Dicandilo, F. Grassi,



	C. Soave <i>Origin, diffusion and reproduction of the giant reed (Arundo donax L.): a promising weedy energy crop. Annals of Applied Botany</i> ; Vol. 157, Issue 2, pag. 191–202
2010	N.Ludwig, R.Cabrini, F.Faoro, M.Gargano, S. Gomasasca, M.Iriti, V.Picchi and C.Soave <i>Reduction of evaporative flux in bean leaves due to chitosan treatment assessed by infrared thermography. Infrared Physics & Technology</i> ; Vol. 53, Issue 1, Pag. 65-70
2009	Maggioni L. A., Fontaneto D., Bocchi S., Gomasasca S. <i>Evaluation of water quality and ecological system conditions through macrophytes Desalination</i> ; Vol. 247 pag.191-202
2009	M. Iriti, M. Sironi, S. Gomasasca, A.P. Casazza, C. Soave, F. Faoro <i>Acte exposure of aquatic macrophyte Callitriche obtusangula to the herbicide oxadiazon: the protective role of N-acetyl cysteine. Chemosphere</i> ; Vol. 74 pag.1231–1237
2009	M. Iriti, V. Picchi, M. Rossoni, S. Gomasasca, N. Ludwig, M. Gargano, F. Faoro, <i>Chitosan antitranspirant activity is due to abscisic acid-dependent stomatal closure Environmet and experimental botany</i> ; Vol. 66, n° 3 pag. 493-500
2008	Anzi C., Pilucchi P., Vazzola V., Murgia I., Gomasasca S, Beretta Piccoli M. and Morandini P. <i>The proton pump interactor (Ppi) gene family of Arabidopsis thaliana: expression pattern of Ppi 1 and characterization of Knock out mutant for Ppi1 and 2 Plant Biology</i> ; Vol. 102, pag 37-49.
2007	V. Pieri, C. Camerini, S. Gomasasca, K. Mertens, G. Rossetti <i>Water quality and diversity of the Recent ostracod fauna in lowland spring from Lombardy (northern Italy). (2007) Hydrobiologia</i> ; Vol 585 pag 78-87
2006	Iriti M., Sironi M., Gomasasca S., Soave C., Faoro F. <i>Cell death-mediated antiviral effect of chitosan in tobacco.(2006) Plant Physiology and Biochemistry</i> ; vol 44 pag. 893- 900
2004	F. Grassi, S. Imatio, S. Gomasasca, S. Citterio, R. Aina, S. sgorbati, F. Sala, G. Patrignani, M. Labra <i>Population structure and genetic variation within Valeriana wlothii Kreyer in relation to different ecological location. (2004) Plant Science</i> ; Vol 166 Issue 6, pag 1437-1441
1997	B. Marinelli, S. Gomasasca and C. Soave <i>A pleiotropic Arabidopsis thaliana mutant with inverted root chirality (1997) Planta</i> ; Vol. 202, pag 196-205
1996	P. Morandini, I. Murgia, L. Campi, S. Gomasasca, S.Villani, N.Ludwig and C. Soave. <i>Resistance to phytotoxins: developing selection methods based on the physiological action of the toxin: (1996) Petria</i> ; Vol. 6, Suppl. 1, pag 133-143
1994	C. Soave, C. Vannini and S. Gomasasca <i>Selection for mutant of Arabidopsis thaliana altered in solute uptake; (1994) "Biochemistry and Molecular Biology of Plant-pathogen Interactions, ed. C. J. Smith. The Phytochemical Society of Europe; Oxford: Clarndon Press (1994). 291 pp; pag. 79 - 88</i>



1993	S. Gomasasca, C. Vannini, A. Venegoni, A. Talarico, M.T. Marrè, C. Soave <i>A mutant of Arabidopsis thaliana with a reduced response to fusicoccin I</i> (1993) Plant Physiol. ; Vol. 103, pag. 165-170
Saggi e articoli pubblicati su libri o riviste con <u>comitato redazionale nazionale</u>	
2013	Stefano Gomasasca e Valeria Roella (a cura di). <i>Monitoraggio delle componenti biologiche del lago Maggiore: macrofite e macrobenthos. Ecomorfologia delle rive delle acque comuni: programma quinquennale 2008 – 2012: campagna 2012.</i> Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (C.I.P.A.I.S.) ed.
2013	Stefano Gomasasca, Francesco Elvio e Valeria Roella. <i>Rapporto quinquennale 2008-2012. Ecomorfologia rive delle acque comuni: programma quinquennale 2008 – 2012: campagna 2012.</i> Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (C.I.P.A.I.S.) ed.
2010	Stefano Gomasasca, Andrea Beghi, Arianna Castiglioni, Francesco Bonomi & Valeria Roella. <i>Studies about macrophytes of the Varese Province lakes (Lombardy, northern Italy).</i> Volume 3: Macrofite & Ambiente EURAC Research Center, Società Italiana di Ecologia ed.; pag. 205 -214
2010	Isabella Fedeli, Luisa Angela Maggioni, Giancarlo Graci & Stefano Gomasasca; <i>Le macrofite acquatiche nella valutazione della qualità ambientale: messa a punto di un indice macrofitico per la Pianura Padana.</i> Volume 3: Macrofite & Ambiente EURAC Research Center, Società Italiana di Ecologia ed.; pag. 177 190
2010	Anna Testi, Diego D'Angeli, Giuliano Fanelli, Stefano Gomasasca, Silvia Guidotti, Valerio Castigliani, Mauro Cristaldi, Marco De Antonio, Luisanna Ieradi, Giovanna Martella & Maurizio Salvatori <i>La qualità degli habitat fluviali attraverso l'applicazione di indici a due scale di indagine.</i> Volume 3: Macrofite & Ambiente EURAC Research Center, Società Italiana di Ecologia ed.; pag.157 – 176
2010	Bruno E. L. Cerabolini, Guido Brusa, Stefano Gomasasca & Matteo Sartori <i>Valutazione della Specific Leaf Area nelle macrofite al fine di una interpretazione funzionale degli ecosistemi acquatici.</i> Volume 3: Macrofite & Ambiente EURAC Research Center, Società Italiana di Ecologia ed; pag.11-21
2010	Marta Maggi, Giancarlo Graci, Stefano Gomasasca, Paolo Pileri, Mirco Boschetti, Stefano Bocchi, Anna Rampa <i>An instrument to assess the agro-ecological value of the Lombardiaplain (Northern Italy) from land-cover cartography: preliminary results.</i> Volume 1: L'uomo nell'ecosistema:una relazione bilanciata? EURAC Research Center, Società Italiana di Ecologia ed.; pag. 59-70



2006	Grassi F., Brontini R., Patrignani G., V. Parravicini, G. Giaccone, M. Sugni, <u>S. Gomasasca</u>, A. Ronchi, F. Sala. <i>Nuova didattica e nuova ricerca nell'Orto Botanico "Cascina Rosa" dell'Università di Milano</i> ; Informatore Botanico Italiano (2006) 38 (1) pg. 268-273
2006	Paolo Pileri, <u>Stefano Gomasasca</u>, Stefano Bocchi e Marco Sedazzari. <i>Monitoraggio a supporto della pianificazione agroforestale.</i> Estimo e Territorio. (2006) Vol. 1/, Ed agricole – Ilsole24ore, Milano pg. 16-22
2005	G. Patrignani, <u>S. Gomasasca</u>, S. Bocchi, F. Sala. <i>Evoluzione e ruolo agroecologico del sistema siepe/filare nel territorio del Parco Agricolo Sud Milano.</i> Informatore Botanico Italiano (2005) vol 37 pag 232-33
2005	<u>S. Gomasasca</u>, S. Bocchi, M. Sedazzari & P. Pileri. <i>Evoluzione del paesaggio e dell'agroecosistema nel territorio del Parco Agricolo Sud Milano: siepi e fontanili.</i> Pianura n. 19/2005: Scienze e storia dell'ambiente padano. (2005) ISSN: 1722-5493
2005	G. Patrignani, V. Parravicini, G. Giaccone, M Sugni, P.L. Oteri, <u>S. Gomasasca</u>, A Ronchi e F. Sala. <i>Ricerca e didattica nell'Orto Botanico di cascina Rosa.</i> Informatore Botanico Italiano (2005) vol 37 pag 448-49
2003	P. Arcidiacono, A. Canevari, V. Mazzotta, <u>S. Gomasasca</u>, G. Patrignani. <i>I fontanili della pianura padana: un sistema da definire, tutelare e valorizzare.</i> (2003) Territorio n° 27 Franco Angeli - Politecnico di Milano ed. , pag 196-205
2002	<u>S. Gomasasca</u>. <i>Analisi floristico vegetazionale del Parco dei Fontanili (Cavaria) - in - Atlante della Biodiversità nel Parco del Ticino,</i> (2002) Volume 2°; ed. Consorzio Lombardo Parco della Valle del Ticino, pag 145-170
Saggi e memorie scientifiche pubblicate su atti di Congressi nazionali ed internazionali	
2019	<i>Oxygen to Human. Introducing an advanced natural approach in landscape ecology design.</i> O. B. Carcassi, A. Giglio, <u>S. Gomasasca</u>, I. Paoletti. 10 th IALE World Congress, July 1-5 2019, Milano, Italy.
2018	<i>STRUNA' STRUCTURE-NATURE: first study and prototype for a domestic photobioreactor,</i> O. B. Carcassi, <u>S. Gomasasca</u>, I. Paoletti. The 8th International Conference on Algal Biomass, Biofuels and Bioproducts 11 - 13 June 2018 Seattle
2015	<i>Uptake of perfluorobutane sulfonate and perfluorooctane sulfonate in rice (Oryza sativa) II.</i> <u>S. Gomasasca</u>, M. Mazzoni, A. Frigerio, E. Zenelaj, S. Polesello, S. Bocchi, M. Rusconi, S. Valsecchi Second International Conference on Systems of Organic Rice Production. 1 - 4 September 2015 / Pavia
2015	<i>Uptake of perfluorobutane sulfonate and perfluorooctane sulfonates in rice (Oryza sativa) I.</i> S. Valsecchi , E. Zenelaj, M. Mazzoni, A. Frigerio, S. Polesello, M. Rusconi, <u>S. Gomasasca</u>. SETAC Europe. 25th Annual Meeting, 3-7 May 2015, Barcelona, Spain



2012	<p><i>Applicazione degli indici ecologici a corsi d'acqua lombardi (provincia di Varese): spunti di approfondimento. S. Gomasasca, C. Borlandelli, G. Biccai, V. Roella</i></p> <p>Congresso Società Italiana di Ecologia: Alessandria, 10-13 settembre 2012</p>
2012	<p><i>Inquadramento ecologico dei fontanili in base a caratteristiche morfologico-funzionali. S. Gomasasca, L. Marziali</i></p> <p>Congresso Società Italiana di Ecologia: Alessandria, 10-13 settembre 2012</p>
2010	<p><i>Salvaguardia della biodiversità nella risicoltura a sommersione continua. S. Bocchi, S. Gomasasca, A Porro, I Vagge</i></p> <p>Congresso Società Italiana Scienze della Vegetazione: Agricoltura custode della biodiversità: ma quale agricoltura? Trieste, 29 ottobre 2010</p>
2010	<p><i>Variabilità genetica di una specie foraggera minacciata dai cambiamenti climatici. M. Dell'Acqua, S. Gomasasca, L. Gianfranceschi, S. Bocchi</i></p> <p>XX Congresso S.I.T.E. 27-30 settembre 2010 Roma (vincitore del "Premio Marchetti")</p>
2010	<p><i>Macrofite e Ambiente: diversità, struttura e funzione delle macrofite e della cenosi acquatiche - presentazione del Gruppo di Lavoro della S.It.E. Rossano Bolpagni, Alessandro Oggioni, Stefano Gomasasca, Daniela Gigante, Marcello Tomaselli, Anna Testi, Nadia Abdelahad, Marco Bartoli, Pierluigi Viaroli</i></p> <p>105° Congresso S.B.I. 25-28 agosto 2010, Milano</p>
2010	<p><i>Analisi genetica delle popolazioni Keniote di un importante specie foraggera, Themeda triandria. M. Dell'Acqua, S Gomasasca, L. Gianfranceschi, S. Bocchi</i></p> <p>BIOD Coltivare la Biodiversità _Milano 100-11 giugno 2010</p>
2009	<p><i>Valutazione della Specific Leaf Area nelle macrofite al fine di una interpretazione funzionale degli ecosistemi acquatici. Cerabolini B. E.L., Brusa G., Gomasasca S., Sartori M.</i></p> <p>XIX Congresso S.It.E. - Bolzano, 15. - 18. Settembre 2009</p>
2009	<p><i>Le macrofite acquatiche come possibili indicatori di qualità ambientale: messa a punto di un indice macrofitico. Fedeli I., Maggioni L., Graci G. Gomasasca S.</i></p> <p>XIX Congresso S.It.E. - Bolzano, 15. - 18. Settembre 2009</p>
2009	<p><i>Studio degli assetti macrofitici dei laghi della provincia di Varese. Gomasasca S., Beghi A., Castiglioni A., Bonomi F., Roella V.</i></p> <p>XIX Congresso S.It.E. - Bolzano, 15. - 18. Settembre 2009</p>
2009	<p><i>Uno strumento per la valutazione del valore agro-ecologico della pianura lombarda. Maggi M., Graci G., Gomasasca S., Pileri P., Boschetti M. Bocchi S., Rampa A.</i></p> <p>XIX Congresso S.It.E. - Bolzano, 15. - 18. Settembre 2009</p>
2008	<p><i>Abscisis acid at the crossroads between chitosan-induced antitranspirant and antiviral activities. M. Iriti, V. Picchi, N. Ludwig, M. Gargano, S. Gomasasca, F. Faoro</i></p> <p>X Annual Congress F.I.S.V.– Riva del Garda (TN) 24-27 Settembre 2008</p>



2007	<p><i>Lowland springs system analysis of a North Italy rural area.</i> Bocchi S., Pileri P., Maggioni L.A., Gomasasca S.</p> <p>Multi functions of Wetland systems; International Conference on Multiple Role of Wetlands, Legnaro (Padova) 26-29/6-2007</p>
2007	<p><i>Macrophytes as bioindicators of water quality.</i> Maggioni L. A., Fontaneto D., Bocchi S., Gomasasca S.</p> <p>Multi functions of Wetland systems; International Conference on Multiple Role of Wetlands, Legnaro (Padova) 26-29 giugno 2007</p>
2007	<p><i>Solstizio d'estate negli Orti Botanici della Lombardia: un evento in rete di efficacia comunicativa.</i> F. Bracco, E Caporali, C. Delucchi, G. Fico, L. Gianoli, S. Gomasasca, L. Laddaga, C Longo, V. Martinelli, P. Meda, V. Parravicini, G. Patrignani, E. Piaggi, G. Rinaldi, R Scherini, A. Spada, M. Sugni, S. Vitalizi, F. Zonca</p> <p>Convegno Orti Botanici, Ventimiglia, Giugno 2007</p>
2006	<p><i>Didattica diretta e didattica informatica a Cascina Rosa.</i> M. Sugni, G. Patrignani, M. Beretta, A. Ronchi, P. Paveggio, O. Gandini, S. Gomasasca, F. Sala</p> <p>101° Congresso Società Botanica Italiana, Caserta 27-29 settembre 2006</p>
2005	<p><i>Strumenti di monitoraggio multidisciplinare per nuove politiche agroecologiche: azienda agricola verso forme di integrazione ecologica e di rifondazione territoriale.</i> Pileri P, Bocchi S, Gomasasca S, Sedazzari M</p> <p>Paradeisos 10° ed. "l'Europa nella rete: reti ecologiche, sistema dei parchi, ricomposizione urbana" 22 novembre 2005 Regione Lombardia, Provincia di Milano, Comune di Monza, Il verde Ed.</p>
2005	<p><i>Chitosan-induced systemic acquired resistance involves both programmed cell death and ubiquitination.</i> Iriti M., Sironi M., Gomasasca S., Casazza P. Soave C., Faoro F.</p> <p>7° Convegno FISV - Riva del Garda (TN), 22-25 settembre 2005</p>
2005	<p><i>Diversity of the Recent ostracod fauna in relation to water quality in lowland springs from Lombardy (Northern Italy).</i> Pieri V., C. Caserini, S. Gomasasca, K. Martens, G. Rossetti</p> <p>15th International Symposium on Ostracoda; Freie Universität Berlin September 12-15, 2005 Theme: Ostracodology – linking bio- and geosciences</p>
2004	<p><i>Ponti biotici tra il Parco del Ticino e le aree agricole prossime alla città di Milano. Definizione di un approccio metodologico per l'identificazione di corridoi biologici.</i> A. Agapito Ludovici, S. Pirovano e S. Gomasasca</p> <p>International Joint Workshop on: The Rural System. A challenge for planning between protection, sustainability and changes' management. Session 1: Environmental functions: value and potentiality; Milano 13-14 october 2004. Regione Lombardia and Politecnico di Milano</p>
2004	<p><i>Valutazione delle potenzialità idrologiche del territorio del Parco Agricolo Sud Milano attraverso l'analisi delle caratteristiche di funzionalità dei fontanili.</i> E. Crenca, F. Ficetola, S. Gomasasca</p>



	International Joint Workshop on: The Rural System. A challenge for planning between protection, sustainability and changes' management. Session 1: Environmental functions: value and potentiality; Milano 13-14 october 2004. Regione Lombardia, Politecnico MI
2004	<i>The hedge-row system as indicator of environmental change for rural land-planning.</i> S. Bocchi, P. Pileri, <u>S. Gomasasca</u> & M. Sedazzari International Joint Workshop on: The Rural System. A challenge for planning between protection, sustainability and changes' management. Session 1: Environmental functions: value and potentiality; Milano 13-14 october 2004. Regione Lombardia and Politecnico di Milano
2004	<i>Aquatic macrophytes as indicators of environmental change in the low order irrigational rural system.</i> <u>S. Gomasasca</u>, M. Ferrario, D. Galbiati, G. F. Ficetola, M. Cotta Ramusino International Joint Workshop on: The Rural System. A challenge for planning between protection, sustainability and changes' management. Session 1: Environmental functions: value and potentiality; Milano 13-14 october 2004. Regione Lombardia and Politecnico di Milano
2004	<i>Strategie per il contenimento di una specie alloctona invasiva del parco del ticino: "il prugnolo tardivo".</i> D. Fontaneto, <u>S. Gomasasca</u>, S. Castiglione, F. Sartori, L. Vietto, G. G. Vendramin, F. Caronni International Joint Workshop on: The Rural System. A challenge for planning between protection, sustainability and changes' management. Session 1: Environmental functions: value and potentiality; Milano 13-14 october 2004. Regione Lombardia and PoliMI
2004	<i>Calcium-mediated PCD is responsible for chitosan induced resistance to virus infection in tobacco plant.</i> Iriti M., Sironi M., <u>Gomasasca S.</u>, Soave C. and Faoro F. Programmed cell death across kingdoms similarities and differences. Bertinoro (Forli) May 9-11 th 2004
2004	<i>Does Chitosan-induced apoptosis represent a relevant host response to limit virus infection?</i> Iriti M., Sironi M., <u>Gomasasca S.</u>, Soave C. and Faoro F. International Joint Workshop on PR-Proteins and Induced Resistance. Copenhagen May 5-9, 2004
2003	<i>Variabilità morfologica e genetica di popolazioni di Valeriana walrothii Kreyer in relazione ai diversi habitat.</i> F. Grassi, S. Imatio, <u>S. Gomasasca</u>, S. Citterio, R. Aina, S. Sgorbati, F. Sala, G. Patrignani, M. Labra 98° Congresso della Società Botanica Italiana, Catania 24-26 settembre 2003
2003	<i>Il prato: un laboratorio naturale per la comprensione della biodiversità.</i> A. Gambini, <u>S. Gomasasca</u>, A. Pezzotti, M. Sironi 98° Congresso della Società Botanica Italiana, Catania 24-26 settembre 2003
2003	<i>Chromosome number, DNA content and molecular taxonomy of the polyploid complex Valeriana officinalis L..</i> F. Grassi, R. Aina, M. Labra, <u>S. Gomasasca</u>, S. Imazio, S. Sgorbati, S. Citterio. International Polyploidy Conference; Linnean Society and Royal Botanic Gardens Kew;



	27th-30th April 2003
2002	<p><i>Analisi della variabilità genetica in popolazioni di Valeriana collina Wallroth presenti sul Monte Baldo (Vr)</i> F. Grassi, M. Labra, <u>S. Gomasasca</u>, S. Imazio, S. Sgorbati, S. Citterio</p> <p>97° Congresso della Società Botanica Italiana, Lecce 24-27 settembre 2002</p>
2002	<p>Aspetti biosistematici relativi al gruppo della <i>Valeriana officinalis</i> L. nel territorio italiano <u>S. Gomasasca</u>, R. Aina, G. Patrignani, A. Ghiani, N. Prato e G. Tedesco</p> <p>97° Congresso della società Botanica Italiana - Lecce 24-27 Settembre 2002</p>
2002	<p><i>Conservazione naturale ed educazione ambientale. L'esempio del Laboratorio Didattico del Laghetto.</i> A. Gambini, <u>S. Gomasasca</u>, A. Pezzotti</p> <p>Convegno "I fontanili della Pianura Padana: tutela e valorizzazione di un patrimonio di biodiversità". Riserva Regionale Fontanili di Corte Valle del Re - Campegine (Reggio Emilia) 10-11 maggio 2002</p>
2002	<p><i>Applicabilità degli Indici di Funzionalità Fluviale (IFF) al sistema delle risorgive della Pianura Padana.</i> D. Galbiati, M. Ferrario, M. Cotta Ramusino, <u>S. Gomasasca</u></p> <p>Convegno "I fontanili della Pianura Padana: tutela e valorizzazione di un patrimonio di biodiversità". Riserva Regionale Fontanili di Corte Valle del Re - Campegine (Reggio Emilia) 10-11 maggio 2002</p>
2002	<p><i>La situazione dei fontanili nella provincia di Milano.</i> <u>S. Gomasasca</u></p> <p>Convegno "I fontanili della Pianura Padana: tutela e valorizzazione di un patrimonio di biodiversità". Riserva Regionale Fontanili di Corte Valle del Re - Campegine (Reggio Emilia) 10-11 maggio 2002</p>
2002	<p><i>Il sistema dei fontanili del Parco Agricolo Sud Milano.</i> <u>S. Gomasasca</u></p> <p>Convegno "Reti biologiche, fontanili, tutela del Parco Agricolo Sud Milano" San Donato Milanese (Mi) 11-12 aprile 2002</p>
2001	<p><i>Primi dati sul censimento della flora del Parco Agricolo Sud Milano.</i> F. Scelsi e <u>S. Gomasasca</u></p> <p>Convegno Fedenatur "I margini tra città e campagna" Milano 19-20 Aprile 2001</p>
2001	<p><i>Ricerca dei meccanismi di adattamento indotti da pressione antropica sulle popolazioni di Valeriana officinalis L. nell'area del Parco Agricolo Sud Milano.</i> <u>S. Gomasasca</u>, A. Pezzotti, G. Patrignani e G. Tedesco</p> <p>Convegno Fedenatur "I margini tra città e campagna" Milano 19-20 Aprile 2001</p>
1999	<p><i>Variabilità morfologica di Valeriana officinalis (sub. collina) Wallr. nell'area del Parco Agricolo Sud Milano.</i> <u>S. Gomasasca</u>, A. Pezzotti, G. Patrignani e G. Tedesco</p> <p>Congresso della Società Botanica Italiana, Ferrara 1999</p>



1996	<i>Counter-clockwise circumnutation in roots of an Arabidopsis thaliana mutant, II.</i> B. Marinelli, <u>S. Gomasasca</u>, C. Soave XI Convegno Annuale della Società Italiana di Genetica Agraria, Perugia 1996
1996	<i>Chirality in Arabidopsis.</i> Migliaccio F., Marinelli B., Micciulla O., <u>Gomasasca S.</u>, Ferrari S. and Soave C. The 1996 International Meeting, University of East Anglia in Norwich, UK
1996	<i>Counter-clockwise circumnutation in roots of an Arabidopsis thaliana mutant.</i> B. Marinelli, <u>S. Gomasasca</u>, C. Soave 10th FESPP Congress, Firenze 1996
1995	<i>Il mutante 1-6C di Arabidopsis thaliana: analisi morfologica e genetica .</i> B. Marinelli, <u>S. Gomasasca</u>, C. Soave XXXIX Convegno Annuale della Società di Genetica Agraria, Vasto Marina (CH) 1995
1992	<i>Mutant of Arabidopsis thaliana altered in Fusicoccin sensitività.</i> Vannini C., <u>Gomasasca S.</u>, Talarico A., Venegoni A., Marrè M.T. and Soave C. Ninth International Workshop of Plant Membrane Biology - Monterey California, July 1992
1991	<i>Selection for mutant of Arabidopsis thaliana altered in solute uptake.</i> C. Vannini, <u>S. Gomasasca</u> and C. Soave Congresso Nazionale di Fisiologia Vegetale 1991

Programmi utilizzati

Pacchetti Microsoft Office, Q.GIS, ArcView, Adobe Photoshop, SPSS Statistics, Statistica, Past Statistics

Autorizzo al trattamento dei dati personali, ai sensi del D.Lgs 30.06.2003 n. 196

In fede

Gessate, 10 ,maggio 2019

Dott. Stefano Gomasasca

APPENDICE 3 Studio Microbiologico

Sito: Oleodotto 10" Sannazzaro-Rho, Comune di Morimondo (MI)

Committente: Eni SpA

Oggetto: Revisione Analisi di rischio sito specifica ai sensi del D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 81/08 Marzo 2018



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE PER GLI ALIMENTI,
LA NUTRIZIONE E L'AMBIENTE



Prof.ssa Lucia Cavalca
Lucia.cavalca@unimi.it
Tel. 02 50319116

Alla c.a. degli
Ingg. Lisa Dall'Agata, Stefania Bolla, Elisa Negri
The IT Group Italia s.r.l.
Largo Volontari del Sangue, 10
20097 San Donato Milanese (MI)

Milano, 31/05/2019

Oggetto: Relazione finale della convenzione di ricerca 2753-2018

Nell'ambito della convenzione di ricerca 2753-2018, è stata condotta una rassegna bibliografica iniziale volta a riferire le conoscenze più recenti relative alle attività di degradazione microbiche nei confronti degli idrocarburi del petrolio applicabili in azioni di biorisanamento. Sono state quindi effettuate analisi di laboratorio volte a valutare la possibilità di applicare tecniche di bioattenuazione presso il sito di effrazione dell'oleodotto Eni Sannazzaro-Rho (detto sito di Morimondo).

Viene riportato a seguire il lavoro svolto.

Distinti saluti,

Lucia Cavalca

Lucia Cavalca



Convenzione di ricerca 2753-2018

Relazione finale

“Valutazione di attività microbiche di biodegradazione di contaminanti organici presso sito di effrazione dell’Oleodotto Eni da 10” Sannazzaro-Rho”

1. Introduzione

In Europa esistono 340.000 siti classificati come contaminati e il 15% di essi è soggetto a operazioni di risanamento. Il 24% dei siti sono contaminati da idrocarburi alifatici, l’11% da idrocarburi aromatici, il 10% da BTEX e l’8% da composti clorurati (Van Liederkerke, 2014).

Gli idrocarburi del petrolio (*petroleum hydrocarbons*, PHCs) sono composti organici generalmente classificati in due frazioni: benzina e diesel. La prima frazione è costituita da composti monoaromatici quali benzene, toluene, etilbenzene e xileni (BTEX) e da alcani a catena corta (C6-C10). La seconda frazione include composti poliaromatici (PAH) e alcani a catena lunga (C10-C40) (Kamath et al., 2004).

Al momento di un evento di contaminazione, vengono applicate tecniche di contenimento/bonifica basate su tecnologie fisico-chimiche sia in situ che ex situ (Khan et al., 2004). Sebbene queste tecnologie vengano ampiamente applicate, presentano costi molto elevati, portano spesso ad una degradazione incompleta dei contaminanti, creano a loro volta rifiuti pericolosi che devono essere poi conferiti in discarica e hanno un forte impatto sull’ambiente interessato.

Per queste ragioni, la ricerca degli ultimi venti anni si è focalizzata su schemi di risanamento che potenziassero le capacità biologiche di degradazione dei contaminanti operate principalmente da batteri e da batteri in associazione con le piante.

2. Biodegradazione aerobica degli idrocarburi del petrolio

In generale, sebbene la biodegradazione degli idrocarburi del petrolio possano avvenire anche in ambiente anaerobico, è soprattutto in ambiente aerobico che avviene la maggior parte delle reazioni. Lo schema generale di tutte le vie di degradazione dei contaminanti prevede un attacco ad opera di enzimi chiamati ossigenasi, reazioni di catabolismo e convogliamento dei prodotti alle vie metaboliche primarie della cellula per la creazione di biomassa ed energia, con produzione finale di anidride carbonica ed acqua.

La biodegradabilità tende a decrescere secondo la seguente scala: *n*-alcani>aromatici alchil-sostituiti a basso peso molecolare>monoaromatici>PAH (Van Hamme et al., 2003).

PAH e BTEX

Il catabolismo dei PAH si fonda sulla presenza e l’attività iniziale di enzimi detti diossigenasi (PAH-RHD) che ossidrilano uno degli anelli aromatici presenti nella molecola. Successivamente, l’anello ossidrilato va incontro a rottura che porta alla formazione di un composto poliaromatico sostituito con un anello in meno rispetto al composto iniziale (Saito et al., 2000). In batteri Gram-negativi quali *Pseudomonas*,

Sphingomonas, *Ochrobactrum*, *Polaromonas*, *Novosphingobium*, *Burkholderia* e *Acidovorax* sono presenti tipicamente le vie NAH e PHN. In batteri Gra-positivi quali *Rhodococcus*, *Nocardia*, *Mycobacterium*, *Gordonia* e *Bacillus* sono presenti le vie NAR e NID. L'azione di ossigenazione progressiva porta alla formazione di composti monoaromatici che vengono attaccati con le stesse modalità dei BTEX fino alla loro completa mineralizzazione (Peng et al., 2008).

I BTEX sono altamente ricettivi all'attacco microbico e la loro degradazione si verifica per lo più in condizioni aerobiche (El-Naas et al., 2014), dove i microrganismi utilizzano questi composti come fonte nutritiva di carbonio ed energia per la loro crescita. Il toluene è il composto più facilmente biodegradabile per la presenza del gruppo sostituito che offre una via alternativa all'ossidazione dell'anello aromatico: l'attacco alla catena laterale. Il processo richiede la presenza di ossigeno disciolto, che viene utilizzato sia per l'attivazione dell'anello e la rottura dei nuclei aromatici, sia come accettore finale di elettroni per la completa ossidazione della molecola da parte di batteri (Andreoni and Gianfreda, 2007). L'attacco ossidativo iniziale dei BTEX è attuato dagli enzimi mono-ossigenasi ("TOM pathway") o diossigenasi ("TOD pathway") direttamente sull'anello aromatico, oppure da mono-ossigenasi che idrossilano i sostituenti laterali quali gruppi metilici o etilici ("TOL pathway") (Hendrickx et al., 2006). Queste prime reazioni, dette anche "upper pathway", destabilizzano l'ottetto aromatico e convertono i BTEX in catecolo o in acido protocatecuico (El-Naas et al., 2014). Successivamente, gli enzimi catecolo-1,2-diossigenasi e catecolo-2,3-diossigenasi presenti nelle "lower pathway" rompono l'anello aromatico trasformando i composti in catene carboniose che vengono trasformate in acido piruvico e acetaldeide. Questi composti entrano quindi nelle reazioni biochimiche di produzione di energia della cellula del ciclo di Krebs o ciclo degli acidi tricarbossilici (TCA) e vengono mineralizzati in anidride carbonica e acqua (Harayama and Rekik, 1993).

Accanto alla più diffusa biodegradazione aerobica, esistono microrganismi capaci di degradare i BTEX in condizioni anaerobiche. In assenza di ossigeno, i microrganismi chemiotrofi utilizzano come accettore finale di elettroni composti quali nitrato, ferro ferrico o solfato (Heider et al., 1999). In assenza di questi accettori di elettroni si verifica l'ossidazione metanogenica degli idrocarburi (Lueders, 2017). Nonostante questi processi siano più lenti e meno efficienti rispetto alle degradazioni aerobiche, essi rappresentano una possibilità di biorisanamento in ambienti contaminati che non siano sufficientemente aerati o che presentino scarsa accessibilità per l'aria.

n-Alcani

La via biodegradativa degli alcani, detta via ALK, inizia con un attacco ossidativo del gruppo metilico terminale con la produzione finale di un acido grasso. Questo si trasforma, attraverso la via di β -ossidazione e successiva attivazione con CoA, in Acetil-CoA che entra così nel ciclo dei TCA (Wang and Shao, 2013).

Nei microrganismi sono presenti alcano ossidrilasi differenti per il catabolismo di alcani: in *Pseudomonas aeruginosa* PAO1, AlkB1 e AlkB2 idrossilano, rispettivamente, alcani C16-C24 e C12-C20; in *Alcanivorax borkumensis* AlkB1 e AlkB2 catabolizzano C5-C12 e C8-C16; in *Acinetobacter*, *Mycobacterium*, *Rhodococcus* e *Alcanivorax* sono stati riscontrati citocromi P450 che agiscono su alcani a media catena ($C < 20$). Spesso queste vie sono portate su elementi genetici mobili, e il più studiato dei quali è il plasmide OCT di *Pseudomonas putida* GPo1 (van Beilen et al., 2001). Per contro, ci sono poche informazioni riguardanti le vie biodegradative di alcani $C > 20$ (Rojo, 2009), riscontrate in *Acinetobacter* DSM 17874 (Throne-Host et al., 2007), in *Geobacillus thermodenitrificans* (Feng et al., 2007) e in *Acinetobacter baylyi* ADP1 (Vanechoutte et al., 2006).

3. Biorisanamento

Con il termine biorisanamento si intendono quei processi biologici (degradazione, detossificazione, mineralizzazione o trasformazione) che riducono la concentrazione degli inquinanti a livelli di non tossicità per gli esseri viventi (Azubuike et al., 2016). Quando riferiti agli idrocarburi del petrolio, questi processi sfruttano e ottimizzano la naturale capacità dei microrganismi di degradare gli inquinanti in prodotti meno pericolosi o mineralizzarli completamente ad acqua ed anidride carbonica. Rispetto ai metodi chimico-fisici convenzionali, i processi di bioattenuazione, inclusa la biodegradazione, portano alla formazione di prodotti innocui (anidride carbonica ed acqua), l'energia necessaria per le reazioni è fornita dai contaminanti stessi, i costi delle operazioni e degli investimenti sono minori e riescono inoltre a trattare contaminazioni caratterizzate da alte portate e basse concentrazioni di inquinanti (El-Naas et al., 2014). Per tutti questi motivi i processi di trattamento biologici rappresentano sempre più una valida alternativa nel campo della bonifica ambientale. Il successo di un'operazione di biorisanamento dipende da più parametri fisico-chimici ambientali e biologici. Nella scelta della migliore tecnica da adottare quindi è opportuno considerare più variabili, quali la natura dei composti inquinanti, la profondità e il grado di inquinamento, la posizione geografica del sito, i costi e le politiche ambientali, oltre che l'effettiva presenza di microrganismi che hanno capacità metaboliche adeguate per degradare i contaminanti.

3.1 Fattori ambientali che influenzano il biorisanamento degli idrocarburi del petrolio

Nei processi di biorisanamento basati quindi su processi biologici, devono essere rispettate le condizioni chimico-fisiche e biologiche corrette per il buon funzionamento delle cellule. La degradazione microbica è infatti influenzata da fattori biologici e chimico-fisici (Singh et al., 2010):

- a. comunità microbica competente: presenza di batteri con capacità cataboliche nei confronti dei contaminanti e di relative vie degradative specifiche, versatilità metabolica, resistenza a metalli pesanti e a concentrazioni elevate di composti tossici, chemotassi verso il contaminante, produzione di biosurfattanti;
- b. fattori ambientali: presenza di accettori terminali di elettroni (ossigeno in primis), disponibilità di elementi minerali (azoto, fosforo, potassio) e acqua, salinità, temperatura, pH;
- c. proprietà dell'idrocarburo: tossicità, solubilità, concentrazione, idrofobicità, biodisponibilità (presenza o meno di fasi separate o fasi solide).

Per esempio, gli studi di Li et al. (2006) riportano che concentrazioni di benzene superiori a 80 mg L^{-1} inibiscono l'attività degradativa di *Planococcus* sp. ceppo ZD22. Similmente Hamed et al. (2003) mostrano che *P. putida* F1 diminuisce la sua attività degradativa nei confronti del benzene a concentrazioni superiori a 380 mg L^{-1} e del toluene a concentrazioni superiori a 420 mg L^{-1} . L'interazione tra più substrati può inoltre creare fenomeni di antagonismo o di sinergismo. Le interazioni sinergiche migliorano il tasso di degradazione dei singoli contaminanti inducendo l'enzima catabolico necessario, mentre quelle antagonistiche inibiscono il tasso di degradazione di un altro composto esercitando tossicità, diauxia, repressione catabolica, competizione per i siti di attacco enzimatici o esaurimento degli accettori di elettroni quali l'ossigeno in condizioni aerobiche (Alvarez et al., 1991). Jo et al. (2008) mostrano che l'aumento della concentrazione di xilene in un substrato misto determina un buon effetto di sinergismo nella rimozione degli altri composti, mentre l'effetto opposto di antagonismo si verifica quando è la concentrazione di benzene ad aumentare. Secondo Hamed et al. (2003) la presenza di benzene e fenolo come co-substrati non influenzano significativamente la biodegradazione del toluene, ma al contrario il toluene e il fenolo influenzano negativamente quella del benzene.

La temperatura influenza il metabolismo microbico, in termini di natura ed estensione, e il tasso di diffusione, la biodisponibilità e la solubilità dei BTEX. Quest'ultima nello specifico diminuisce all'aumentare della temperatura (Vergara-Fernandez et al., 2007). Studi condotti sulla crescita e sull'attività degradativa di consorzi di microrganismi derivati da acquiferi contaminati da petrolio, hanno rilevato che la crescita cellulare aumenta quando la temperatura è compresa tra 7 °C e 35 °C, mentre diminuisce bruscamente quando è tra 36 - 40 °C (Deep et al., 1994). È noto che i microrganismi usati nelle biodegradazioni sopravvivono solitamente in un determinato range di pH. Per colture miste di *Pseudomonas*, You et al. (2013) indicano che l'attività batterica viene completamente inibita a pH inferiori a 5.9 e superiori a 10, mentre l'optimum si ha a pH compreso fra 6 e 8. Molti batteri sono neutrofili, quindi è a valori di pH pari a 7.5 che si verifica il massimo grado di biodegradazione dei BTEX.

L'ossigenazione mediante aerazione, lavorazioni meccaniche o aggiunta di composti che liberano ossigeno (KMnO_4 , H_2O_2 , O_3) stimolano l'attività microbica di biodegradazione aerobica. Per contro, l'aggiunta di accettori di elettroni alternativi all'ossigeno, ad esempio nitrato, stimolano la biodegradazione in condizioni anaerobiche (Zhao et al., 2015).

I microrganismi consumano i contaminanti organici, come i BTEX, per soddisfare le loro richieste di carbonio e di energia per svolgere le loro attività biologiche. Per un corretto sviluppo essi hanno inoltre bisogno di nutrienti minerali sotto forma di soluzioni di macronutrienti, come KH_2PO_4 , KNO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4Cl , NH_4HCO_3 , CaCl_2 , MgSO_4 , MnSO_4 , FeSO_4 , NaMoO_4 , e micronutrienti (vitamine e metalli). Se questi non sono presenti in concentrazioni sufficienti, è possibile prevederne l'aggiunta in campo sia sotto forma di soluzioni minerali, sia sotto forma di deiezioni animali stabilizzati, fanghi, biochar, residui colturali (Quin et al., 2013; Coles et al., 2009; Moli-na-Baraona et al., 2004). È stato proposto che rapporti molarari C:N:P utili per aumentare la biodegradazione degli idrocarburi in suoli siano pari a 100:9:2, 100:10:1, 100:10:5 o 250:10:3 (Zawierucha e Malina, 2011) e che approssimativamente si debba aggiungere 1-5% di N per ogni unità di peso di petrolio (Swannel et al., 1996). L'aggiunta di elementi minerali si è dimostrata utile anche in ambienti acquatici, ma l'intervento è da valutare attentamente per evitare rischi di eutrofizzazione (Nikolopolou and Kalogerakis, 2009).

La presenza di molecole surfattanti, sia di origine biologica (batterica o vegetale) sia aggiunta appositamente nel corso di operazioni di bonifica, non sempre assicura una migliore degradazione dei contaminanti (Lawniczak et al., 2013). Questo perché se da un lato diminuisce la tensione superficiale tra acqua e contaminante e aumenta la solubilità attraverso la ripartizione delle sostanze in micelle (Volkerling et al., 1997), la biodisponibilità del contaminante per le cellule non sempre aumenta (Colores et al., 2000). Inoltre, alcune molecole surfattanti possono sia rappresentare dei substrati che vengono preferenzialmente utilizzati dai batteri a discapito dei contaminanti, sia essere loro stesse tossiche per i batteri, inficiando così il processo di biodegradazione. L'aggiunta di surfattanti quale tecnica per aumentare la biodegradabilità degli idrocarburi del petrolio deve quindi essere attentamente valutata.

Alla base di ogni intervento di biostimolazione, vi è la valutazione della presenza di comunità microbiche adatte a condurre il processo di biorisanamento e l'identificazione e la quantificazione di queste popolazioni è un prerequisito necessario per comprendere e monitorare il processo (Hazen et al., 2013).

3.2 Tecniche di biorisanamento

Le tecniche di biorisanamento utilizzate storicamente nella bonifica di ambienti contaminati da idrocarburi del petrolio sono sia tecniche *in situ* e tecniche *ex situ* (Fig. 1). A causa delle operazioni di escavazione e di

trasporto, le tecniche *ex situ* sono considerate generalmente più costose mentre le tecniche *in situ* preservano maggiormente il paesaggio naturale (Jorgensen, 2007).

La profondità della contaminazione è un fattore di scelta decisivo: se l'inquinamento si trova a una profondità superiore a 1 m dal piano campagna sono infatti da preferire tecnologie *in situ*.

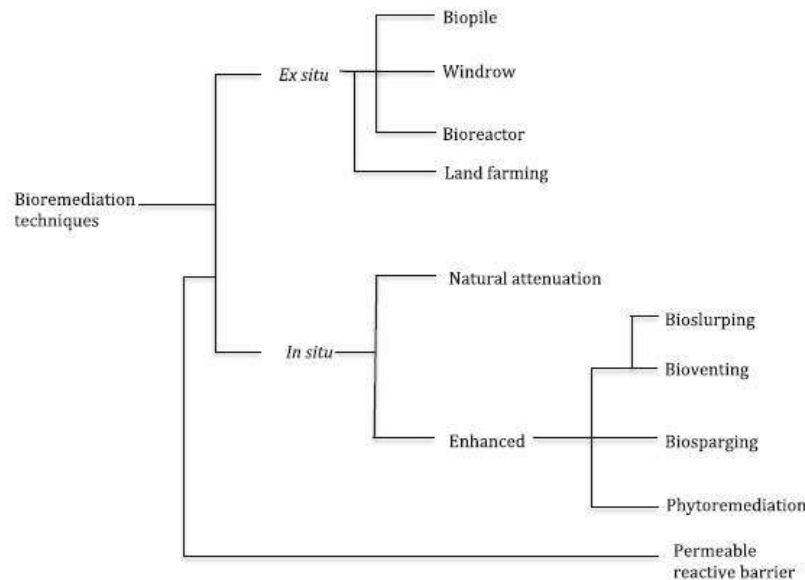


Figura 1 Tecniche di biorisanamento (da Azubuike et al., 2016)

Le tecnologie *ex situ* per il trattamento di matrici contaminate comprendono: biopile, bioreattori, *land-farming*. Hanno tutte lo scopo di aumentare le attività microbiche e migliorare l'efficienza dei processi biodegradativi mediante il controllo di parametri chimico-fisici e nutrizionali. Le biopile sono cumuli di suolo trasportati in appositi spazi dove vengono aerati, irrigati con acqua/sostanze minerali, addizionati di compost maturo, dove è anche previsto un sistema di raccolta e trattamento del percolato. I bioreattori prevedono la miscelazione della matrice contaminata con acqua e sostanze minerali fino ad ottenere una fase *slurry*. Nel *land-farming* la matrice è posta su suolo che viene lavorato e rimescolato apportando microrganismi autoctoni utili al risanamento. Questa tecnica, che richiede bassi costi e attrezzature semplici, può in realtà essere considerata sia *ex situ* che *in situ*. Le biopile e il *land-farming* andrebbero evitati in presenza di composti volatili tossici.

Nelle tecniche di biorisanamento *in situ*, il trattamento degli inquinanti si effettua senza alcuna operazione di escavazione e trasporto. Di conseguenza, la struttura del suolo viene disturbata solo in minima parte o non alterata affatto.

Fatta eccezione per la bioattenuazione naturale, o *monitored natural attenuation*, in cui non si effettua alcun intervento di miglioramento delle attività biologiche, anche queste tecniche richiedono l'aggiunta di nutrienti o accettori di elettroni quali l'ossigeno. Tra queste tecniche, il *bioventing* viene utilizzato per il ripristino di suoli insaturi contaminati da sversamenti di prodotti petroliferi leggeri (Philp and Atlas, 2005). Analogamente, con il *Biosparging* l'aria viene iniettata nella zona satura del sottosuolo (Azubuike et al., 2016). La sua efficacia dipende dalla permeabilità del suolo, che influenza la biodisponibilità e biodegradabilità dei contaminanti e la maggiore limitazione consiste nella conoscenza dei flussi d'aria all'interno del suolo. Il *biosparging* viene ampiamente utilizzato nei trattamenti di falde contaminate da

prodotti petroliferi, specialmente diesel e cherosene; permette inoltre di cambiare le condizioni anaerobiche dell'acquifero in aerobiche (Kao et al, 2008), divenendo uno strumento efficace per ridurre le concentrazioni di BTEX nelle acque di falda.

Accanto alle diverse tecniche messe in atto per la biostimolazione della microflora autoctona del sito, è possibile prevedere l'aggiunta di microrganismi per aumentare il pool microbico degradante tramite interventi di bioinoculazione o *bioaugmentation* (Palival et al., 2012). Diverse esperienze hanno evidenziato che la scelta dell'inoculo migliore per persistenza ed attività ricade sulla selezione di ceppi o consorzi microbici che provengono dal sito in esame. Questo assicura che la microflora selezionata sia di fatto già adattata alle condizioni di campo, compresa la presenza di una co-contaminazione di sostanze tossiche quali metalli pesanti e metalloidi che potrebbero limitare il processo biodegradativo.

Fitorisanamento assistito: piante e batteri in sinergia

Le piante svolgono un ruolo fondamentale nello svolgimento di servizi ecosistemici nei siti contaminati. In alternativa all'aggiunta di elementi nutritivi minerali quali fosforo, azoto e potassio, l'utilizzo delle piantumazioni può essere un'alternativa in aree a elevato valore paesaggistico ove si voglia incrementare processi di bioattenuazione. Quando sussistano vincoli paesaggistici, l'intervento di piantumazione rappresenta spesso una strada preferenziale. Oltre ad essere una pratica a basso impatto ambientale, la *phytoremediation* è caratterizzata da bassi costi di installazione e di mantenimento, operatività su larga scala, conservazione della struttura del suolo (Azubuike et al., 2016). Essa d'altro canto presenta alcuni svantaggi che ne limitano l'applicazione: esige tempi di bonifica piuttosto lunghi e dipende fortemente dalla concentrazione dei contaminanti, dalla loro biodisponibilità per le piante, dalla profondità delle radici e dal lento tasso di crescita che le caratterizza (Ali et al., 2013). Inoltre, la raccolta e lo smaltimento della biomassa può rappresentare un ulteriore costo di gestione.

Tra le piante più utilizzate vi sono:

- a. leguminose (*Medicago sativa*, *Trifolium pratense*): importanti per l'azione incremento della quota di azoto minerale nel suolo;
- b. erbacee (*Lolium perenne*, *Sorghum bicolor*, *Zea mays*, *Festuca arundinacea*, *Pennisetum purpureum*, *Cynodon dactylon*, *Lotus corniculatus*, *Helianthus annuus*, *Digitaria sanguinalis*, *Cyperus rotundus*): caratterizzate da un apparato radicale molto fitto;
- c. ornamentali (*Mirabilis jalapa*): con alta tolleranza agli idrocarburi;
- d. arboree (*Salix* spp., *Populus* spp.): efficaci in quanto sono facili da propagare, hanno crescita pluriennale, generano radici fittoniche che si estendono fino a livello della falda, hanno alti tassi di assorbimento dell'acqua, tollerano la presenza di inquinanti e le sommersioni intermittenti del suolo

I processi di fitorisanamento (*phytoremediation*) sono molteplici: fitostabilizzazione (riguardante principalmente processi a carico di metalli e metalloidi), fitovolatilizzazione (la pianta rimuove il contaminante evapo-traspirandolo in aria), fito/rizodegradazione (il metabolismo della pianta e dei batteri ad essa associati cooperano alla mineralizzazione degli inquinanti organici).

L'associazione tra piante e batteri del suolo nella rizosfera e nell'endosfera permette alle piante di sopravvivere anche in condizioni avverse, quali la presenza dei contaminanti sia organici che inorganici. Infatti i microrganismi infatti possiedono attività di promozione della crescita della pianta (*plant growth promoting bacteria*, PGPB) che vanno dall'aumento della biodisponibilità di elementi minerali quali azoto e fosforo, alla produzione di fattori di crescita (acido indol acetico, gibberelline, citochinine) (Hardoim et al.,

2008), alla attività di riduzione di produzione di etile da stress (attività ACC deaminasica) (Glick and Stearns, 2011). Allo stesso tempo, la presenza di essudati radicali (caratterizzati tra gli altri da composti quali terpeni, flavonoidi e derivati della lignina con strutture chimiche simili agli idrocarburi del petrolio) potenzia il metabolismo microbico e l'induzione delle vie cataboliche per la degradazione degli idrocarburi (Sun et al., 2010; Toyama et al., 2011; Phillips et al., 2012). Anche batteri endofitici, protetti all'interno dei tessuti radicali, hanno ottime capacità di biodegradazione dei contaminanti (Afzal et al., 2011; Lumactud et al., 2016). L'inoculazione di ceppi endofitici con capacità degradative è stata valutata quale tecnica di fitodegradazione di composti del petrolio (Tara et al., 2014; Balseiro-Romero et al., 2016).

4. Metodi innovativi per la valutazione dei processi di bioattenuazione in atto in siti contaminati

Le tecniche di indagine molecolare rappresentano un valido strumento per predire le capacità biodegradative di una comunità microbica in un determinato ambiente e nella selezione di inoculanti microbici. Sono inoltre utili per monitorare nel tempo l'impatto delle tecniche di biorisanamento sulla microflora del suolo e sulle sue abilità cataboliche (Baldwin et al., 2003; Torsvik et al., 1998). Questi metodi permettono inoltre di caratterizzare anche quella parte di comunità batterica non-coltivabile in laboratorio. Attualmente il gene target più importante e più utilizzato è il 16S rRNA; operando il suo sequenziamento mediante tecniche di *Next Generation sequencing*, permette infatti di individuare le specie di appartenenza dei microrganismi presenti nella comunità microbica (Větrovský and Baldrian, 2013). Altro approccio oggi ampiamente utilizzato in ecologia molecolare è la PCR quantitativa (q-PCR o real-time PCR): essa consente di determinare l'abbondanza di specifici taxa presenti in un ambiente. Con la q-PCR è inoltre possibile quantificare l'abbondanza di geni funzionali all'interno di un ambiente, andando ad indagare quei geni che codificano per enzimi di vie metaboliche o cataboliche chiave (Smith and Osborn, 2008). Questo strumento diviene importante quando allo studio dell'abbondanza di specifici geni si correla la loro distribuzione nel tempo, durante ad esempio le operazioni di biorisanamento. È così possibile verificare l'efficacia delle tecniche adottate, monitorare i loro effetti sulle comunità microbiche degradanti ed eventualmente modificare le condizioni entro cui si opera.

5. Interventi operativi in Italia

Il progetto EcoRemed (www.ecoremed.it), finalizzato dall'Unione Europea nel 2012, ha tracciato le linee guida per un approccio multidisciplinare per affrontare la tematica complessa dell'analisi, della tutela e del recupero ambientale.

Dopo la prima fase di caratterizzazione chimico fisica dei contaminanti, il grado di biodisponibilità e la definizione della loro distribuzione ambientale mediante GIS, la caratterizzazione fitosociologica e delle comunità microbiche degradanti, sono state messe in atto sperimentazioni pilota per l'applicazione di tecniche di fitorisanamento assistito da microrganismi. Accanto a parametri chimico fisici, nel corso delle azioni di riqualificazione sono state monitorate le variazioni delle comunità microbiche e le loro funzionalità sui contaminanti. Infine, è stato proposto un processo di valorizzazione delle biomasse dagli impianti di fitorisanamento.

Per il miglioramento dell'estensione e dell'efficienza radicale vengono proposti i seguenti interventi agronomici/microbiologici: fertilizzazione organica con aggiunta di compost (30-60 t/ha p.f. in suoli

chimicamente poveri e con problemi di struttura; 10 t/ha p.f. in suoli non problematici) e inoculo con micorrize e batteri autoctoni mediante interventi di fertirrigazione di preparati microbici preparati ad hoc.

Per isolare batteri con capacità degradative nei confronti dei contaminati vengono suggerite tecniche di piastramento sulle molecole target, caratterizzazioni fenotipiche e molecolari (identificazione mediante analisi della sequenza nucleotidica del gene 16S rRNA), prove di crescita sui substrati (che prevedono la determinazione chimica delle molecole degradate in un determinato intervallo di tempo), la valutazione delle proprietà emulsionanti quale indice della produzione di biosurfattanti, attività di promozione della crescita delle piante (quali ad esempio: produzione di siderofori, di acido indol acetico, solubilizzazione del fosfato). Una volta definita la miscela del preparato microbico, ciascun ceppo viene liofilizzato. All'occorrenza sarà sciolto nell'acqua d'irrigazione ad una concentrazione pari a circa 10^6 cellule/g suolo, e distribuito fino ad una profondità di circa 20-30 cm e in funzione delle qualità drenanti del suolo. Nel corso delle fasi di monitoraggio microbiologico, sono stati invece proposti metodi molecolari basati sull'estrazione del DNA/RNA ambientale e analisi di geni 16S rRNA delle comunità microbiche mediante tecniche di DGGE e di più recente *Next Generation Sequencing*.

Analogamente a quanto proposto nei protocolli stilati dal progetto EcoRemed, anche il progetto Life-RioRest (www.lifebiorest.com) attualmente in corso promuove metodi basati sull'uso di microrganismi e piante per bonificare siti contaminati da idrocarburi, con l'obiettivo di restituire le aree verdi alla comunità.

6. Aderenza dei processi di bioattenuazione con il Testo Unico Ambientale, D. Lgs. 152/06

Il quadro normativo a cui devono fare riferimento le procedure di biorisanamento, e tutti gli iter di bonifica in generale, è definito all'interno del Testo Unico Ambientale, D. Lgs. 3 aprile 2006, n. 152, nello specifico alla Parte IV Titolo V (articoli 239 – 253). L'articolo 240 definisce l'attività di bonifica ambientale come "l'insieme degli interventi atti ad eliminare le fonti di inquinamento e/o le sostanze inquinanti o a ridurre le concentrazioni delle stesse presenti nel suolo, nel sottosuolo e nelle acque sotterranee ad un livello inferiore alle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) e/o di Contaminazione (CSC)."

Gli interventi di bonifica e di messa in sicurezza devono essere condotti secondo i seguenti criteri tecnici generali:

- a. privilegiare le tecniche di bonifica che riducono permanentemente e significativamente la concentrazione nelle diverse matrici ambientali, gli effetti tossici e la mobilità delle sostanze inquinanti;
- b. privilegiare le tecniche di bonifica tendenti a trattare e riutilizzare il suolo nel sito, trattamento in-situ ed on-site del suolo contaminato, con conseguente riduzione dei rischi derivanti dal trasporto e messa a discarica di terreno inquinato;
- c. privilegiare le tecniche di bonifica/messa in sicurezza permanente che blocchino le sostanze inquinanti in composti chimici stabili (ed es. fasi cristalline stabili per metalli pesanti).
- d. privilegiare le tecniche di bonifica che permettono il trattamento e il riutilizzo nel sito anche dei materiali eterogenei o di risulta utilizzati nel sito come materiali di riempimento;
- e. prevedere il riutilizzo del suolo e dei materiali eterogenei sottoposti a trattamenti off-site sia nel sito medesimo che in altri siti che presentino le caratteristiche ambientali e sanitarie adeguate;
- f. privilegiare negli interventi di bonifica e ripristino ambientale l'impiego di materiali organici di adeguata qualità provenienti da attività di recupero di rifiuti urbani;) evitare ogni rischio aggiuntivo a

quello esistente di inquinamento dell'aria, delle acque sotterranee e superficiali, del suolo e sottosuolo, nonché ogni inconveniente derivante da rumori e odori;

- g. evitare rischi igienico-sanitari per la popolazione durante lo svolgimento degli interventi
- h. adeguare gli interventi di ripristino ambientale alla destinazione d'uso e alle caratteristiche morfologiche, vegetazionali e paesistiche dell'area.
- i. per la messa in sicurezza privilegiare gli interventi che permettano il trattamento in situ ed il riutilizzo industriale dei terreni, dei materiali di risulta e delle acque estratte dal sottosuolo, al fine di conseguire una riduzione del volume di rifiuti prodotti e della loro pericolosità;
- j. adeguare le misure di sicurezza alle caratteristiche specifiche del sito e dell'ambiente da questo influenzato;
- k. evitare ogni possibile peggioramento dell'ambiente e del paesaggio dovuto dalle opere da realizzare.

Viste le caratteristiche degli interventi, il fitorisanamento come gli altri metodi basati sulla biostimolazione microbica sono in linea con quanto decretato dal legislatore, permettendo inoltre di migliorare la qualità dell'ambiente e del paesaggio.

Valutazione delle attività microbiche biodegradative nel sito di Morimondo

In questa sezione vengono restituiti i risultati relativi alle analisi di caratterizzazione microbiologica (batteri aerobi totali e di batteri degradanti esano, esadecano e miscela di *o*-, *m*- e *p*-xilene), e di biodegradazione condotte su tre campioni di suolo del sito di effrazione dell'Oleodotto Eni da 10" Sannazzaro-Rho concordati con il committente.

I campioni per le analisi microbiologiche sono stati prelevati il 24 settembre 2018. Nel corso dell'uscita, è stato misurato il VOC (Tabella 1). Non sono stati prelevati campioni per la caratterizzazione chimica, di cui si riportano dati pregressi forniti dal committente (Tabella 1).

Tabella 1. Caratterizzazione iniziale dei campioni utilizzati per analisi microbiologiche

Campione	Profondità prelievo	Idrocarburi [§] (mg/Kg)	VOC in campo [°] (ppm)
SB1	Campione composito	BH5 3,5-4,5 m	3m - 380
suolo zona effrazione	3,5-5 m	C<12: 330 C>12: 3750 mg/kg X: 24.5	4m - 250 5 m - 150
SB2	Campione composito	1P 4-5 m	3-4 m - 150
suolo (vicino a Pz24)	4-5 m	C<12: 92 C>12: 1020 mg/kg X: 5.1	4-5 m - 150
SB3	Campione composito	Terreno 0,6-1,6 m	0.2-0.8 m - 330
suolo prato (vicino a Pz21)	0,5-2 m	C<12: 50 C>12: 277 mg/kg X: 0,75	1.5-2 m - 505

[§], analisi pregresse effettuate da The IT Group senza prelievo di campioni aggiuntivi per la caratterizzazione chimica in data 24/09/2018; [°], analisi effettuata da tecnico ENI/The IT Group in data 24/09/18

1. Caratterizzazione microbiologica

I metodi utilizzati per la determinazione del numero di microrganismi sono stati quello della conta vitale in piastra per i batteri aerobi totali, e quello del *most probable number* (MPN) per i batteri degradanti.

I titoli di batteri aerobi totali sono nell'ordine di 10^6 CFU/g s.s. per i campioni SB1, di 10^4 CFU/g s.s. per SB2 e di 10^7 CFU/g s.s. per SB3. Il numero di questi batteri è indicativo della dotazione del suolo di microrganismi in grado di mineralizzare la sostanza organica, di qualsiasi origine essa sia. Generalmente, i suoli con maggiori dotazioni di sostanza organica, quali quelli superficiali in cui è presente anche la vegetazione, hanno titoli microbici superiori rispetto a suoli sciolti e poveri in sostanza organica. Il campione con numero di microrganismi minore è stato SB2, caratterizzato prevalentemente da scheletro evidenziato nel corso del carotaggio. Il campione SB1, proveniente dal punto di effrazione, presenta un discreto numero di batteri totali. Il campione SB3 prelevato nella zona di prato, presenta una buona dotazione in batteri totali che potrebbero essere favoriti dalla lisciviazione dei prodotti di degradazione della sostanza organica sovrastante derivante dal prato stesso.

I batteri degradanti sono presenti nei punti campionati a vario titolo (Tabella 2). In tutti i campioni i batteri degradanti a titolo più basso sono quelli relativi alla miscela di *orto*-, *meta*- e *para*-xilene rispetto ad esano ed esadecano. Il titolo più alto di batteri degradanti lo xilene è stato rilevato in SB2 ed è pari a 2.5×10^2 MPN/g s.s.. I batteri in grado di crescere su esano presentano titoli discreti compresi tra 10^2 e 10^5 MPN/g s.s., mentre i batteri degradanti l'esadecano hanno valori decisamente buoni in tutti i campioni e compresi tra 10^3 e 10^7 MPN/g s.s..

Tabella 2. Cariche microbiche presenti nel sito di Morimondo: batteri aerobi totali e batteri degradanti idrocarburi del petrolio

Campione	Profondità prelievo	Batteri totali (CFU/g s.s.)	Batteri degradanti (MPN/g s.s.)		
			Esano	Esadecano	Xilene*
SB1	Campione composito	1.1×10^6	2.5×10^3	3.4×10^5	4.8×10^1
suolo zona effrazione	3,5-5 m				
SB2	Campione composito	1.4×10^4	2.5×10^2	4.9×10^3	2.5×10^2
suolo (vicino a Pz24)	4-5 m				
SB3	Campione composito	2.3×10^7	4.7×10^4	1.1×10^7	2.6×10^1
suolo prato	0,5-2 m				
(vicino a Pz21)					

*, miscela equimolare di isomeri *ortho*, *meta* e *para* dello xilene

2. Prova di biodegradazione

La prova di biodegradazione era finalizzata ad ottenere elementi utili alla valutazione della potenzialità di applicazione di processi di biorisanamento nell'area in esame.

E' stata effettuata un'analisi della capacità biodegradativa delle classi dei seguenti composti: alifatici C5-C8, alifatici C9-C12, aromatici C9-C10, aromatici C11-C12, TPH $C \leq 12$, alifatici C13-C18, alifatici C19-C36, aromatici C13-C22, TPH $C > 12$, Benzene, Toluene, Etilbenzene, miscela di isomeri dello Xilene.

I campioni di suolo sono stati conservati in vasi di vetro per 24 ore a 4°C prima dell'allestimento della prova.

I campioni sono stati setacciati e posti, in ragione di 30 g, in vial di vetro sterili. Ogni campione di suolo è stato risospeso in una soluzione minerale ottimale per l'attività microbica (*mineral minimal medium* M9) in ragione di 70 ml (vol suolo/vol soluzione minerale, 30/70). I vial sono stati chiusi mediante tappi di gomma teflonata e ghiere a tenuta. Le sospensioni di suolo (suolo slurry) sono state poste in incubazione in agitazione a 28°C. Le analisi dei composti sono state condotte sulla frazione solida dei campioni al tempo iniziale (Tempo zero) e dopo 42 giorni di incubazione, utilizzando spettrometria di massa accoppiata alla gas

cromatografia (GC-MS). La prova è stata allestita in triplicato. Il peso secco dei campioni è stato determinato dopo passaggio in stufa a 105°C fino a peso costante.

2.1 Caratterizzazione iniziale dello stato di contaminazione

In tabella 3 vengono riportate le concentrazioni dei contaminanti determinate nei campioni di suolo all'inizio della prova (tempo zero di incubazione).

Il campione SB1 (punto di effrazione) è risultato il campione maggiormente interessato dalle contaminazioni, seguito da SB3 (suolo prato) (Tabella 3).

Ad esclusione di benzene e toluene, in SB1 tutte le classi di composti eccedono il limite di legge, evidenziando che il punto di effrazione è ancora contaminato prevalentemente da idrocarburi leggeri $C \leq 12$ e idrocarburi pesanti $C > 12$ (DLgs 152 (06), Allegato 5 al Titolo V della parte Quarta). Anche etilbenzene e m- e p-xilene superano, sebbene di poco, tali limiti. Il campione SB2 non è risultato contaminato da alcun composto tra quelli analizzati.

La contaminazione da idrocarburi leggeri $C \leq 12$ e idrocarburi pesanti $C > 12$ persiste lungo il fronte di pendenza, dove supera i limiti di legge nel campione SB3 per entrambe le classi.

Molti valori riportati in tabella 3 risultano inferiori al limite di rilevabilità.

Tabella 3. Concentrazione di idrocarburi aromatici ed alifatici nei campioni di suolo al tempo iniziale

Composto	Concentrazione (mg/kg s.s.)			
	Lgs 152(06)	SB1	SB2	SB3
benzene	0.10	<0.06	<0.06	<0.06
etilbenzene	0.50	0.55	0.40	0.23
toluene	0.50	<0.08	<0.08	<0.092
o-xilene		0.28	<0.09	<0.08
m,p-xilene		0.61	0.29	<0.22
sommatoria xileni	0.50	0.89	0.29	<0.22
C5-C8 alifatici		<8.30	<5.95	<6.30
C9-C12 alifatici		209.00	<6.70	24.50
C9-C10 aromatici		19.40	<1.25	<1.4
C11-C12 aromatici		<3.65	<3.55	<3.6
Idrocarburi Leggeri C ≤ 12	10.00	228.40	<6.70	24.50
C13-C18 alifatici		276.00	21.50	94.00
C19-C36 alifatici		686.50	19.80	112.50
C13-C22 aromatici		<3.65	<3.55	<3.60
Idrocarburi pesanti C > 12	50.00	962.50	41.30	206.50

"<X" indica un valore inferiore a MDL, con MDL = limite di rilevabilità: individua un intervallo di confidenza dello zero ad un livello di probabilità del 99%.

2.2 Degradazione abiotica vs. biodegradazione

In tabella 4 vengono riportate le percentuali di degradazione biotica e abiotica dei contaminanti. Nei campioni in cui il valore di concentrazione fosse inferiore al limite MDL (limite di rilevabilità), la percentuale di degradazione non è stata calcolata ed in tabella è stata inserita la dicitura "n.d." (non determinabile). Per le classi dei composti: miscela di xileni, idrocarburi C≤12 e C>12, vengono riportate sia le percentuali di degradazione delle singole componenti, sia quelle calcolate utilizzando il dato di concentrazione ottenuto dalla sommatoria delle concentrazioni delle singole componenti.

Per la maggior parte dei campioni, le degradazioni abiotiche sono risultate inferiori rispetto alle biotiche (Tabella 4). Questo indica che per la miscela di xileni e la classe degli idrocarburi leggeri C≤12 i processi di degradazione chimico-fisici, quando presenti, sono trascurabili rispetto a quelli biologici, nelle condizioni in cui sono state condotte le prove. Gli idrocarburi pesanti C>12 non hanno subito processi evidenti di degradazione abiotica, mentre i processi biotici hanno contribuito ad una loro diminuzione nei campioni SB2 (dove non eccedevano il limite di legge) e SB3. Al tempo iniziale, la concentrazione dei composti monoaromatici e idrocarburi leggeri C≤12 nel campione abiotico è risultata sempre inferiore al campione

biotico, verosimilmente per fenomeni di desorbimento termico causati dal surriscaldamento a 110°C del campione di suolo passato in autoclave per la sterilizzazione. Questo fenomeno non è stato evidenziato per la classe degli idrocarburi pesanti C>12. Da notare come nel campione SB1 il trattamento al calore della sterilizzazione abbia mobilizzato i composti C>12.

Tabella 4. Prova di biodegradazione: percentuali di scomparsa dei composti nei campioni di suolo sottoposti a sterilizzazione (degradazione abiotica) e non (biodegradazione)

Composto	SB1		SB2		SB3	
	Biodegradazione (%)	Degradazione abiotica (%)	Biodegradazione (%)	Degradazione abiotica (%)	Biodegradazione (%)	Degradazione abiotica (%)
benzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
etilbenzene	63.6	31.0	63.0	4.3	32.0	38.7
toluene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
o-xilene	69.3	>14.7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
m-,p-xilene	>61.8	n.d.	>30.8	n.d.	n.d.	n.d.
sommatoria xileni	67.3	>14.7	>30.8	n.d.	n.d.	n.d.
C5-C8 alifatici	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
C9-C12 alifatici	32.1	0.0	n.d.	n.d.	63.5	n.d.
C9-C10 aromatici	57.8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
C11-C12 aromatici	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Idrocarburi Leggeri C ≤ 12	34.3	0.0	n.d.	n.d.	63.5	n.d.
C13-C18 alifatici	0.0	0.0	65.7	0.0	39.0	9.8
C19-C36 alifatici	1.8	0.3	47.7	0.0	25.4	12.4
C13-C22 aromatici	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Idrocarburi pesanti C > 12	1.3	0.0	57.1	0.0	31.6	11.5

n.d., non determinabile: valore percentuale non calcolabile in quanto la concentrazione del contaminante non raggiungeva il limite di rilevanza strumentale

2.3 *Biodegradazione microbica*

Di seguito vengono discussi prevalentemente i dati ottenuti nella prova di biodegradazione (Tabella 4 e Figura 1) relativi ai composti che hanno presentato valori superiori al limite di rilevabilità strumentale e che hanno reso possibile il calcolo della quota di composto degradata.

Etilbenzene

Il composto, che eccedeva il limite di legge solo in SB1, è stato biodegradato in tutti i campioni con valori compresi tra il 32 e il 63.6% (Tabella 4). In particolare nel campione SB1, dove inizialmente la concentrazione era pari 0.55 mg/kg s.s., l'attività microbica fa calare il composto a valori pari a 0.20 mg/kg s.s., al di sotto del limite legislativo (Figura 1). Si evidenziano lievi diminuzioni anche nel campione abiotico a carico di fenomeni di desorbimento chimico e passaggio nelle fasi acquosa e gassosa, non soggette ad analisi nella presente convenzione.

Miscela di xileni

La miscela di xileni, che superava i limiti di legge solo per la componente di *m*- e *p*-xilene nel campione SB1 (Tabella 3), veniva biodegradata in ragione del 67.3% in SB1, raggiungendo al termine della prova valori pari a 0.3 mg/Kg s.s. a partire da 0.89 mg/kg s.s. (Figura 1). In questo campione, venivano degradati dall'attività microbica sia l'*o*-xilene che il *m*- e *p*-xilene in ragione rispettivamente del 69.3 e >61.8% (Tabella 4), traguardando il limite di legge. Nei campioni SB2 e SB3 la concentrazione sommatória degli xileni non raggiungeva valori misurabili: gli isomeri dello xilene sono quindi da ritenersi presenti in prossimità dello zero analitico con una confidenza del 99%. Unico dato riferibile è quello relativo al campione SB2, nel quale *m*- e *p*-xilene inizialmente presenti in 0.29 mg/Kg s.s. sono stati biodegradati con intensità superiore al 30.8%. Anche i campioni abiotici non presentavano concentrazioni rilevabili di xileni, probabilmente a causa del desorbimento termico dei composti dalla matrice suolo a seguito della sterilizzazione.

Idrocarburi leggeri C_{≤12}

La classe degli idrocarburi leggeri C_{≤12} eccede i limiti di legge nei due campioni SB1 e SB3 (Tabella 3). L'attività biodegradativa in SB1 e SB3 porta ad abbattimenti dei composti del 34.3 e 63.5% rispettivamente (Tabella 4). Questa classe di composti non raggiunge i limiti di legge in SB1 dove arriva a 154.7 mg/kg s.s. partendo da 233.7 mg/kg s.s., mentre li raggiunge in SB3 dove arriva a 8.9 mg/kg s.s. partendo da 24.5 mg/kg s.s. (Figura 1). Tra gli idrocarburi leggeri, i C₉-C₁₂ alifatici sono preponderanti: in SB1 partono da 209.00 mg/kg s.s. (Tabella 3) e raggiungono concentrazioni pari 142 mg/kg s.s. degradandosi del 32.1% (Tabella 4); in SB3 partono da 24.50 mg/kg s.s. (Tabella 3) e arrivano a 8.9 mg/kg s.s., degradandosi del 63.5 % (Tabella 4). Nel campione SB2, i composti C_{<12} sono al di sotto del limite di rilevabilità sin dall'inizio della prova.

Idrocarburi pesanti C_{>12}

La classe degli idrocarburi pesanti C_{>12} supera abbondantemente i limiti di legge nei campioni SB1 e SB3, mentre nel campione SB2 la concentrazione è pari a 41.30 mg/kg s.s. (Tabella 3). La biodegradabilità di questi composti è risultata scarsa in SB1 (pari a 1.3 e 1.5%), buona in SB2 (57.1%) e discreta in SB3 (32%) (Tabella 4). Nei campioni SB1 e SB3 nel tempo di incubazione della prova (42 giorni) il processo biodegradativo non è stato sufficiente a raggiungere il limite di legge (Figura 1), a causa della recalcitranza

dei composti all'attacco microbico. E' possibile che incubazioni più lunghe portino all'abbassamento delle concentrazioni. All'interno di questa classe, gli idrocarburi C19-C36 alifatici sono quelli che rappresentano la maggior parte degli inquinanti. Questi hanno percentuali di biodegradazione che variano dall'1.8% in SB1 al 25.4% in SB3, fino al 47.7% in SB2. Sono seguiti dagli idrocarburi C13-C18 alifatici, che hanno percentuali di biodegradazione che variano dallo 0% in SB1, al 39% in SB3 e al 66% in SB2. Gli idrocarburi C13-C22 aromatici sono al di sotto dei limiti.

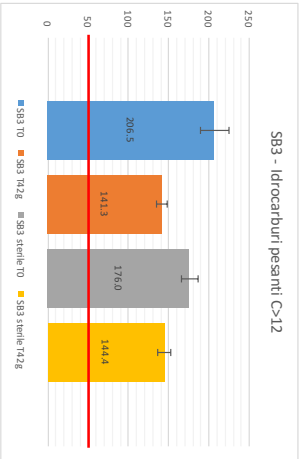
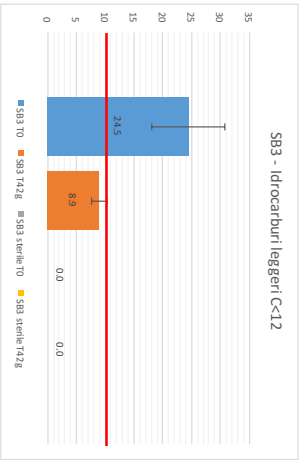
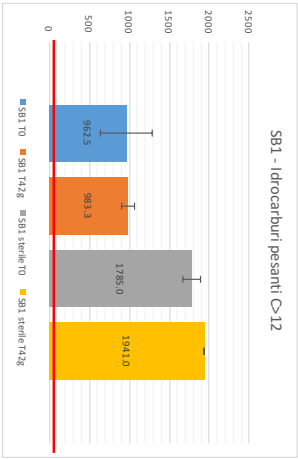
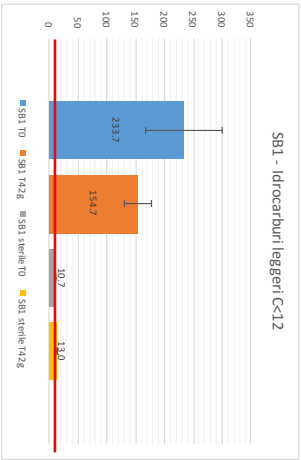
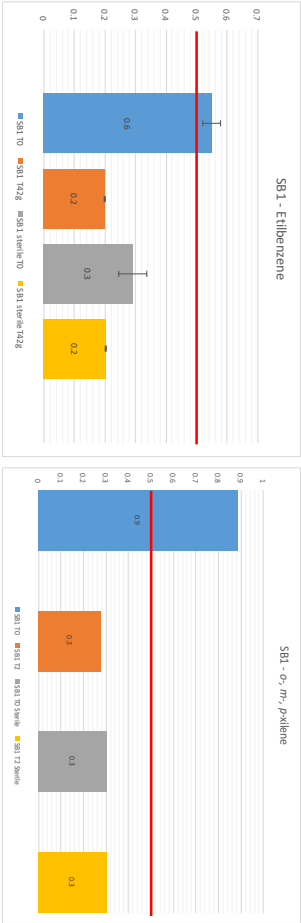


Figura 1. Prova di biodegradazione: abbattimento di classi di contaminanti che superano i limiti di legge nel sito di Morimondo. Vengono riportate le concentrazioni in ordinata (mg/kg s.s.) per i campioni non sterilizzati (biotici) e sterilizzati (abiotici). La linea rossa rappresenta il limite per la definizione della contaminazione ai sensi del DLgs 152 (06), Allegato 5 al Titolo V della parte Quarta.

2.4 Conclusioni della prova di biodegradazione

Le analisi condotte sui campioni incubati per 42 giorni hanno evidenziato che nel sito sono presenti popolazioni microbiche indigene in grado di degradare la maggior parte dei composti, indipendentemente che superino o meno i limiti di legge. Vengono di seguito tratte le conclusioni per i campioni e i composti che superano i limiti di legge.

I composti monoaromatici (etilbenzene e sommatoria di xileni) vengono trapiuguardati in SB1, quando la microflora viene adeguatamente stimolata con l'aggiunta di composti minerali (N, P, K) e acqua.

La classe dei composti idrocarburi leggeri $C \leq 12$ viene trapiuguardata in SB3, ma non in SB1. La maggiore attivit  biodegradativa in SB3 (63.5%) rispetto a SB1 (34.3%) potrebbe essere dovuta al fatto che il campione SB3, provenendo dalla zona di prato ed essendo pi  superficiale, presenterebbe un maggior grado di biodiversit  microbica e una microflora utile al biorisanamento pi  ampia. La presenza di essudati radicali potrebbe influire positivamente su queste attivit  microbiche. Il discreto titolo dei batteri esano-degradanti, superiori di un ordine di grandezza in SB3 rispetto a SB1, potrebbe essere responsabile sia delle differenti concentrazioni iniziali (233.7 mg/kg s.s. in SB1 e 24.5 mg/kg s.s. in SB3), sia del maggior abbattimento percentuale dei contaminanti da parte della microflora presente in SB3 (63.5%) rispetto a SB1 (34.3%).

La classe degli idrocarburi pesanti $C > 12$ rappresenta un problema per il sito, in quanto i composti superano fortemente i limiti in SB1 e SB3, ma non in SB2. La biodegradazione dei composti idrocarburi $C > 12$   stata trascurabile in SB1. In SB2 la biodegradazione   stata pari a 57.1% verosimilmente per la presenza di concentrazioni non tossiche per i batteri. In SB3 la biodegradazione   stata pari a 31.6%. Qui le condizioni chimico-fisiche del suolo sembrerebbero essere le pi  idonee per lo sviluppo di batteri degradanti, che sono presenti nella concentrazione massima rilevata nel sito (1.1×10^7 MPN/g s.s.). E' possibile che incubazioni pi  lunghe rispetto a quella adottata nelle presenti prove avrebbero permesso di abbassare ulteriormente le concentrazioni.

Prospettive per il biorisanamento

Complessivamente, i campioni possiedono una microflora aerobica totale soddisfacente e in linea con le loro caratteristiche pedologiche di suolo sotto-superficiale, tipicamente pi  povero in batteri aerobi rispetto a campioni superficiali. Non sembrerebbe che la presenza di inquinanti possa aver influenzato negativamente tale valore, sebbene non siano noti dati relativi alle cariche microbiche precedenti l'evento di effrazione.

I titoli dei batteri degradanti riscontrati nei campioni e le prove di biodegradazione effettuate indicano che nel sito   presente una microflora utile ai processi biodegradativi. Come evidenziato dalle prove di biodegradazione, i processi di bioattenuazione possono essere incrementati ulteriormente per molti dei contaminanti riscontrati, a vario grado a seconda del campione e del contaminante, quando i microrganismi vengono posti in condizioni nutrizionali ottimali.

In particolare, per accelerare la bioattenuazione dei composti monoaromatici (etilbenzene e xileni) nel punto di effrazione (SB1) in cui la loro concentrazione eccede il limite di legge, potrebbe essere utile

migliorare la nutrizione minerale del suolo. Questa potrebbe essere effettuata mediante fertirrigazione con soluzioni di miscele azoto-fosforo-potassio (NPK) lungo il profilo del suolo fino alla profondità interessata dalla contaminazione. Questo intervento potrebbe avere effetti positivi anche sull'incremento di batteri degradanti idrocarburi leggeri $C \leq 12$ e pesanti $C > 12$, presenti in SB1 ma non sufficientemente attivi su questa classe di molecole.

Analogo intervento di fertirrigazione NPK potrebbe essere effettuato nel punto SB3 (zona prato) per incrementare la biodegradazione di idrocarburi leggeri $C \leq 12$ (per i quali nella prova di biodegradazione vengono traggurate le concentrazioni) e pesanti $C > 12$. Nel punto SB3, è possibile ipotizzare anche un intervento di plantumazione con pioppi quale ulteriore opportunità di biorisanamento assistito, in quanto gli essudati radicali stimolerebbero anche i processi di rizodegradazione a carico dei batteri. Tale intervento non sembrerebbe idoneo nel punto SB1, vista la profondità della contaminazione.

Dalle analisi svolte è emerso che le attività microbiche biodegradative non sono sufficienti a traggurare gli idrocarburi pesanti $C > 12$ in SB1 e SB3, sebbene in quest'ultimo punto vi sia stata una riduzione delle concentrazioni nella prova di biodegradazione. Vista l'attività biodegradativa dimostrata dai consorzi microbici del punto SB3 nei confronti di idrocarburi $C \leq 12$ e $C > 12$, sarebbe utile selezionare da questo campione batteri degradanti tali composti, al fine di costituire degli inoculi autoctoni con i quali effettuare degli interventi di bio-inoculazione (*bioaugmentation*) nei diversi punti di accumulo dei contaminanti, quali SB1.

Fermo restando che la fertirrigazione NPK concorrerebbe a diminuire la contaminazione, sarebbe preferibile un intervento congiunto utilizzando diversi strumenti di biorisanamento vista la recalcitranza dei composti: i) plantumazione, che come sopra descritto crea un ambiente rizosferico favorevole alle attività microbiche; ii) bio-inoculazione con microrganismi degradanti appositamente selezionati dai suoli del sito. A questo scopo, il suolo SB3 rappresenta un'ottima fonte di tali microrganismi.

Concludendo, interventi di bio-stimolazione (fertirrigazione NPK e plantumazione) e bio-inoculazione per potenziare l'attività biodegradativa della microflora autoctona potrebbero migliorare lo stato di contaminazione del sito di Morimondo, dove sussistono vincoli paesaggistici e dove sarebbe auspicabile un intervento di risanamento poco invasivo e duraturo.

In tabella 5 vengono riassunti gli interventi proposti.

Tabella 5. Proposte di intervento nel sito di Morimondo, relativamente ai campioni non conformi SB1 e SB3

Punto	Contaminazione	Intervento
SB1	Monoaromatici	- Fertirrigazione NPK
	Idrocarburi leggeri C \leq 12	- Fertirrigazione NPK
		- Bio-inoculazione con microrganismi autoctoni selezionati
	Idrocarburi pesanti C $>$ 12	- Fertirrigazione NPK
		- Bio-inoculazione con microrganismi autoctoni selezionati
SB3	Idrocarburi leggeri C \leq 12	- Fertirrigazione NPK
		- Plantumazione
	Idrocarburi pesanti C $>$ 12	- Fertirrigazione NPK
		- Bio-inoculazione con microrganismi autoctoni selezionati
		- Plantumazione

Bibliografia

- Afzal, M., Yousaf, S., Reichenauer, T. G., Kuffner, M., and Sessitsch, A. (2011). Soil type affects plant colonization, activity and catabolic gene expression of inoculated bacterial strains during phytoremediation of diesel. *J. Hazard. Mater.* 186, 1568–1575.
- Alagappan G., Cowan R. M. (2004). Effect of temperature and dissolved oxygen on the growth kinetics of *Pseudomonas putida* F1 growing on benzene and toluene. *Chemosphere* 54, 1255-65.
- Alberici R. M., Zampronio C. G., Poppi R. J., Eberlin M. N. (2002). Water solubilization of ethanol and BTEX from gasoline: on-line monitoring by membrane introduction mass spectrometry. *Analyst* 127 (2): 230-234.
- Ali H., Khan E., Sajad M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals-concepts and applications. *Chemosphere* 91: 869-881.
- Alvarez P., Vogel T. (1991). Substrate interactions of benzene, toluene, and para-xylene during microbial degradation by pure cultures and mixed culture aquifer slurries. *Applied and Environmental Microbiology* 57, 2981-5.
- Ananham R., Tamura T., Hamada M., Weon H. Y., Kim S. J., Kim Y. S., Suzuki K., Know S. W. (2011). *Microbacterium suwonense* sp. nov., isolated from cow dung. *J. Microbiol.* 49 (5), 852-856.
- Anderson R., Lovley D. (2000). Anaerobic bioremediation of benzene under sulfate-reducing conditions in a petroleum-contaminated aquifer. *Environ Sci Technol* 34: 2261-2266.
- Andreoni V., Gianfreda L. (2007). Bioremediation and monitoring of aromatic-polluted habitats. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 76, 287-308.
- Asimiea O. A., Sam-Wobo S. O. (2011). The impact of hydrocarbon waste from brass oil terminal on the Phytoplankton and Periphyton communities of lower Brass River, Niger Delta, Nigeria. *J. Emerg. Trends Eng. Appl. Sci.* 2, 729-733.
- Azubuike C. C., Chikere C. B., Okpokwasili G. C. (2016). Bioremediation techniques-classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects. *World J Microbiol Biotechnol* 32: 180.
- Baldwin B. R., Nakatsu C. H., Nies L. (2003). Detection and Enumeration of Aromatic Oxygenase Genes by Multiplex and Real-Time PCR. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 69: 3350-3358.
- Balseiro-Romero, M., Gkorezis, P., Kidd, P. S., Vangronsveld, J., and Monterroso, C. (2016). Enhanced degradation of diesel in the rhizosphere of *Lupinus luteus* after inoculation with diesel-degrading and plant growth-promoting bacterial strains. *J. Environ. Q.* 45, 924–932.
- Boopathy R. (2000). Factors limiting bioremediation technologies. *Bioresource Technology* 74, 63-67.
- Camilli R., Reddy C. M., Yoerger D. R., Van Mooy B. A., Jakuba M. V., Kinsey J. C., McIntyre C. P., Sylva S. P., Maloney J. V. (2010). Tracking hydrocarbon plume transport and biodegradation at Deepwater Horizon. *Science* 330 (6001): 201-204.

- Cardinale M., Brusetti L., Quatrini P., Borin S., Puglia A. (2004). Comparison of different primers sets for use in automated ribosomal intergenic spacer analysis of complex bacterial communities. *Appl Environ Microbiol*, 70, 6147-6156.
- Castillo M., Oubina A., Barcelò D. (1998). Evaluation of ELISA kits followed by liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization-mass spectrometry for the determination of organic pollutants in industrial effluents. *Environ. Sci. Technol.* 32 (14): 2180-2184.
- Coles, C. A., Patel, T. R., Akinola, A. P., and Helleur, R. J. (2009). Influence of bulking agents, fertilizers and bacteria on the removal of diesel from a newfoundland soil. *Soil Sediment Contam.* 18, 383–396.
- Costa A. S., Romão L. P. C., Araújo B.R., Lucas S. C. O., Maciel S. T. A., Wisiewski A., Alexandre M. D. R. (2012). Environmental strategies to remove volatile aromatic fractions (BTEX) from petroleum industry wastewater using biomass. *Bioresour. Technol.* 105: 31-39.
- Cozzarelli I. M., Baehr A. L. (2003). Volatile fuel hydrocarbons and mTBE in the environment. *Treatise on Geochemistry*, Oxford, Pergamon, pp. 433-74.
- Cozzarelli I. M., Bekins B. A., Baedeker M. J., Aiken G. R., Eganhouse R. P., Tuccillo M. E. (2001). Progression of natural attenuation processes at a crude-oil spill site: I. Geochemical evolution of the plume. *J. Contam. Hydrol.* 53 (3): 369-385.
- Deep R. A., Alvarez-Cohen L. (1994). Thermally enhanced bioremediation of a gasoline-contaminated aquifer using toluene oxidizing bacteria. *Critical Issue in Water and Wastewater Treatment*, New York, American Society of Civil Engineers, pp. 400-7.
- Deep R.A., Alvarez-Cohen L. (1999). Temperature effects and substrate interactions during the aerobic biotransformation of BTEX mixtures by toluene-enriched consortia and *Rhodococcus rhodochrous*. *Biotechnology and Bioengineering* 62, 526-36.
- Dias R. L., Ruberto L., Calabrò A., Balbo A. L., Del Panno M. T., Mac Cormack W. P. (2015). Hydrocarbon removal and bacterial community structure in on-site biostimulated biopile system designed for bioremediation of diesel-contaminated Antarctic soil. *Polar Biol* 38: 677-687.
- El-Naas M. H., Acio J. A., El Telib A. E. (2014). Aerobic biodegradation of BTEX: Progress and Prospects. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2, 1104-1122.
- European Environment Agency (EEA), (2011). <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/progress-in-management-of-contaminated-sites/progress-in-management-of-contaminated>.
- Farhadian M., Vachelard C., Duchez D., Larroche C. (2008). In situ bioremediation of monoaromatic pollutants in groundwater: A review. *Bioresour. Technol.* 99, 5296-5308.
- Fayemiwo O. M., Daramola M. O., Moothi K. (2017). BTEX compounds in water – future trends and directions for water treatment. *Water SA* vol. 43 n. 4 Pretoria.
- Fellenberg G. (1980). *Introdução aos problemas da poluição ambiental*. EPU, São Paulo, SP.

- Glick, B. R., and Stearns, J. C. (2011). Making phytoremediation work better: maximizing a plant's growth potential in the midst of adversity. *Int. J. Phytoremed.* 13, 4–16.
- Hamed T. A., Bayraktar E., Mehmetoglu T., Mehmetoglu U. (2003). Substrate interactions during the biodegradation of benzene, toluene and phenol mixtures. *Process Biochemistry* 39, 27-35.
- Harayama S., Rekik M. (1993). Comparison of the nucleotide sequences of the meta-cleavage pathway genes of TOL plasmid pWWO from *Pseudomonas putida* with other meta-cleavage genes suggests that both single and multiple nucleotide substitution contribute to enzyme evolution. *Mol. Gen. Genet.* 239, 81-89.
- Hardoim, P. R., van Overbeek, L. S., and van Elsas, J. D. (2008). Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. *Trends Microbiol.* 16, 463–471.
- Hazen, T. C., Rocha, A. M., and Techtman, S. M. (2013). Advances in monitoring environmental microbes. *Curr. Opin. Biotechnol.* 24, 526–533.
- Heider J., Spormann A. M., Beller H. R., Widdel F. (1999). Anaerobic bacterial metabolism of hydrocarbons. *FEMS Microbiology Reviews* 22, 459-473.
- Heinaru E., Truu J., Stottmeister U., Heinaru A. (2000). Three types of phenol and p-cresol catabolism in phenol- and p-cresol-degrading bacteria isolated from river water continuously polluted with phenolic compounds. *FEMS Microbiol. Ecol.* 31 (3), 195-205.
- Hendricks B., Dejonghe W., Boenne W., Brennerova M., Cernik M., Lederer T., Bucheli-Witschel M., Bastiaens L., Verstraete W., Top E. M., Diels L., Springael D. (2005). Dynamics of an Oligotrophic Bacterial Aquifer Community during Contact with a Groundwater Plume Contaminated with Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes: an In Situ Mesocosm Study. *Applied and Environmental Microbiology*; Vol. 71, No. 7, p. 3815-3825.
- Hendrickx B., Junca H., Vosahlova J., et al. (2006). Alternative primer sets for PCR detection of genotypes involved in bacterial aerobic BTEX degradation: Distribution of the genes in BTEX degrading isolates and in subsurface soils of a BTEX contaminated industrial site. *Journal of Microbiological Methods* 64, 250-265.
- J. Bacteriol.* 182, 2134–2141. doi: 10.1128/JB.182.8.2134-2141.2000
- Jo M. S., Rene E. R., Kim S. H., Park H. S. (2008). An analysis of synergistic and antagonistic behavior during BTEX removal in batch system using response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials* 152, 1276-84.
- Jorgensen, K. S. (2007). In situ bioremediation. *Adv. Appl. Microbiol.* 61, 285–305.
- Kageyama A., Morisaji K., Omura S., Takahashi Y. (2008). *Arthrobacter oryzae* sp. nov. and *Arthrobacter humicola* sp. nov. *Int J. Syst. Evol. Microbiol.* 58 (PT 1), 53-56.
- Kao C. M., Chen C. Y., Chen S. C., Chien H. Y., Chen Y. L. (2008). Application of in situ biosparging to remediate a petroleum-hydrocarbon spill site: Field and microbial evaluation. *Chemosphere* 70, 1492-1499.

- Kerchich Y., Kerbach R. (2012). Measurement of BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene) levels at urban and semirural areas of Algiers City using passive air samplers. *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol 62.
- Khan, F. I., Husain, T., and Hejazi, R. (2004). An overview and analysis of site remediation technologies. *J. Environ. Manag.* 71, 95–122
- Kim Y. J., Kim M. K., Bui T. P., Kim H. B., Srinivasan S., Yang D. C. (2010). *Microbacterium ginsengiterrae* sp. nov. a beta-glucosidase-producing bacterium isolated from soil of a ginseng field. *Int. J. Syst. evol. Microbiol.* 60 (PT 2), 2808-2812.
- Kunz D., Chapman P. (1981). Isolation and characterization of spontaneously occurring TOL plasmid mutants of *Pseudomonas putida* HS1. *Journal of bacteriology*, 146(3), 952-964.
- Kuroda M., Yamashita A., Hirakawa H., et al. (2005). Whole genome sequence of *Staphylococcus saprophyticus* reveals the pathogenesis of uncomplicated urinary tract infection. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 102 (37), 13272-13277.
- Lebrero R., Estrada J. M., Muñoz R., Quijano G. (2012). Toluene mass transfer characterization in a biotrickling filter. *Biochem. Eng. J.* 60, 44e49.
- Leusch F., Bartkow M. (2010). A short primer on benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes (BTEX) in the environment and in hydraulic fracturing fluids. Griffith University - Smart Water Research Centre.
- Li H., Liu Y. H., Luo N., et al. (2006). Biodegradation of benzene and its derivatives by a psychrotolerant and moderately haloalkaliphilic *Planococcus* sp. strain zd22. *Research in Microbiology* 157, 629-36.
- Lopez N. I., Pettinari M. J., Stackebrandt E., Tribelli P. M., Potter M., Steinbuchel A., Mendez B. S. (2009). *Pseudomonas extremaustralis* sp. nov., a Ply(3-hydroxybutyrate) producer isolated from an antarctic environment. *Curr. Microbiol.* 59 (5), 514-519.
- Lueders T. (2017). The ecology of anaerobic degraders of BTEX hydrocarbons in aquifers. *FEMS Microbiology Reviews* 93, 220.
- Lui Y., Mou H., Chen L., Mirza Z. A., Liu L. (2015). Cr(VI)-contaminated groundwater remediation with simulated permeable reactive barrier (PRB) filled with natural pyrite as reactive material: environmental factor and effectiveness. *J Hazard Mater* 298: 83-90.
- Lumetud, R., Shen, S. Y., Lau, M., and Fulthorpe, R. (2016). Bacterial endophytes isolated from plants in natural oil seep soils with chronic hydrocarbon contamination. *Front. Microbiol.* 7:755.
- Mazzeo D. E. C., Levy C. E., De Angelis D. D. F., Marin-Morales M. A. (2010). BTEX biodegradation by bacteria from effluents of petroleum refinery. *Sci. Total Environ.* 408 (20): 4334-4340.
- Mitra S., Roy P. (2011). BTEX: A Serious Ground-water Contaminant. *Research Journal of Environmental Sciences*, 5: 394-398.
- Molina-Barahona, L., Rodriguez-Vazquez, R., Hernandez-Velasco, M., Vega-Jarquín, C., Zapata-Perez, O., Mendoza-Cantu, A., et al. (2004). Diesel removal from contaminated soils by biostimulation and supplementation with crop residues. *Appl. Soil Ecol.* 27, 165–175.

- Montes Vidal D., von Rymon-Lipinski A. L., Ravella S., et al. (2017). Long-Chain Alkyl Cyanides: Unprecedented Volatile Compounds Released by *Pseudomonas* and *Micromonospora* Bacteria. *Angew- Chem. Int. Ed. Engl.*
- Nikolopoulou, M., and Kalogerakis, N. (2009). Biostimulation strategies for fresh and chronically polluted marine environments with petroleum hydrocarbons. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 84, 802–807.
- Nishijima M., Tazato N., Handa Y., Umekawa N., Kigawa R., Sano C., Sugiyama J. (2017). *Microbacterium tumbae* sp. nov., an actinobacterium isolated from the stone chamber of an ancient tumulus. *Int J. Syst. Evol. Microbiol.* 67 (6), 1777-1783.
- Nishiwaki H., Ito K., Shimomura M., Naaikashima K., Kawamura T., Matsuda K. (2008). Association of insecticidal microorganisms with larvae of *Myrmeleon bore*. Published Only in Database.
- Paliwal, V., Puranik, S., and Purohit, H. J. (2012). Integrated perspective for effective bioremediation. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 166, 903–924.
- Panagos P., Van Liedekerke M., Yigini Y., Montanarella L. (2013). Contaminated Sites in Europe: Review of the Current Situation Based on Data Collected through a European Network. *Journal of Environmental and Public Health*, volume 2013.
- Peng, R.-H., Xiong, A.-S., Xue, Y., Fu, X.-Y., Gao, F., Zhao, W., et al. (2008). Microbial biodegradation of polyaromatic hydrocarbons. *FEMS Microbiol. Rev.* 32, 927–955.
- Phillips, L. A., Greer, C. W., Farrell, R. E., and Germida, J. J. (2012). Plant root exudates impact the hydrocarbon degradation potential of a weathered-hydrocarbon contaminated soil. *Appl. Soil Ecol.* 52, 56–64.
- Philp J. C., Atlas R. M. (2005). Bioremediation of contaminated soils and aquifers. Atlas R. M., Philps J. C. (eds) *Bioremediation: applied microbial solutions for real-world environmental cleanup*. American Society for Microbiology (ASM) Press, Washington, pp 139-236.
- Poulsen M., Lemon L., Barker J. F. (1992). Dissolution of monoaromatic hydrocarbons into groundwater from gasoline-oxygenate mixtures. *Environ. Sci. Technol.* 26 (12): 2483-2489.
- Pruden A., Sedran M., Suidan M., Venosa A. (2003). Biodegradation of MTBE and BTEX in an aerobic fluidized bed reactor. *Water Sci. Technol.* 47 (9): 123-128.
- Puglisi E., Spina F., Spini G., Varese C. G. (2017). Il biorisanamento di suoli contaminati da idrocarburi. *Ecoscienza*, 4, 16-17.
- Qin, G., Gong, D., and Fan, M.-Y. (2013). Bioremediation of petroleum-contaminated soil by biostimulation amended with biochar. *Int. Biodeterior. Biodegr.* 85, 150–155.
- Rajo, F. (2009). Degradation of alkanes by bacteria. *Environ. Microbiol.* 11, 2477–2490.
- Saito, A., Iwabuchi, T., and Harayama, S. (2000). A novel phenanthrene dioxygenase from *Nocardioides* sp strain KP7: expression in *Escherichia coli*.
- Singh D., Fulekar M. H. (2010). Benzene bioremediation using cow dung microflora in two phase partitioning bioreactor. *Journal of Hazardous Materials* 175, 336-43.

- Singh R., Celin S. M. (2010). Biodegradation of BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylene) compounds by bacterial strain under aerobic conditions. *Journal of Ecobiotechnology* 2, 27-32.
- Smith C. J., Osborn A. M. (2008). Advantages and limitations of quantitative PCR (Q-PCR)-based approaches in microbial ecology. *FEMS Microbiol Ecol* 67, 6-20.
- Smith M. R. (1990). The biodegradation of aromatic hydrocarbons by bacteria. *Biodegradation* 1, 191-206.
- Souza E. C., Vessoni-Penna T. C., Pinheiro de Souza Oliveira R. (2014). Biosurfactant-enhanced hydrocarbon bioremediation: An overview. *International Biodeterioration & Biodegradation* 89, 88-94.
- Sun, T.-R., Cang, L., Wang, Q.-Y., Zhou, D.-M., Cheng, J.-M., and Xu, H. (2010). Roles of abiotic losses, microbes, plant roots, and root exudates on phytoremediation of PAHs in a barren soil. *J. Hazard. Mater.* 176, 919–925.
- Swannell, R. P. J., Lee, K., and McDonagh, M. (1996). Field evaluations of marine oil spill bioremediation. *Microbiol. Rev.* 60, 342–365.
- Tara, N., Afzal, M., Ansari, T. M., Tahseen, R., Iqbal, S., and Khan, K. M. (2014). Combined use of alkane-degrading and plant growth-promoting bacteria enhanced phytoremediation of diesel contaminated soil. *Int. J. Phytoremed.* 16, 1268–1277.
- Torsvik V., Daae F. L., Sandaa R., Ovreas L. (1998). Novel techniques for analyzing microbial diversity in natural and perturbed environments. *Journal of Biotechnology* 64, 53-62.
- Toyama, T., Furukawa, T., Maeda, N., Inoue, D., Sei, K., Mori, K., et al. (2011). Accelerated biodegradation of pyrene and benzo a pyrene in the *Phragmites australis* rhizosphere by bacteria-root exudate interactions. *Water Res.* 45, 1629–1638.
- van Beilen, J. B., Panke, S., Lucchini, S., Franchini, A. G., Rothlisberger, M., and Witholt, B. (2001). Analysis of *Pseudomonas putida* alkane-degradation gene clusters and flanking insertion sequences: evolution and regulation of the alk genes. *Microbiology* 147, 1621–1630.
- Van Hamme, J. D., Singh, A., and Ward, O. P. (2003). Recent advances in petroleum microbiology. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 67, 503–549
- Van Liederkerke M., Prokop G., Rabl-Berger S., Kibblewhite M., Lowaige G. (2014). Progress in the Management of Contaminated Sites in Europe. *EUR* 26376.
- Vergara-Fernandez A., Molina L. L., Pulido N. A., Aroca G. (2007). Effect of gas flow rate, inlet concentration and temperature on the biofiltration of toluene vapors. *Journal of Environmental Management* 84, 115-22.
- Větrovský T., Baldrian P. (2013). The Variability of the 16S rRNA Gene in Bacterial Genomes and Its Consequences for Bacterial Community Analyses. *PLoS One*; 8(2): e57923.
- Wang Z., Xu J., Li Y., Wang K., Wang Y., Hong Q., Li W. J., Li S. P. (2010). *Rhodococcus jialingiae* sp. nov., an actinobacterium isolated from sludge of a carbendazim wastewater treatment facility. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 60 (PT 2), 378-381.
- Wang, W., and Shao, Z. (2013). Enzymes and genes involved in aerobic alkane degradation. *Front. Microbiol.* 4:116.

- Weelink S. A. B., van Eekert M. H., Stams A. L. M. (2010). Degradation of BTEX by anaerobic bacteria: physiology and application. *Rev Environ Sci Biotechnol* 9: 359-385.
- Whelan M. J., Coulon F., Hince G., Rayner J., McWatters R., Spedding T., Snape I. (2015). Fate and transport of petroleum hydrocarbon in engineered biopiles in polar regions. *Chemosphere* 131: 232-240.
- WHO European Centre for Environment and Health, Methods of Assessing Risk to Health from Exposure to Hazards Released from Waste Landfills, WHO Regional Office for Europe, Lodz, Poland, 2000.
- Xin B., Wu C., Wu C., Lin C. (2013). Bioaugmented remediation of high concentration BTEX-contaminated groundwater by permeable reactive barrier with immobilized bead. *Journal of Hazardous Materials*, 244-245, 765-772.
- Yeung C. W., Law B. A., Milligan T. G., Lee K., Whyte L. G., Greer C. W. (2011). Analysis of bacterial diversity and metals in produced water, seawater and sediments from an offshore oil and gas production platform. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 2095e2105.
- You Y., Shim J., Cho C. H., et al. (2013). Biodegradation of BTEX mixture by *Pseudomonas putida* YNS1 isolated from oil-contaminated soil. *Journal of Basic Microbiology* 53, 469-75.
- Zawierucha, I., and Malina, G. (2011). "Bioremediation of contaminated soils: effects of bioaugmentation and biostimulation on enhancing biodegradation of oil hydrocarbons," in *Bioaugmentation, Biostimulation and Biocontrol*, *Soil biology* 28, Chap. 8, ed. A. Singh (Berlin: Springer-Verlag) 187–201.
- Zhao, Y., Qu, D., Hou, Z., and Zhou, R. (2015). Enhanced natural attenuation of BTEX in the nitrate-reducing environment by different electron acceptors. *Environ. Technol.* 36, 615–621.