

Contraente: 	Progetto: METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE Rimozione condotte esistenti		Cliente: 
	N° Contratto : N° Commessa : NR/17076		
N° documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 1 di 36	Data 21-12-2018	N° Cliente: RE-DFE-301

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA



00	21-12-2018	EMMISSIONE	BROCCOLI	ANTOGNOLI	CAPRIOTTI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO.

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 2 di 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301
---	--------------------------------	--------------------	----------------------------------

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE ED IDROGEOLOGICO	4
3	MODELLO SORGENTE DI RILASCIO DEL FERRO	8
4	MODELLISTICA DI DISPERSIONE DEL FERRO IN FALDA	10
	4.1 Individuazione degli scenari di simulazione	10
	4.2 Coefficiente di diluizione in falda LDF	10
	4.3 Concentrazione di ferro disciolto in falda	11
	4.4 Modello di diffusione in falda Bioscreen	24
5	RISULTATI	28
6	CONCLUSIONI	36

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 3 di 36	Rev.:	N° Cliente: RE-DFE-301
		00	

1 INTRODUZIONE

Scopo del presente studio è l'implementazione di un modello di dispersione della falda che consenta l'approfondimento e la quantificazione delle possibili dispersioni di ferro nell'acquifero sotterraneo potenzialmente determinate dai fenomeni di corrosione del metanodotto "San Salvo-Biccari, DN 500 (20"), MOP 64 bar e opere connesse" nei tratti in cui non verrà rimosso.

Nel dettaglio, lungo la condotta, i principali tratti di non rimozione sono così individuati:

- dal km 3+200 al km 3+530, in località La Coccetta in comune di Lentella (CH), per complessivi 330 m;
- dal km 26+115 al km 26+515 in corrispondenza del fiume Biferno in comune di Guglionesi (CB), per complessivi 400 m;
- dal km 53+635 al km 54+465 in corrispondenza del fiume Fortore nei comuni di San Giuliano di Puglia (CB) e Castelnuovo della Daunia (FG) per complessivi 830 m.

Per la stima dell'andamento spaziale delle concentrazioni di ferro disciolto in falda nei tratti individuati sono stati utilizzati metodi e modelli analitici di screening ampiamente riconosciuti nell'ambito delle Analisi di Rischio dei siti contaminati¹, al fine di individuare, utilizzando ipotesi estremamente cautelative, la massima distanza dalla condotta alla quale si potrebbero registrare concentrazioni superiori ai valori limite normativi.

¹ APAT, Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati, rev2, marzo 2008, <http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/siti-contaminati/analisi-di-rischio>

METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE Rimozione condotte esistenti					
STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA					
N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 4 di 36		Rev.: 00		N° Cliente: RE-DFE-301

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE ED IDROGEOLOGICO

Le caratteristiche litologiche e idrogeologiche (coefficiente di permeabilità, gradiente, porosità) lungo i tratti non soggetti alla rimozione della condotta sono riportate nella seguente tabella:

Tratto	Da km	A km	Lunghezza (m)	Area	Litologia/caratteristiche idrogeologiche
Metanodotto San Salvo-Biccari, DN 500 (20"), MOP 64 bar					
1	3,200	3,530	330	Località La Coccetta comune di Lentella (CH)	Gessi e calcari caratterizzati da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da medio ad alto ($K=10^{-5} / 10^{-3}$ m/s); L tratto=220 m Gradiente piezometrico = 0,2-0,05 % Porosità = 25%-35%
					Sabbie argillose, argille e argille marnose caratterizzate da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da basso a medio ($K=10^{-8}/10^{-6}$ m/s); L tratto = 110 m Gradiente piezometrico = 0,2-0,05 % Porosità = 35%-50%
2	26,115	26,515	400	Fiume Biferno comune di Guglionesi (CB)	Deposti alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto ($K=10^{-3}/10^{-4}$ m/s); L tratto = 170 m Gradiente piezometrico = 0,2-0,05 % Porosità = 25%-40%
					Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio ($K=10^{-7} / 10^{-5}$ m/s); L tratto = 230 m Gradiente piezometrico = 0,2-0,05 % Porosità = 35%-55%
3	53,635	54,465	830	Fiume Fortore comune di San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto ($K=10^{-3}/10^{-4}$ m/s); L tratto = 190 m Gradiente piezometrico = 0,2-0,05 % Porosità = 25%-40%
					Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio ($K=10^{-7}/10^{-5}$ m/s); L tratto= 640 m Gradiente piezometrico = 0,2-0,05 % Porosità = 35%-55%

Tabella 1: Caratteristiche dei tratti di non rimozione della condotta

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio di 36	Rev.:	N° Cliente: RE-DFE-301
	5	00	

Le figure seguenti riportano il tracciato dei tre tratti in esame, su base ortofoto (fonte: <http://wms.pcn.minambiente.it/>).

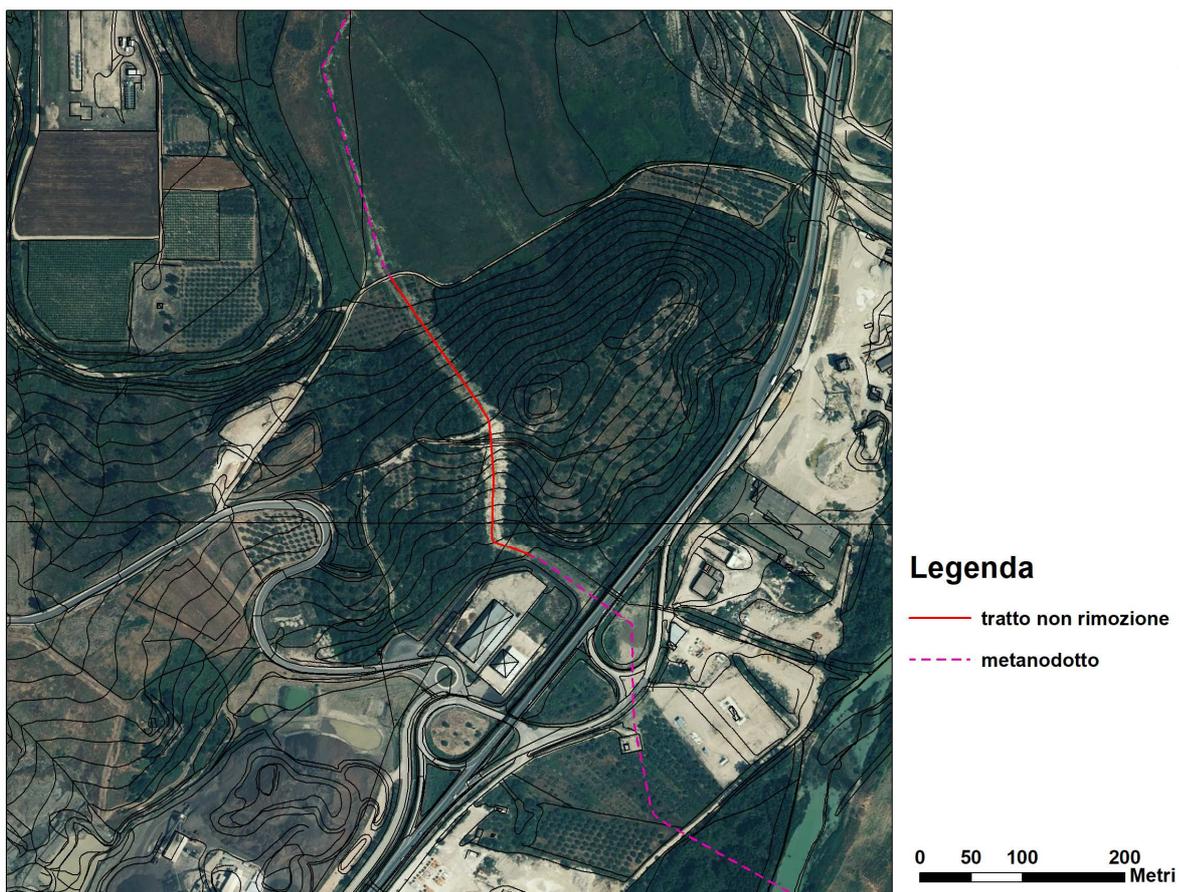


Figura 1: Tratto 1 – località La Cocchetta – su base ortofoto

METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio di 36	Rev.:				N° Cliente: RE-DFE-301
		00				



Legenda

- tratto non rimozione
- - - metanodotto

0 50 100 200
Metri

Figura 2: Tratto 2 – fiume Biferno – su base ortofoto

METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio di 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301
--	-----------------	-------------	---------------------------

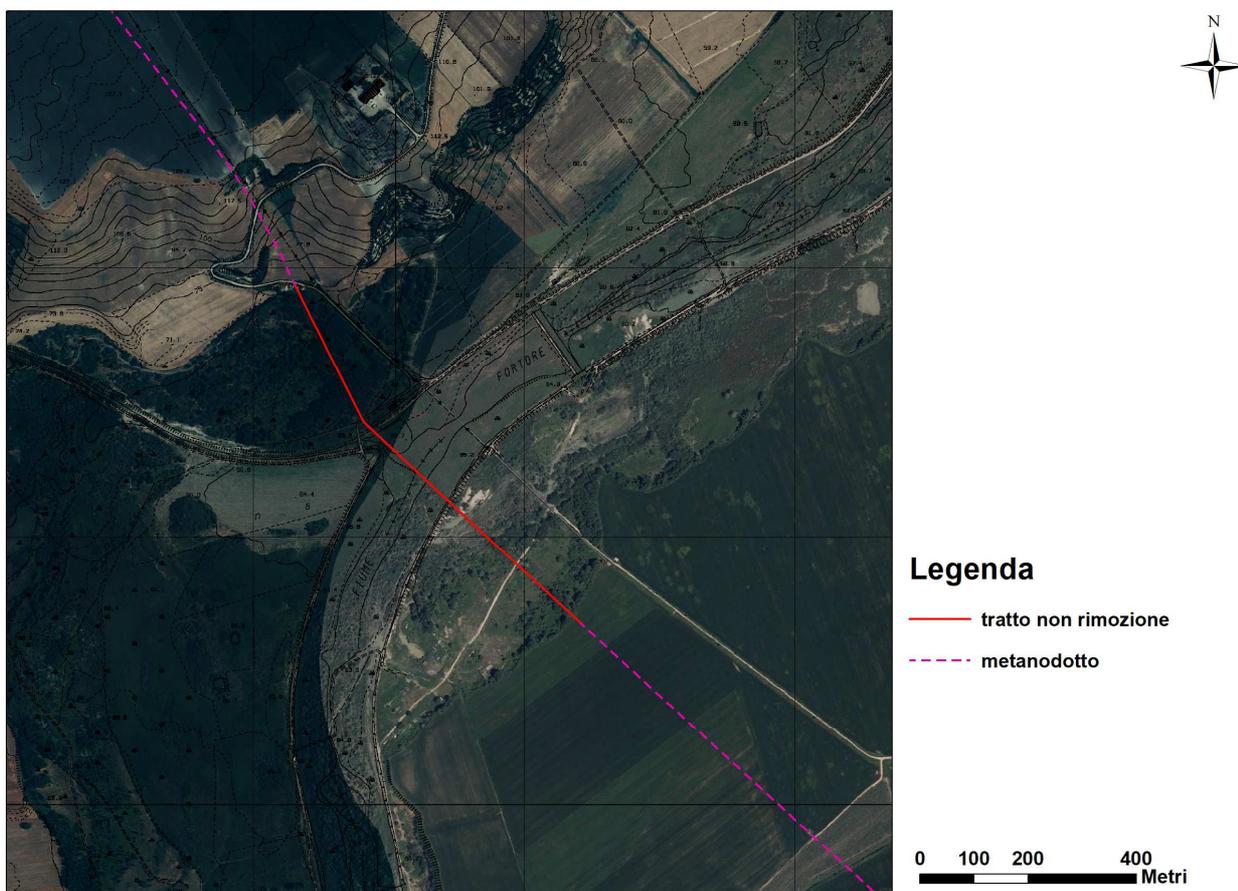


Figura 3: Tratto 3 – fiume Fortore – su base ortofoto

La concentrazione di ferro presente naturalmente nelle acque di falda (valore di fondo) per ogni tratto è stata stimata pari a 0,025 mg/l, sulla base delle valutazioni e delle analisi riportate nel documento RT/2016/14/ENEA “Monitoraggio e caratterizzazione geochimica delle acque superficiali, sotterranee e dei sedimenti fluviali dell’area di San Giuliano di Puglia (CB)”.²

² M. Proposito, G. Armiento, M. De Cassan, M.R. Montereali, E. Nardi, C. Ubaldi, F. Zaza, M. Angelone, S. Chiavarini, “Monitoraggio e caratterizzazione geochimica delle acque superficiali, sotterranee e dei sedimenti fluviali dell’area di San Giuliano di Puglia (CB)”, RT/2016/14/ENEA

METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20”), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 8 di 36	Rev.:	N° Cliente: RE-DFE-301
--	-------------------	-------	---------------------------

3 MODELLO SORGENTE DI RILASCIO DEL FERRO

La condotta interrata che non sarà soggetta a rimozione ha diametro nominale DN 500 (20”) ed è costituita essenzialmente da acciaio al carbonio ed in minima parte dal suo rivestimento in bitume pesante (fillerizzato con una percentuale di polvere minerale inerte).

Questi materiali, acciaio e bitume, immersi nel terreno ed a volte in acque di falda potrebbero subire processi di degradazione con tempi e con modalità molto diverse.

In particolare, il bitume, che è costituito da una miscela di idrocarburi avente numero di atomi di carbonio superiore a 25, non è significativamente solubile in acqua, non viene attaccato apprezzabilmente dai microrganismi e non determina una considerevole domanda biologica di ossigeno. Il prodotto non ha effetti dannosi sull’ambiente acquatico e sulle piante. In letteratura (“Durability of bituminous geomembrane water proofing works. 57th Canadian geotechnical conference”) sono riportati valori medi di velocità di degradazione dei rivestimenti bituminosi nel terreno dell’ordine dei 5 µ/anno.

Questo significa che per degradare il rivestimento della tubazione sono ipotizzabili tempi dell’ordine di 900 anni.

In assenza di sistemi di protezione catodica attivi unicamente nel momento di esercizio delle tubazioni, l’acciaio esposto agli ambienti naturali quali terreno o acque, si corrode in modo prevalentemente generalizzato.

La corrosività del terreno dipende dalla natura, composizione, presenza di acqua e composizione dell’acqua, presenza di specie batteriche (in particolare SRB – batteri solfato-riduttori).

La velocità di corrosione può essere determinata misurando la perdita di peso per unità di superficie esposta, ed espressa come velocità di penetrazione uniforme, in millimetri per anno (mm/anno) o in micron per anno (µm/anno).

In letteratura sono riportate tipiche velocità di corrosione generalizzata di strutture metalliche nel terreno (vedi Tabella 2).

Fonte	velocità di corrosione generalizzata (mm/a)
US National Bureau of Standards	0,068
BISRA (UK)	0,035
National Physical Laboratory (UK)	0,050

Tabella 2: Velocità di corrosione

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 9 di 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301
--	-------------------	-------------	---------------------------

Valori di velocità di corrosione più elevata, mediamente di 0,25 – 0,30 mm/anno, si riscontrano in presenza di corrosione localizzata (fenomeni di pitting) e nel caso di attacco batterico da SRB dove si possono raggiungere velocità di 1 – 2 mm/anno.

Non disponendo di dati sito specifici, si è assunta come ipotesi realistica ma comunque adeguatamente conservativa, una velocità di corrosione generalizzata di 0,050 mm/anno. Il tempo stimato per l'esaurimento della sorgente del metallo, funzione della velocità di corrosione e dello spessore del tubo, è quindi pari a circa 250 anni.

METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE Rimozione condotte esistenti				
STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA				
N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 10 di 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301	

4 MODELLISTICA DI DISPERSIONE DEL FERRO IN FALDA

Per calcolare l'andamento spaziale della concentrazione di ferro disciolto in falda, si è valutato in primo luogo la concentrazione di ferro alla sorgente, derivante dalla miscelazione completa fra l'acqua di falda e il ferro derivante dalla corrosione della condotta nei tratti di non rimozione, e poi applicando a questa concentrazione un modello analitico di trasporto in grado di considerare i fenomeni di dispersione idrodinamica e di ripartizione acqua/terreno, tipici del flusso di un liquido contaminato in un mezzo poroso.

4.1 Individuazione degli scenari di simulazione

Gli scenari riportati in Tabella 3 si riferiscono a tutte le possibili combinazioni dei parametri di input (permeabilità, gradiente e porosità) nei diversi tratti della condotta; i tratti 1, 2 e 3, indicati nel capitolo 2, sono stati pertanto ulteriormente suddivisi in due sottotratti ciascuno, a seconda della litologia indicata in Tabella 1.

Si hanno quindi in definitiva 6 tratti (rispettivamente 1a, 1b, 2a, 2b, 3a, 3b) per ognuno dei quali sono stati definiti 10 scenari di simulazione, che variano a seconda della permeabilità (minima e massima rispetto ai range di Tabella 1), della porosità e del gradiente (rispettivamente valore minimo, massimo e medio rispetto ai *range* indicati). Il totale degli scenari considerati è quindi pari a 60.

Il numero e la combinazione degli scenari tiene conto di tutte le possibilità in modo da individuare, con un'analisi di screening, le condizioni più cautelative sia per quanto riguarda la diluizione, sia per quanto riguarda il trasporto in falda.

4.2 Coefficiente di diluizione in falda LDF

Per quanto riguarda la stima della concentrazione alla sorgente, derivante dalla corrosione del ferro lungo la condotta e dalla miscelazione del ferro alle acque di falda è stato calcolato, per ogni scenario, il coefficiente di diluizione in falda LDF (Leachate Dilution Factor), cioè il rapporto fra la concentrazione del ferro derivante dalla corrosione della condotta e la concentrazione di ferro disciolto in falda, che risulta soggetto ai fenomeni di trasporto nell'acquifero.

Il coefficiente LDF (Figura 4), come indicato nelle linee guida APAT-ISPRA³, è ottenuto applicando un bilancio di massa ad un modello box a fase perfettamente miscelata; esso dipende:

- dalla velocità della falda V_{gw} ,

³ APAT, Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati, rev2, marzo 2008, <http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/siti-contaminati/analisi-di-rischio>

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 11 di 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------	-------------	---------------------------

- dal grado di infiltrazione del contaminante I,
- dallo spessore della sorgente nella direzione trasversale al flusso W
- dallo spessore della zona di miscelazione δ_{gw} , che a sua volta dipende dai parametri precedenti oltre che dallo spessore dell'acquifero b.

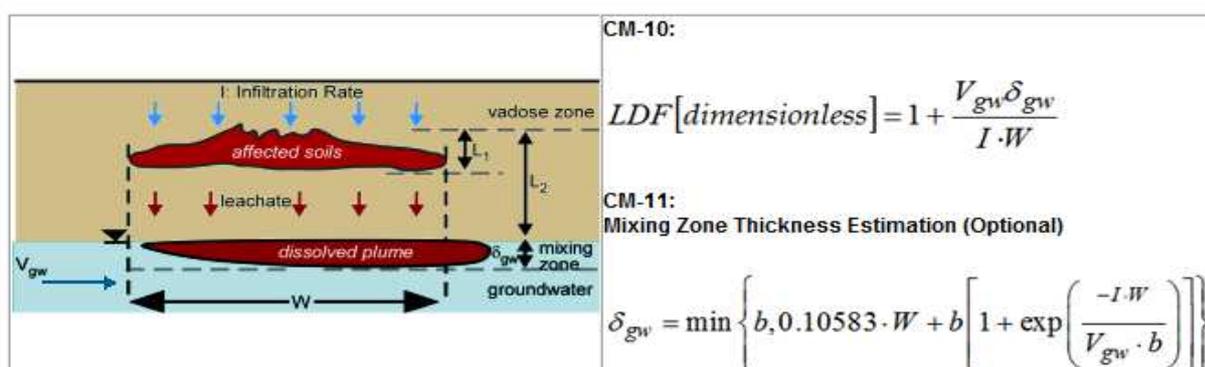


Figura 4: Calcolo del coefficiente di diluizione in falda LDF (Leachate Dilution Factor)

Considerando un grado di infiltrazione del ferro $I = 0.05$ mm/anno (conservativamente ipotizzato pari al tasso di corrosione della condotta), uno spessore della sorgente $W = 0.5$ m (diametro del tubo) ed uno spessore dell'acquifero stimato pari a 2 m si possono calcolare, in base ai valori di gradiente, porosità e permeabilità dei diversi scenari, i diversi coefficienti di diluizione LDF riportati nella tabella 3.

4.3 Concentrazione di ferro disciolto in falda

La concentrazione del ferro C_{Fe} derivante dalla corrosione è stata assunta pari alla densità del ferro, 7874 kg/m^3 , calcolando in tal modo la concentrazione di ferro disciolto in falda C_0 , per ogni scenario, come

$$C_0 = \frac{C_{Fe}}{LDF}$$

La Tabella 3 riporta anche il calcolo della concentrazione C_0 di ferro disciolto in falda alla sorgente per ogni singolo scenario.

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio di 36	Rev.:	N° Cliente: RE-DFE-301
	12	00	

Le concentrazioni del ferro disciolto in falda C_0 rappresentative della sorgente di rilascio che si genera nella falda al di sotto della condotta, ipotizzano conservativamente che non ci siano fenomeni di degradazione e precipitazione di composti non solubili. Si ipotizza altresì conservativamente che il prodotto della corrosione della condotta in acciaio sia composto esclusivamente da ferro.

Nel caso del tratto 2 (Fiume Biferno, scenari 21÷40) e del tratto 3 (Fiume Fortore, scenari 41÷60) l'acquifero è stato inoltre ipotizzato come separato dal corpo idrico, non considerando cioè tutti i possibili fenomeni di interazione fra falda e fiume, *in primis* le ulteriori possibili diluizioni che possono essere generate dagli interscambi fra acque di falda ed acque di fiume.

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 13 di 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------	-------------	---------------------------

Tabella 3: Caratterizzazione degli scenari di simulazione

Scenario	tratto	località	comune	L tratto [m]	litologia	permeabilità [m/s]	gradiente [%]	porosità [-]	LDF	C ₀ [mg/l]
1	1a	La Coccetta	Lentella (CH)	220	Gessi e calcari caratterizzati da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da medio ad alto	1.00E-05	0.2	25%	50'459	156.05
2	1a	La Coccetta	Lentella (CH)	220	Gessi e calcari caratterizzati da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da medio ad alto	1.00E-05	0.2	35%	50'459	156.05
3	1a	La Coccetta	Lentella (CH)	220	Gessi e calcari caratterizzati da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da medio ad alto	1.00E-05	0.05	25%	12'615	624.16
4	1a	La Coccetta	Lentella (CH)	220	Gessi e calcari caratterizzati da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da medio ad alto	1.00E-05	0.05	35%	12'615	624.16
5	1a	La Coccetta	Lentella (CH)	220	Gessi e calcari caratterizzati da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da medio ad alto	1.00E-05	0.125	30%	31'537	249.67
6	1a	La Coccetta	Lentella (CH)	220	Gessi e calcari caratterizzati da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da medio ad alto	1.00E-03	0.2	25%	5'045'761	1.56

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 14 di 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------	-------------	---------------------------

Scenario	tratto	località	comune	L tratto [m]	litologia	permeabilità [m/s]	gradiente [%]	porosità [-]	LDF	C ₀ [mg/l]
7	1a	La Coccetta	Lentella (CH)	220	Gessi e calcari caratterizzati da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da medio ad alto	1.00E-03	0.2	35%	5'045'761	1.56
8	1a	La Coccetta	Lentella (CH)	220	Gessi e calcari caratterizzati da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da medio ad alto	1.00E-03	0.05	25%	1'261'441	6.24
9	1a	La Coccetta	Lentella (CH)	220	Gessi e calcari caratterizzati da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da medio ad alto	1.00E-03	0.05	35%	1'261'441	6.24
10	1a	La Coccetta	Lentella (CH)	220	Gessi e calcari caratterizzati da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da medio ad alto	1.00E-03	0.125	30%	3'153'601	2.50
11	1b	La Coccetta	Lentella (CH)	110	Sabbie argillose, argille e argille marnose caratterizzate da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da basso a medio	1.00E-08	0.2	35%	51	153019.18
12	1b	La Coccetta	Lentella (CH)	110	Sabbie argillose, argille e argille marnose caratterizzate da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da basso a medio	1.00E-08	0.2	50%	51	153019.18

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 15 di 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------	-------------	---------------------------

Scenario	tratto	località	comune	L tratto [m]	litologia	permeabilità [m/s]	gradiente [%]	porosità [-]	LDF	C ₀ [mg/l]
13	1b	La Coccetta	Lentella (CH)	110	Sabbie argillose, argille e argille marnose caratterizzate da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da basso a medio	1.00E-08	0.05	35%	14	578358.21
14	1b	La Coccetta	Lentella (CH)	110	Sabbie argillose, argille e argille marnose caratterizzate da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da basso a medio	1.00E-08	0.05	50%	14	578358.21
15	1b	La Coccetta	Lentella (CH)	110	Sabbie argillose, argille e argille marnose caratterizzate da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da basso a medio	1.00E-08	0.125	43%	33	242008.85
16	1b	La Coccetta	Lentella (CH)	110	Sabbie argillose, argille e argille marnose caratterizzate da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da basso a medio	1.00E-06	0.2	35%	5'047	1560.21
17	1b	La Coccetta	Lentella (CH)	110	Sabbie argillose, argille e argille marnose caratterizzate da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da basso a medio	1.00E-06	0.2	50%	5'047	1560.21

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 16 di 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------	-------------	---------------------------

Scenario	tratto	località	comune	L tratto [m]	litologia	permeabilità [m/s]	gradiente [%]	porosità [-]	LDF	C ₀ [mg/l]
18	1b	La Coccetta	Lentella (CH)	110	Sabbie argillose, argille e argille marnose caratterizzate da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da basso a medio	1.00E-06	0.05	35%	1'262	6237.13
19	1b	La Coccetta	Lentella (CH)	110	Sabbie argillose, argille e argille marnose caratterizzate da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da basso a medio	1.00E-06	0.05	50%	1'262	6237.13
20	1b	La Coccetta	Lentella (CH)	110	Sabbie argillose, argille e argille marnose caratterizzate da un grado di permeabilità per fratturazione variabile da basso a medio	1.00E-06	0.125	43%	3'155	2496.04
21	2a	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	170	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-04	0.2	25%	504'577	15.61
22	2a	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	170	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-04	0.2	40%	504'577	15.61
23	2a	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	170	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-04	0.05	25%	126'145	62.42

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 17 di 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------	-------------	---------------------------

Scenario	tratto	località	comune	L tratto [m]	litologia	permeabilità [m/s]	gradiente [%]	porosità [-]	LDF	C ₀ [mg/l]
24	2a	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	170	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-04	0.05	40%	126'145	62.42
25	2a	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	170	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-04	0.125	33%	315'361	24.97
26	2a	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	170	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-03	0.2	25%	5'045'761	1.56
27	2a	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	170	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-03	0.2	40%	5'045'761	1.56
28	2a	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	170	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-03	0.05	25%	1'261'441	6.24
29	2a	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	170	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-03	0.05	40%	1'261'441	6.24

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 18 di 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------	-------------	---------------------------

Scenario	tratto	località	comune	L tratto [m]	litologia	permeabilità [m/s]	gradiente [%]	porosità [-]	LDF	C ₀ [mg/l]
30	2a	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	170	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-03	0.125	33%	3'153'601	2.50
31	2b	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	230	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-07	0.2	35%	506	15574.32
32	2b	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	230	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-07	0.2	55%	506	15574.32
33	2b	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	230	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-07	0.05	35%	127	61929.78
34	2b	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	230	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-07	0.05	55%	127	61929.78

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 19 di 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------	-------------	---------------------------

Scenario	tratto	località	comune	L tratto [m]	litologia	permeabilità [m/s]	gradiente [%]	porosità [-]	LDF	C ₀ [mg/l]
35	2b	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	230	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-07	0.125	45%	316	24889.37
36	2b	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	230	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-05	0.2	35%	50'459	156.05
37	2b	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	230	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-05	0.2	55%	50'459	156.05
38	2b	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	230	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-05	0.05	35%	12'615	624.16
39	2b	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	230	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-05	0.05	55%	12'615	624.16

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio di 20 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------	-------------	---------------------------

Scenario	tratto	località	comune	L tratto [m]	litologia	permeabilità [m/s]	gradiente [%]	porosità [-]	LDF	C ₀ [mg/l]
40	2b	Fiume Biferno	Guglionesi (CB)	230	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-05	0.125	45%	31'537	249.67
41	3a	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	190	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-04	0.2	25%	504'577	15.61
42	3a	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	190	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-04	0.2	40%	504'577	15.61
43	3a	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	190	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-04	0.05	25%	126'145	62.42
44	3a	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	190	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-04	0.05	40%	126'145	62.42
45	3a	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	190	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-04	0.125	33%	315'361	24.97

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 21 di 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------	-------------	---------------------------

Scenario	tratto	località	comune	L tratto [m]	litologia	permeabilità [m/s]	gradiente [%]	porosità [-]	LDF	C ₀ [mg/l]
46	3a	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	190	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-03	0.2	25%	5'045'761	1.56
47	3a	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	190	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-03	0.2	40%	5'045'761	1.56
48	3a	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	190	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-03	0.05	25%	1'261'441	6.24
49	3a	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	190	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-03	0.05	40%	1'261'441	6.24
50	3a	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	190	Depositi alluvionali attuali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità alto	1.00E-03	0.125	33%	3'153'601	2.50
51	3b	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	640	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-07	0.2	35%	506	15574.32

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 22 di 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------	-------------	---------------------------

Scenario	tratto	località	comune	L tratto [m]	litologia	permeabilità [m/s]	gradiente [%]	porosità [-]	LDF	C ₀ [mg/l]
52	3b	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	640	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-07	0.2	55%	506	15574.32
53	3b	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	640	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-07	0.05	35%	127	61929.78
54	3b	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	640	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-07	0.05	55%	127	61929.78
55	3b	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	640	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-07	0.125	45%	316	24889.37
56	3b	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	640	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-05	0.2	35%	50'459	156.05

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO E NELLA FALDA

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 23 di 36	Rev.: 00	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------	-------------	---------------------------

Scenario	tratto	località	comune	L tratto [m]	litologia	permeabilità [m/s]	gradiente [%]	porosità [-]	LDF	C ₀ [mg/l]
57	3b	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	640	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-05	0.2	55%	50'459	156.05
58	3b	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	640	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-05	0.05	35%	12'615	624.16
59	3b	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	640	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-05	0.05	55%	12'615	624.16
60	3b	Fiume Fortore	San Giuliano di Puglia (CB)- Castelnuovo della Daunia (FG)	640	Depositi alluvionali terrazzati prevalentemente limoso-argillosi caratterizzati da un grado di permeabilità per porosità variabile da basso a medio	1.00E-05	0.125	0.45	31'537	249.67

METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE Rimozione condotte esistenti				
STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO				
N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 24	di	36	Rev.: 0A
				N° Cliente: RE-DFE-301

4.4 Modello di diffusione in falda Bioscreen

Bioscreen v1.4⁴ è un modello analitico bidimensionale che simula i fenomeni di trasporto ed attenuazione naturale degli idrocarburi disciolti in falda. Il software, programmato in un foglio elettronico di Microsoft Excel, è basato sulla soluzione analitica dell'equazione di Domenico⁵ per il trasporto dei contaminanti ed è in grado di simulare avvezione, dispersione, adsorbimento, e biodegradazione attraverso differenti cinetiche. Nel caso specifico si è sfruttata l'applicazione di Bioscreen inserendo al posto dei parametri specifici per i BTEX, presenti di default, quelli del composto considerato, in questo caso il ferro.

Bioscreen 1.4 è scaricabile dal sito dell'USEPA (<https://www.epa.gov/water-research/bioscreen-natural-attenuation-decision-support-system>). Si rimanda alla manualistica di Bioscreen per ogni dettaglio riguardante le equazioni implementate e le ipotesi e limitazioni del modello.

La schermata iniziale di Bioscreen permette l'inserimento dei dati di input, delle dimensioni del dominio di calcolo, dei diversi parametri di trasporto e delle caratteristiche della contaminazione da simulare.

La figura seguente riporta la schermata di input di Bioscreen 1.4.

⁴ Newell C. J., McLeod R. K., Gonzales J. R. (1997) Bioscreen natural attenuation of decision support system user's manual version 1.4, Air Force Center for Environmental Excellence (AFCEE), Brooks AFB, Texas

⁵ Domenico, P.A. 1987. An Analytical Model for Multidimensional Transport of a Decaying Contaminant Species. Journal of Hydrology, 91 (1987) 49-58.

METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 25 di 36	Rev.: 0A	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------	-------------	---------------------------

BIOSCREEN Natural Attenuation Decision Support System
 Air Force Center for Environmental Excellence
 Version 1.4

1. HYDROGEOLOGY

Seepage Velocity* Vs (ft/yr)
 or
 Hydraulic Conductivity K (cm/sec)
 Hydraulic Gradient i (ft/ft)
 Porosity n (-)

2. DISPERSION

Longitudinal Dispersivity* alpha x (ft)
 Transverse Dispersivity* alpha y (ft)
 Vertical Dispersivity* alpha z (ft)
 or
 Estimated Plume Length Lp (ft)

3. ADSORPTION

Retardation Factor* R (-)
 or
 Soil Bulk Density rho (kg/l)
 Partition Coefficient Koc (L/kg)
 Fraction Organic Carbon foc (-)

4. BIODEGRADATION

1st Order Decay Coeff* lambda (per yr)
 or
 Solute Half-Life t-half (year)
or Instantaneous Reaction Model

Delta Oxygen* DO (mg/L)
 Delta Nitrate* NO3 (mg/L)
 Observed Ferrous Iron* Fe2+ (mg/L)
 Delta Sulfate* SO4 (mg/L)
 Observed Methane* CH4 (mg/L)

5. GENERAL

Modeled Area Length* (ft)
 Modeled Area Width* (ft)
 Simulation Time* (yr)

6. SOURCE DATA

Source Thickness in Sat. Zone* (ft)
 Source Zones:

Width* (ft)	Conc. (mg/L)*
0.656	1
0.656	1
0.656	1
0.656	1
0.656	1

Source Half-life (see Help):
 Infinite Infinite (yr)
 Inst. React. 1st Order
 Soluble Mass infinite (Kg)
 In Source NAPL, Soil

7. FIELD DATA FOR COMPARISON

Concentration (mg/L)	Dist. from Source (ft)
0	0
16	16
33	33
49	49
66	66
82	82
98	98
115	115
131	131
148	148
164	164

8. CHOOSE TYPE OF OUTPUT TO SEE:

RUN CENTERLINE **RUN ARRAY**

View Output **View Output**

Help Recalculate This Sheet
 Paste Example Dataset
 Restore Formulas for Vs, Dispersivities, R, lambda, other

Data Input Instructions:
 1. Enter value directlv... or
 2. Calculate by filling in arev cells below. (To restore formulas, hit button below)
 Variable* Data used directly in model.
 20 Value calculated by model. (Don't enter any data).

Run Name:

Vertical Plane Source: Look at Plume Cross-Section and Input Concentrations & Widths for Zones 1, 2, and 3

View of Plume Looking Down

Observed Centerline Concentrations at Monitoring Wells
 If No Data Leave Blank or Enter "0"

Figura 5: dati di input di Bioscreen 1.4

Con Bioscreen 1.4 è possibile effettuare il calcolo di diffusione sia lungo la *centerline* (asse del *plume* lungo la direzione trasversale alla sorgente) sia in 2D all'interno del dominio di calcolo schematizzato (*array*).

Per il calcolo dei coefficienti di dispersività, necessari alla simulazione dei fenomeni di trasporto in falda, si è utilizzata la stima proposta dal manuale di Bioscreen tramite la seguente relazione [Xu e Eckstein, 1995⁶] per il calcolo della dispersività longitudinale α_x :

$$\alpha_x = 0,83(\log L)^{2,414}$$

dove L rappresenta la massima distanza su cui ci si aspetta si sviluppi la contaminazione a partire dalla sorgente (lunghezza del *plume* di inquinante); tale distanza è stata fissata pari a 50 metri.

Noto il valore di dispersività longitudinale α_x , il valore di dispersività trasversale α_y è stato calcolato come $\alpha_y = 0.1 \cdot \alpha_x$, mentre il valore di dispersività verticale α_z è stato posto pari a 0.

⁶ Xu M. e Eckstein Y.J. (1995), Use of weighted least square in evaluation of the relationship between dispersivity and scale, Ground Water 33(6) 905.

METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI				
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE				
Rimozione condotte esistenti				
STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO				
N° Documento:	Foglio	Rev.:		N° Cliente:
03492-ENV-RE-300-0002	26 di 36	0A		RE-DFE-301

Per quanto riguarda invece il fattore di ritardo R che descrive l'equilibrio di assorbimento che si instaura all'interfaccia solido/liquido, ovvero come il ferro si ripartisce tra la matrice solida del terreno ed il fluido di circolazione, questo è stato calcolato con la relazione:

$$R = 1 + k_d \frac{\rho_s}{\theta_e}$$

In cui ρ_s = densità complessiva secca del suolo, assunta costante e pari a 1.7 g/cm³

θ_e = porosità efficace, assunta pari alla porosità dell'acquifero

k_d = coefficiente di partizione suolo/acqua, che dipende dal tipo di contaminante (in questo caso il ferro) e dalla tessitura del terreno; la tabella seguente riporta alcuni valori di letteratura⁷ per il coefficiente k_d .

Table 4-11: Iron - K_d values (Sheppard, M. I. and Thibault, D. H., 1990).

soil texture	sand	silt	clay	organic
K_d [L/kg]	220	800	165	600

Tabella 4: coefficiente di partizione suolo/acqua k_d

Ai fini della presente modellazione, è stato simulato con Bioscreen 1.4, per ogni scenario individuato in Tabella 3, l'andamento della concentrazione in funzione della distanza dalla sorgente (ipotizzata di lunghezza pari a 1 m, spessore pari a 2 m e concentrazione costante pari a 1 mg/l). Non sono stati cautelativamente considerati fenomeni di degradazione o decadimento del ferro disciolto.

Il dominio di calcolo (Figura 6) è comune a tutti gli scenari ed ha una lunghezza L di 50 m dall'asse della condotta ed una larghezza W pari ad 1 m; l'orizzonte temporale di simulazione è pari a 250 anni.

⁷ Sheppard, M.I. and D.H. Thibault. 1990. Default soil solid/liquid partition coefficients, Kds, for four major soil textures: A compendium. Health Phy. 59: 471-482.

METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio di 27 di 36	Rev.: 0A	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------------	-------------	---------------------------

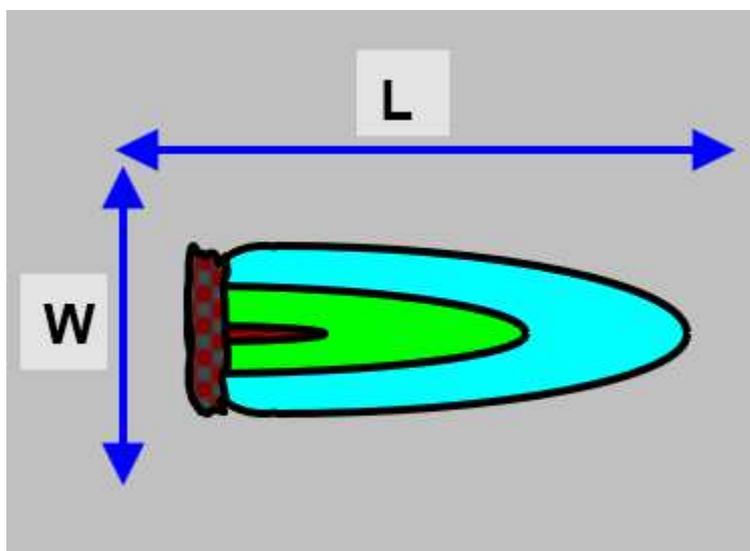


Figura 6: schematizzazione del dominio di calcolo

La figura seguente mostra un esempio di andamento delle concentrazioni lungo la *centerline* dopo un tempo T pari a 250 anni per lo scenario 10 (permeabilità 1E-3 m/s, gradiente 0.125%, porosità 30%, *retardation factor* 1247.67).

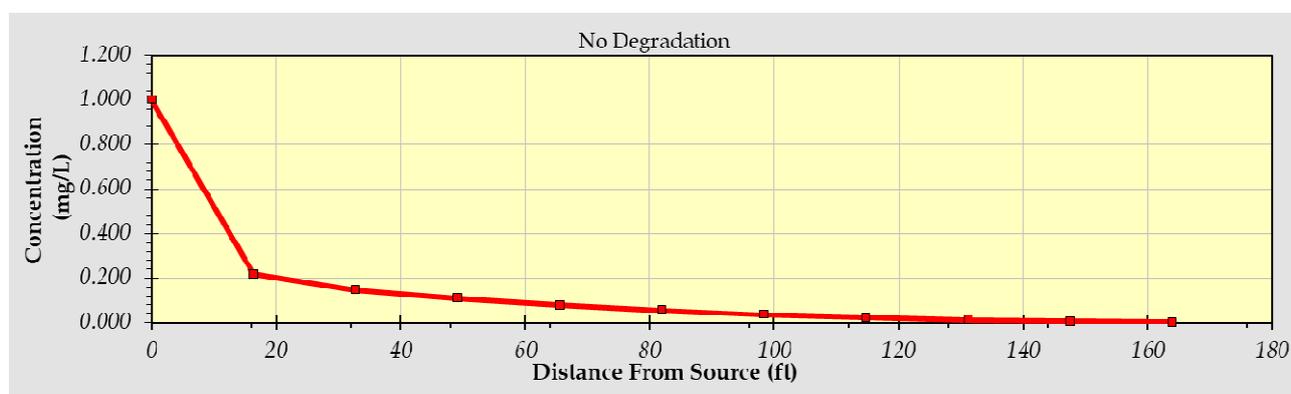


Figura 7: esempio di calcolo con Bioscreen 1.4

Il calcolo con Bioscreen implementato per tutti gli scenari di Tabella 3 è riportato in allegato.

Moltiplicando le concentrazioni alle diverse distanze dalla sorgente, calcolate con Bioscreen, per la concentrazione alla sorgente C_0 , stimata con il fattore di diluizione in falda LDF, è possibile ricavare la distribuzione spaziale della concentrazione di ferro in falda in funzione della distanza dalla sorgente.

METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 28 di 36	Rev.: 0A	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------------	-------------	---------------------------

5 RISULTATI

Nella tabella seguente è riportato l'andamento simulato delle concentrazioni di ferro in falda in funzione della distanza dal tubo, per ogni scenario, dopo un tempo T pari a 250 anni. Le concentrazioni riportate sono ottenute come somma fra la concentrazione simulata con Bioscreen 1.4 e la concentrazione naturale di ferro in falda, considerata pari a 0,025 mg/l (come indicato nel capitolo 2).

I valori di concentrazione risultante sono stati confrontati con il valore limite normativo per il ferro in falda (Concentrazione Soglia di Contaminazione, CSC, ai sensi del D.Lgs 152/06), pari a 0,2 mg/l. Le celle colorate in rosso in Tabella 5 sono quelle per le quali si verifica che la concentrazione complessiva (ferro derivante da dissoluzione della condotta + ferro naturale in falda) risulta superiore al limite fissato dalla CSC.

I risultati possono essere così sintetizzati:

- Massima distanza alla quale si verifica il superamento della CSC (0,2 mg/l): compresa fra 20 e 25 m dalla condotta, in 3 scenari su 60 (quelli caratterizzati da $K=1E-3$ m/s e gradiente e porosità posti entrambi pari alla metà del *range* proposto)
- Contaminazione che rimane confinata alle immediate prossimità della condotta (entro 5m): 31 scenari su 60 (tutti gli scenari con $K \leq 1E-6$ m/s ed alcuni con $k=1E-5$ m/s)
- Tutti i rimanenti scenari (26 su 60) mostrano una concentrazione superiore alla CSC ad una distanza dalla condotta compresa fra 5 e 20 metri.

METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio		Rev.:				N° Cliente: RE-DFE-301
	29	di 36	0A				

Scenario	tratto	Distance from Source (m)										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	1a	1.56E+02	9.39E-02	2.50E-02								
2	1a	1.56E+02	9.38E-02	2.50E-02								
3	1a	6.24E+02	2.50E-02									
4	1a	6.24E+02	2.50E-02									
5	1a	2.50E+02	2.95E-02	2.50E-02								
6	1a	1.59E+00	3.77E-01	2.73E-01	2.23E-01	1.90E-01	1.63E-01	1.39E-01	1.17E-01	9.54E-02	7.64E-02	6.03E-02
7	1a	1.59E+00	3.77E-01	2.73E-01	2.23E-01	1.90E-01	1.63E-01	1.39E-01	1.17E-01	9.54E-02	7.63E-02	6.02E-02
8	1a	6.27E+00	1.10E+00	5.58E-01	2.62E-01	1.08E-01	4.69E-02	2.91E-02	2.56E-02	2.51E-02	2.50E-02	2.50E-02
9	1a	6.27E+00	1.10E+00	5.58E-01	2.62E-01	1.08E-01	4.68E-02	2.91E-02	2.55E-02	2.51E-02	2.50E-02	2.50E-02
10	1a	2.52E+00	5.68E-01	3.91E-01	2.96E-01	2.24E-01	1.64E-01	1.15E-01	7.82E-02	5.30E-02	3.81E-02	3.04E-02
11	1b	1.53E+05	2.50E-02									
12	1b	1.53E+05	2.50E-02									
13	1b	5.78E+05	2.50E-02									
14	1b	5.78E+05	2.50E-02									
15	1b	2.42E+05	2.50E-02									
16	1b	1.56E+03	2.50E-02									
17	1b	1.56E+03	2.50E-02									
18	1b	6.24E+03	2.50E-02									
19	1b	6.24E+03	2.50E-02									
20	1b	2.50E+03	2.50E-02									
21	2a	1.56E+01	1.58E+00	3.39E-01	5.76E-02	2.65E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02
22	2a	1.56E+01	1.58E+00	3.39E-01	5.75E-02	2.65E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 30 di 36	Rev.:	N° Cliente: RE-DFE-301
		0A	

Scenario	tratto	Distance from Source (m)										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
23	2a	6.24E+01	8.45E-01	2.68E-02	2.50E-02							
24	2a	6.24E+01	8.45E-01	2.68E-02	2.50E-02							
25	2a	2.50E+01	1.56E+00	1.46E-01	2.77E-02	2.50E-02						
26	2a	1.59E+00	3.77E-01	2.73E-01	2.23E-01	1.90E-01	1.63E-01	1.39E-01	1.17E-01	9.54E-02	7.64E-02	6.03E-02
27	2a	1.59E+00	3.77E-01	2.73E-01	2.23E-01	1.90E-01	1.63E-01	1.39E-01	1.17E-01	9.53E-02	7.63E-02	6.02E-02
28	2a	6.27E+00	1.10E+00	5.58E-01	2.62E-01	1.08E-01	4.69E-02	2.91E-02	2.56E-02	2.51E-02	2.50E-02	2.50E-02
29	2a	6.27E+00	1.10E+00	5.58E-01	2.62E-01	1.08E-01	4.68E-02	2.91E-02	2.55E-02	2.51E-02	2.50E-02	2.50E-02
30	2a	2.52E+00	5.67E-01	3.89E-01	2.93E-01	2.21E-01	1.61E-01	1.12E-01	7.57E-02	5.12E-02	3.70E-02	2.98E-02
31	2b	1.56E+04	2.50E-02									
32	2b	1.56E+04	2.50E-02									
33	2b	6.19E+04	2.50E-02									
34	2b	6.19E+04	2.50E-02									
35	2b	2.49E+04	2.50E-02									
36	2b	1.56E+02	2.97E-01	2.50E-02								
37	2b	1.56E+02	2.96E-01	2.50E-02								
38	2b	6.24E+02	2.50E-02									
39	2b	6.24E+02	2.50E-02									
40	2b	2.50E+02	6.23E-02	2.50E-02								
41	3a	1.56E+01	1.58E+00	3.39E-01	5.76E-02	2.65E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02
42	3a	1.56E+01	1.58E+00	3.39E-01	5.75E-02	2.65E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02	2.50E-02
43	3a	6.24E+01	8.45E-01	2.68E-02	2.50E-02							

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 31 di 36	Rev.:	N° Cliente: RE-DFE-301
		0A	

Scenario	tratto	Distance from Source (m)										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
44	3a	6.24E+01	8.45E-01	2.68E-02	2.50E-02							
45	3a	2.50E+01	1.56E+00	1.46E-01	2.77E-02	2.50E-02						
46	3a	1.59E+00	3.77E-01	2.73E-01	2.23E-01	1.90E-01	1.63E-01	1.39E-01	1.17E-01	9.54E-02	7.64E-02	6.03E-02
47	3a	1.59E+00	3.77E-01	2.73E-01	2.23E-01	1.90E-01	1.63E-01	1.39E-01	1.17E-01	9.53E-02	7.63E-02	6.02E-02
48	3a	6.27E+00	1.10E+00	5.58E-01	2.62E-01	1.08E-01	4.69E-02	2.91E-02	2.56E-02	2.51E-02	2.50E-02	2.50E-02
49	3a	6.27E+00	1.10E+00	5.58E-01	2.62E-01	1.08E-01	4.68E-02	2.91E-02	2.55E-02	2.51E-02	2.50E-02	2.50E-02
50	3a	2.52E+00	5.67E-01	3.89E-01	2.93E-01	2.21E-01	1.61E-01	1.12E-01	7.57E-02	5.12E-02	3.70E-02	2.98E-02
51	3b	1.56E+04	2.50E-02									
52	3b	1.56E+04	2.50E-02									
53	3b	6.19E+04	2.50E-02									
54	3b	6.19E+04	2.50E-02									
55	3b	2.49E+04	2.50E-02									
56	3b	1.56E+02	2.97E-01	2.50E-02								
57	3b	1.56E+02	2.96E-01	2.50E-02								
58	3b	6.24E+02	2.50E-02									
59	3b	6.24E+02	2.50E-02									
60	3b	2.50E+02	6.23E-02	2.50E-02								

Tabella 5: Andamento delle concentrazioni di ferro disciolto in falda in funzione della distanza dal tubo (valori in mg/l)

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO

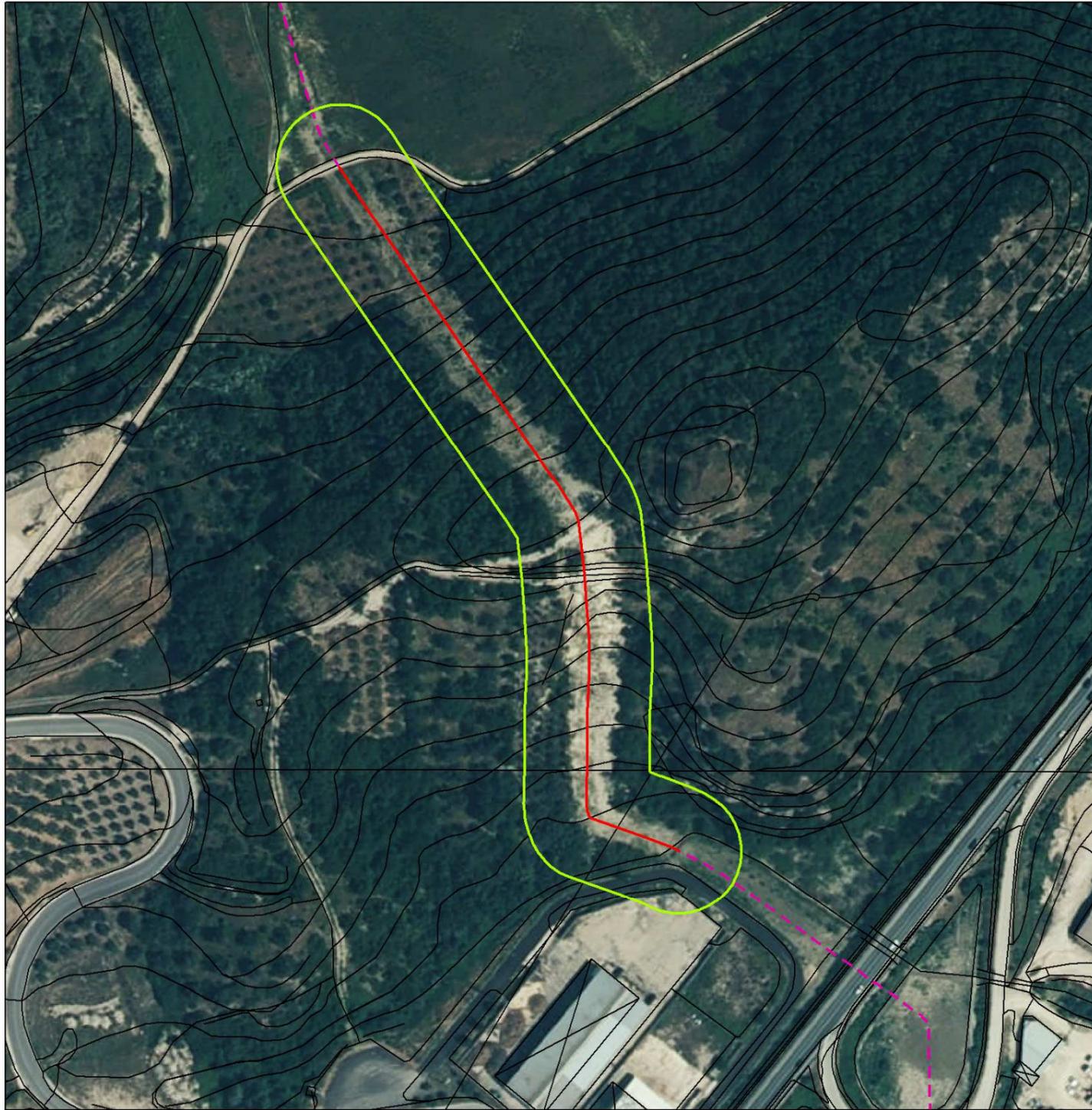
N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 32 di 36	Rev.: 0A	N° Cliente: RE-DFE-301
---	---------------------------------	--------------------	----------------------------------

Le mappe seguenti riportano per ogni tratto la massima estensione dell'area nella quale si verifica il superamento della CSC (0,2 mg/l). L'estensione massima di 20÷25 metri dall'asse della condotta, così come risultante dalle simulazioni implementate, va considerata nella direzione di flusso dell'acquifero, e quindi orientata nella direzione del gradiente idraulico della falda. Non essendo però al momento disponibili dati di dettaglio relativi all'orientamento dei gradienti idraulici in corrispondenza dei 3 tratti in esame, si è fatta l'ipotesi conservativa di considerare quale massima area di potenziale contaminazione la porzione di acquifero compresa entro una distanza di 25 m dall'asse della condotta, calcolata ortogonalmente all'asse della condotta in tutte le direzioni.

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio di 33 di 36	Rev.: 0A	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------------------	-------------	---------------------------



Legenda

- tratto non rimozione
- area potenziale contaminazione
- - - metanodotto

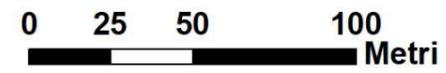


Figura 8: Massima estensione area di potenziale contaminazione per il tratto 1

METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE Rimozione condotte esistenti				
STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO				
N° Documento:	Foglio	Rev.:	N° Cliente:	
03492-ENV-RE-300-0002	34 di 36	0A	RE-DFE-301	



Legenda

- tratto non rimozione
- area potenziale contaminazione
- - - metanodotto

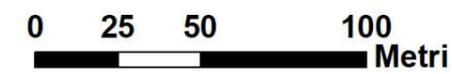
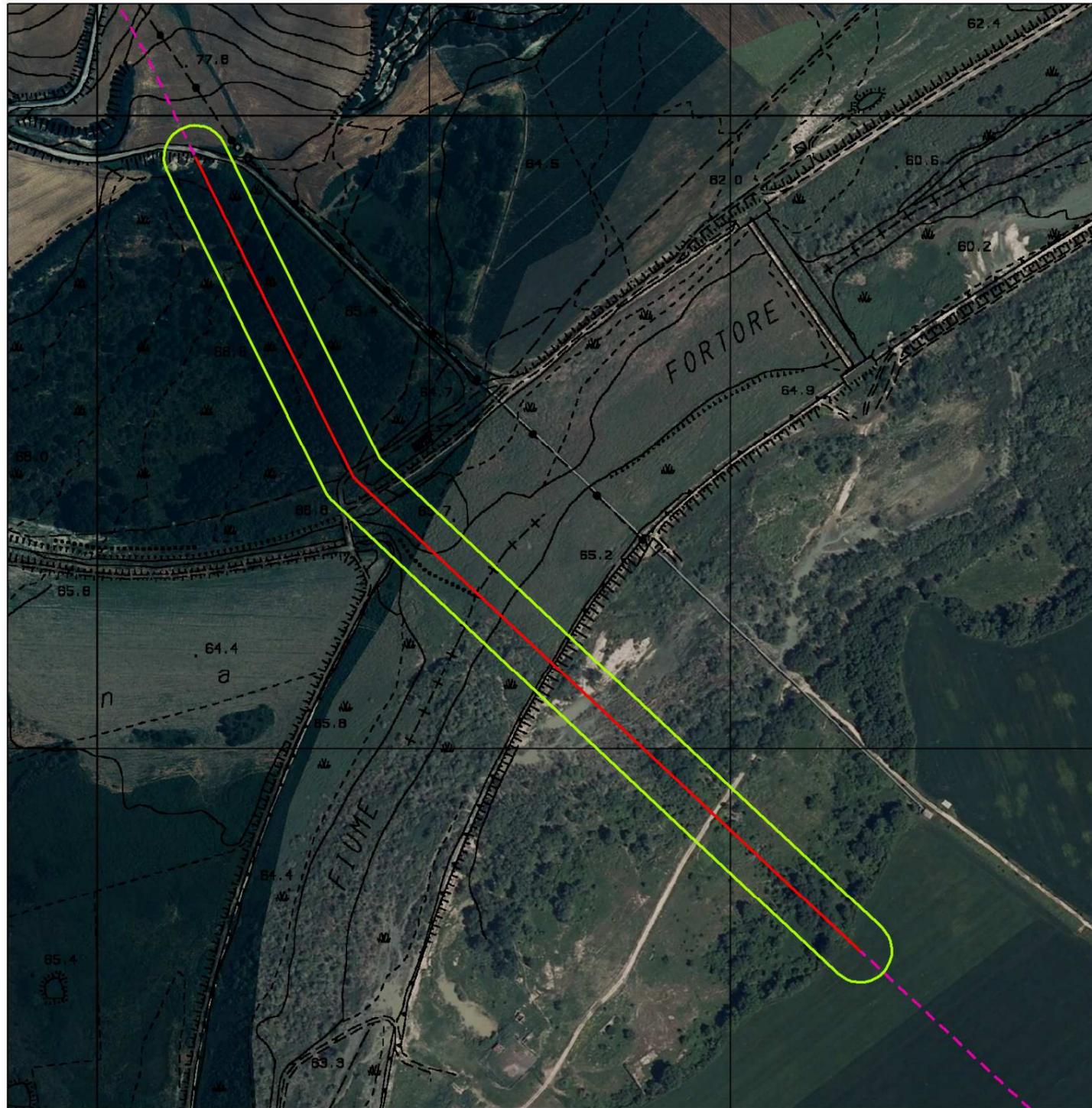


Figura 9: Massima estensione area di potenziale contaminazione per il tratto 2

METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio di 36 35	Rev.: 0A	N° Cliente: RE-DFE-301
--	-----------------------	-------------	---------------------------



Legenda

- tratto non rimozione
- area potenziale contaminazione
- - - metanodotto



Figura 10: Massima estensione area di potenziale contaminazione per il tratto 3

**METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI
DN 500 (20"), MOP 64 bar E OPERE CONNESSE
Rimozione condotte esistenti**

STUDIO SULLA DISPERSIONE DEL FERRO NEL TERRENO

N° Documento: 03492-ENV-RE-300-0002	Foglio 36 di 36	Rev.: 0A	N° Cliente: RE-DFE-301
--	--------------------------	-------------	---------------------------

6 CONCLUSIONI

Considerando i 3 diversi tratti in cui la condotta non verrà rimossa (località Lentella, fiume Biferno e fiume Fortore), si ha che per ogni tratto la massima distanza alla quale si verifica dopo 250 anni il superamento della CSC (0,2 mg/l) è compresa fra 20 e 25 m dalla condotta (scenari 10, 30 e 50 Tabella 5).

Tale stima tiene conto delle seguenti ipotesi estremamente cautelative:

- gli scenari in cui si verifica il superamento delle CSC sono relativi alla combinazione di parametri litologici ed idrogeologici che massimizzano la diffusione in falda della concentrazione di ferro derivante dalla corrosione della condotta.
- nel caso del tratto 2 (Fiume Biferno) e del tratto 3 (Fiume Fortore) l'acquifero è stato inoltre ipotizzato come separato dal corpo idrico, non considerando cioè tutti i possibili fenomeni di interazione fra falda e fiume, in primis le ulteriori possibili diluizioni che possono essere generate dagli interscambi fra acque di falda ed acque di fiume e che possono contribuire a ridurre la reale distanza dalla condotta alla quale si verifica il superamento delle CSC.

Sulla base di tali considerazioni è possibile affermare che la dispersione di ferro nel terreno e nella falda acquifera, dovuta ai tratti di condotta non rimossi, sarà del tutto trascurabile e non significativa.