

COMMITTENTE:



APPALTATORE A.T.I.



ITALIANA COSTRUZIONI S.p.A.	(Mandante)
ESIM S.r.l.	(Mandante)
ALPITEL S.p.A.	(Mandante)
ARMAFER del Dr. Michele Morelli S.r.l.	(Mandante)

**LINEA PALERMO-MESSINA RADDOPPIO FIUMETORTO-CEFALÙ-CASTELBUONO  
TRATTA OGLIASTRILLO-CASTELBUONO**

**PROGETTO COSTRUTTIVO**

**RELAZIONE VALUTAZIONE DEL RISCHIO  
SPECIFICO AMBIENTALE PER I MATERIALI DA  
SCAVO CONDIZIONATI PROVENIENTI DALLO  
SCAVO MECCANIZZATO DELLA GALLERIA  
CEFALÙ**

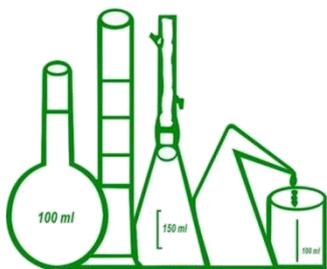
Codice Elaborato										Scala:
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	OPERA	DISCIPLINA	TIPO	PROGR.	REV.		
RS01	20	C	ZZ	RHIM	00	03	017	A		-

File: RS0120CZZRHIM0003017A.pdf	Formato: pdf	-
---------------------------------	--------------	---

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
A	Luglio 2021	RELAZIONE TECNICA			

PROGETTAZIONE:

APPROVAZIONI:



**Chimica**  
**Applicata**  
**Depurazione**  
**Acque S.n.C.**  
*di Filippo Giglio & C.*

**LINEA PALERMO-MESSINA**  
**Raddoppio Fiumetorto-Cefalù-Castelbuono**  
*Tratta Ogliastrillo-Castelbuono*

VALUTAZIONE DEL RISCHIO  
SPECIFICO AMBIENTALE PER I MATERIALI DA SCAVO  
CONDIZIONATI PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO  
DELLA GALLERIA CEFALU'

**RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA**  
*(Ai sensi del D.Lgs 152/2006)*

**Committente**

**TOTO COSTRUZIONI S.p.A.**

**Viale Abruzzo, 410**

**66100 CHIETI (CH)**



⇒ **DIVISIONE TECNICA**  
\* **Dipartimento Monitoraggi e Controllo**  
\* **Dipartimento Servizi Tecnici**

**ELABORATO:**

**TOTO COSTRUZIONI S.p.A.**  
**Viale Abruzzo, 410**  
**66100 CHIETI (CH)**

**LINEA PALERMO-MESSINA**  
**Raddoppio Fiumetorto-Cefalù-Castelbuono**  
**Tratta Ogliastrillo-Castelbuono**

**VALUTAZIONE DEL RISCHIO**  
**SPECIFICO AMBIENTALE PER I MATERIALI DA SCAVO CONDIZIONATI**  
**PROVENIENTI DALLO SCAVO MECCANIZZATO DELLA GALLERIA CEFALU'**  
**(Punto 7 Determina MATTM -Approvazione PUT del 22/06/2015)**

**RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA**  
**(Ai sensi del D.Lgs 152/2006)**

REV	Data
Rev.00	29/04/16
Rev.01	14/05/16
Rev.02	06/06/16
Rev.03	26/10/16
Rev.04	13/12/17
Rev.05	13/07/21

**C.A.D.A. snc**  
Caratterizzazioni e bonifiche ambientali  
**Responsabile**  
*dott. Giandomenico Nardone*

**C.A.D.A. snc**  
Divisione Tecnica  
**Direttore**  
*dott. Filippo Giglio*

Menfi li, 13/07/2021



## Sommario

1. PREMESSA .....	9
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	13
2.1. Area oggetto della Valutazione di Rischio .....	13
2.2. Inquadramento urbanistico .....	21
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO .....	22
3.1. Assetto geologico del tracciato .....	22
3.2. Caratteristiche idrogeologiche del tracciato .....	25
3.2.1. Circolazione idrica sotterranea.....	26
4. DESCRIZIONE TECNOLOGIE DI SCAVO .....	28
4.1. Scavo in tradizionale.....	28
4.2. Scavo con <i>Tunnel Boring Machine</i> .....	30
4.3. Tecnologia di scavo adottata .....	35
5. ADDITIVI UTILIZZATI .....	37
5.1. Caratterizzazione del prodotto condizionante .....	37
5.2. Valutazione quantitativa del prodotto impiegato .....	39
5.3. Valutazione della tossicità degli additivi condizionanti .....	40
5.4. Confronto tra le concentrazioni operative e attese e le concentrazioni tossicologiche.....	40
5.5. Valutazione delle biodegradabilità .....	45
5.6. Sperimentazione - Parametri di condizionamento .....	46
5.7. Conclusioni della sperimentazione Mario Negri .....	48
6. SOFTWARE UTILIZZATO .....	51
6.1. Il software .....	51
6.2. Definizione Modello concettuale .....	53



6.3.	Calcolo della concentrazione nel punto di esposizione.....	53
6.4.	Calcolo del rischio.....	54
7.	VALUTAZIONE DEL RISCHIO AMBIENTALE .....	56
7.1.	L'Analisi di Rischio.....	56
7.2.	Applicabilità al caso di studio .....	57
7.3.	Valutazione degli impatti.....	59
7.4.	I casi studio.....	66
8.	Caso 1: GN Cefalù - Tratto Operativo 1 .....	69
8.1.	Ipotesi di partenza per il caso di studio GN Cefalù .....	69
8.2.	GN Cefalù - Caratterizzazione del sito.....	72
8.3.	GN Cefalù - Modello Concettuale del Sito .....	73
8.3.1.	GN Cefalù - Sorgenti.....	73
8.3.2.	GN Cefalù - Vie d'esposizione .....	74
8.3.3.	GN Cefalù - Bersagli .....	74
8.4.	GN Cefalù - Selezione dei contaminanti .....	75
8.5.	GN Cefalù - Definizione delle CRS.....	77
8.6.	GN Cefalù - Recettori .....	78
8.7.	GN Cefalù - Parametri di esposizione.....	78
8.8.	GN Cefalù - Caratteristiche del sito .....	79
8.8.1.	GN Cefalù - Geometria della sorgente .....	80
8.8.2.	GN Cefalù - Dati di input .....	84
8.9.	CASO 1 - GN Cefalù Risultanze dell'Analisi di Rischio.....	87
9.	Caso 2: Siti di destinazione finale.....	93
9.1.	Inquadramento territoriale dei siti.....	93
9.1.1.	Inquadramento urbanistico dei siti.....	94



9.2.	Ipotesi di partenza per i casi di studio dei siti di destinazione finale .....	95
9.3.	Siti di destinazione finale - Modello Concettuale del Sito.....	95
9.3.1.	Siti di destinazione finale - Sorgenti .....	95
9.3.2.	Siti di destinazione finale - Vie d'esposizione.....	96
9.3.3.	Siti di destinazioni finali - Bersagli .....	97
9.4.	Siti di utilizzo - Selezione dei contaminanti .....	98
9.5.	Siti di utilizzo - Definizione delle CRS .....	99
9.6.	Siti di utilizzo - Recettori .....	99
9.7.	Siti di destinazione finale - Parametri di esposizione .....	100
9.8.	Siti di destinazione finale caratterizzazione dei siti .....	101
9.8.1.	Siti di utilizzo - Geometria della sorgente .....	102
9.9.	Dati di input, output e risultanze dell'analisi di rischio per i siti di destinazione finale	105
9.9.1.	Dati di input, output e risultanze dell'analisi di rischio per il sito di utilizzo Cava Roccalupa.....	106
9.9.2.	Dati di input, output e risultanze dell'analisi di rischio per il sito di utilizzo Cava Cerda	107
9.9.3.	Dati di input, output e risultanze dell'analisi di rischio per il sito di utilizzo Cava San Biagio.....	108
9.10.	CASO 2 - Siti di destinazione finale Risultanze dell'Analisi di Rischio.....	109
10.	Caso 3: Aree di deposito in attesa di utilizzo .....	111
10.1.	Ipotesi di partenza per le aree di deposito in attesa di utilizzo.....	112
10.2.	Aree di deposito intermedio - Modello Concettuale del Sito .....	113
10.2.1.	Aree di deposito intermedio - Sorgenti.....	113
10.2.2.	Aree di deposito intermedio - Vie d'esposizione .....	114
10.2.3.	Aree di deposito intermedio - Bersagli .....	115



10.3.	Aree di deposito intermedio - Selezione dei contaminanti .....	116
10.4.	Aree di deposito intermedio - Definizione delle CRS .....	116
10.5.	Aree di deposito intermedio - Recettori .....	117
10.6.	Aree di deposito intermedio - caratterizzazione dei siti.....	118
10.6.1.	Aree di deposito intermedio - Geometria della sorgente .....	119
10.7.	Dati di input, output e risultanze dell'analisi di rischio per i siti di destinazione finale	120
10.8.	CASO 3 - Aree di deposito in attesa di utilizzo Risultanze dell'Analisi di Rischio	121
11.	CONSIDERAZIONI FINALI .....	123
12.	CONCLUSIONI .....	126
13.	BIBLIOGRAFIA .....	127



## ELENCO DEGLI ELABORATI DI RIFERIMENTO CITATI E CONSULTATI

- Analisi ambientale sui MDS provenienti da scavo meccanizzato in modalità EPB con impiego di additivi di condizionamento
- Documento tecnico sul trattamento a calce dei MDS lavorati in modalità EPB e relativo parere di condivisione a cura di ARPA S.T. di Palermo
- Piano di Caratterizzazione Ambientale dei Materiali da Scavo
- Piano di Caratterizzazione Ambientale dei Siti di Destinazione
- Relazione descrittiva delle indagini ante operam – materiali da scavo (trincee)
- Relazione tecnica descrittiva delle indagini eseguite tramite sondaggi geognostici a carattere ambientale, Comune di Cefalù (PA)”
- Relazione tecnica “Caratterizzazione ambientale siti di destinazione finale terre da scavo Cava Cerda - Comune di Sciara (PA)”
- Relazione tecnica “Caratterizzazione ambientale siti di destinazione finale terre da scavo Cava Roccalupa - Comune di Pollina (PA)”
- Relazione tecnica “Caratterizzazione ambientale siti di destinazione finale terre da scavo Cava San Biagio - Comune di Cefalù (PA)”
- Relazione descrittiva delle attività integrative della caratterizzazione ante operam, in relazione ai superi delle CSC riscontrate. (inclusa lettera di invio TOTO SpA CG all'ARPA S.T. di Palermo prot. 665/GP/vdr del 21/05/2014)
- Piano di accertamento del valore di fondo naturale per l'elemento Stagno.
- (incluse lettere di invio TOTO SpA CG:
  - prot. 665/GP/vdr del 21/05/2014 all'ARPA S.T. di Palermo
  - prot. 664/GP/vdr del 21/05/2014 al MATTM e, p.c., all'ARPA S.T. di Palermo)
- Estratto del progetto per il recupero ambientale della Cava Roccalupa
- Estratto del progetto per il recupero ambientale della Cava Cerda/Lambertini
- Estratto del progetto per il recupero ambientale della Cava San Biagio
- Relazione tecnica di conclusione attività per la valutazione della presenza dei composti organostannici nelle terre da scavo (comprese note TOTO SpA prot. nr. 111 in data 04 febbraio 2015 e ARPA ST Palermo prot. nr. 8589 in data 17 febbraio 2015).



- Relazione tecnica ISTITUTO DI RICERCHE FARMACOLOGICHE MARIO NEGRI risultati della sperimentazione ecotossicologica eseguita sugli additivi condizionanti e sulle terre e rocce da scavo che si intendono utilizzare nei lavori oggetto della presente indagine di rischio.

## ELENCO DEGLI ELABORATI CARTOGRAFICI DI P.E. DI RIFERIMENTO

CAP.	CODICI	TITOLO	SCALA
02.01.01.19÷34	RS2P20EZZ P7IF0001001÷16	Planimetrie di progetto - Tavv. 1÷16	1:1.000
04.19.01.02÷04	RS2P20EZZ G5GE0001001÷3	Carta geologica con elementi di geomorfologia - Tavv. 1÷3	1:5.000
04.19.01.05÷07	RS2P20EZZ F6GE0001001÷3	Profili geologici - Tavv. 1÷3	1:2.000
05.01.01.02	RS2P20EZZ C1IM0000001	Planimetria cave e discariche	1:100.000
16.01.01.02	RS2P20EZZ C1CA0000001	Corografia con ubicazione dei cantieri, delle cave, delle discariche e degli impianti di betonaggio – Viabilità	1:100.000
16.01.01.03	RS2P20EZZ P4CA0000001	Planimetria generale con individuazione delle aree di cantiere e della viabilità	1:10.000
16.01.01.04÷06	RS2P20EZZ P5CA0000001÷3	Planimetria generale con individuazione delle aree di cantiere e della viabilità con indicazione dei flussi di transito - Tavv. 1÷3	1:5.000



## 1. PREMESSA

Il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione Generale per le Valutazioni e le Autorizzazioni Ambientali, al **punto 7** della “**Determina**” trasmessa con nota protocollo DVADEC-2015-0000206 del 22 giugno 2015, ha **prescritto** alla ditta **Toto Costruzioni S.p.A.**, esecutrice dei lavori di realizzazione del Raddoppio ferroviario Fiumetorto-Cafalù-Castelbuono Tratta Ogliastrillo-Castelbuono LINEA PALERMO-MESSINA, di doverli eseguire, tra gli altri punti, nel contesto di condizioni operative di produzione tali che [...] ***durante i lavori venga costantemente effettuata una preventiva valutazione del rischio specifico ambientale per quanto riguarda la possibile contaminazione delle acque sotterranee, secondo quanto previsto dalla Tabella 2, Allegato V parte IV del D.Lgs. 152/06 “Concentrazione Soglia di Contaminazione nelle acque sotterranee”, al fine di garantire che le sostanze chimiche utilizzate per lo scavo con TBM non determinino, sia durante gli scavi e depositi temporanei che successivamente all’abbancamento dei materiali scavati, pregiudizio all’ambiente ed alla salute umana e che il fango di risulta possa essere classificato come sottoprodotto e quindi non sia assoggettato alla normativa sui rifiuti.***

Pertanto, in evasione della citata ottemperanza, la presente relazione, prodotta dalla società **C.A.D.A. snc** e commissionata dalla Società **Toto Costruzioni S.p.A.**, si prefigge l’obiettivo di descrivere il percorso scientifico sviluppato per la redazione della suddetta “**Valutazione del Rischio Specifico Ambientale**”.

Percorso scientifico di valutazione che è stato operato **mutuando** ed **adattando**, al particolare caso in oggetto, il consolidato e validato canovaccio tecnico e logico usualmente sviluppato per la redazione delle “**Analisi di Rischio Sanitario ed Ambientale Sito Specifica**” (AdR), così come essa è puntualmente definita alla *lettera s) art. 240 del D. Lgs. 152/06*: “*analisi sito specifica degli effetti sulla salute umana derivanti dall’esposizione prolungata all’azione delle sostanze presenti nelle matrici ambientali contaminate, condotta con criteri indicati nell’allegato 1 alla parte quarta del presente decreto*”.

Infatti il percorso dell’Analisi di Rischio parte da un preciso **input** costituito da un sito “*potenzialmente contaminato*” (*lettera d art. 240 del D. lgs. 152/06*) dove, a carico di una specifica “*matrice ambientale*” (suolo superficiale, suolo profondo e acque sotterranee), è



stato già accertato un superamento delle “**Concentrazioni Soglia di Contaminazione**” (**CSC**), per arrivare ad un **output** dove, come esito dello studio, viene acclarata l'accettabilità o meno del Rischio sanitario-ambientale legato ad alcuni aspetti specifici, quali le concentrazioni di partenza, le vie di esposizione e i bersagli.

Di contro, il presente studio, come già detto, si origina dalla prescrizione del MATTM e non già da un avvenuto superamento delle CSC su una specifica matrice ambientale, pertanto non si ritiene applicabile, al caso di specie, la procedura di AdR ex art. 240 *del D. lgs. 152/06*.

Ciononostante, a fine di massima cautela, si è scelto di seguire un approccio del tutto simile a quello sopra esposto, salvo doverlo adattare al particolare caso di studio.

Pertanto lo strumento principale che è stato utilizzato nella presente *Valutazione del Rischio Ambientale* è il software Risk-net 2.1.

Un software sviluppato nell'ambito della rete su iniziativa del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Roma “*Tor Vergata*” con l'obiettivo di fornire uno strumento che ricalchi la procedura APAT – ISPRA di **Analisi di Rischio** (“*Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*”; APAT 2008).

Per via delle peculiari caratteristiche delle sostanze chimiche utilizzate nello scavo con TBM (*in modalità EPB*), in particolare per la loro elevata biodegradabilità, il software verrà utilizzato come un modello di “**fate and transport**” in grado di mostrare l'andamento delle concentrazioni in funzione del tempo e dello spazio (“**al transitorio**”) invece che limitarsi a valutare il Rischio allo stato stazionario (*tali considerazioni verranno meglio chiarite e motivate più avanti*).



Modello "fate and transport"

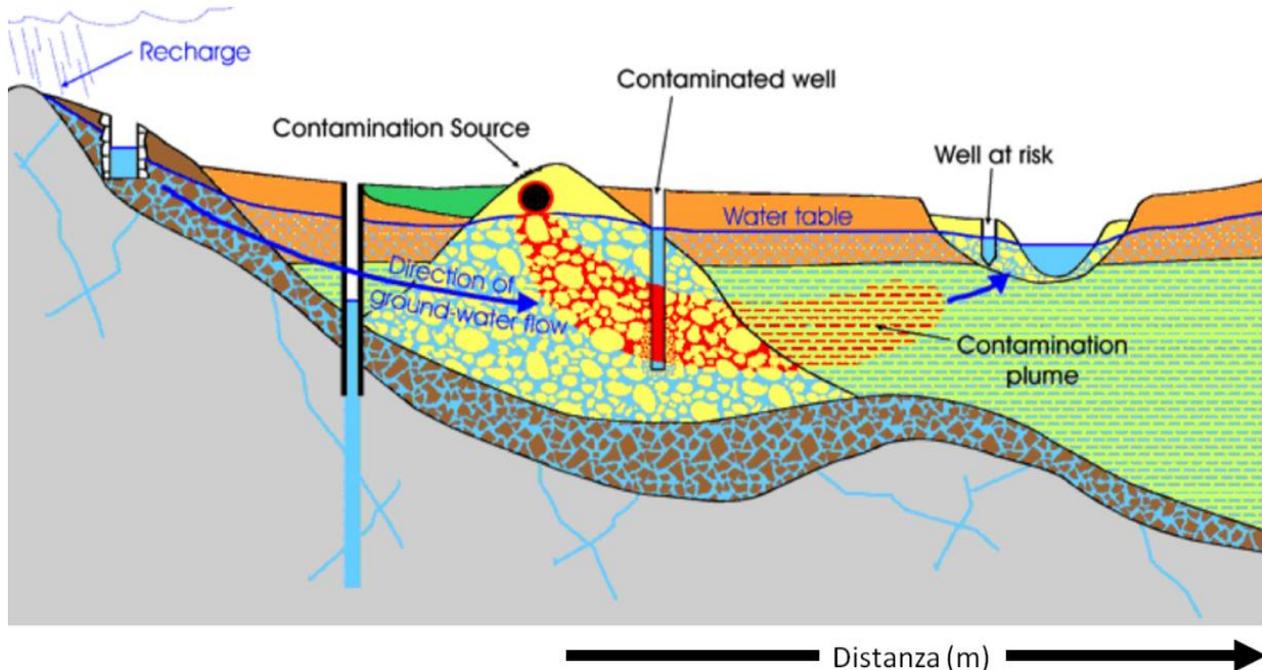


Figura 1. Schema del modello "fate and transport" per la valutazione delle concentrazioni nel tempo e nello spazio

Nello specifico, così come indicato al **punto 7** della *Determina del MATTM per l'approvazione del PUT del 22/06/2015*, la "**matrice ambientale**" su cui eseguire detta valutazione è rappresentata dalle "**acque sotterranee**" presenti ed interferenti con i lavori di scavo meccanizzato mediante TBM in modalità EBP.

Nel merito del suddetto percorso, in via del tutto preliminare, vanno chiariti gli aspetti di contesto che di seguito vengono elencati e poi esplicitati, successivamente, nel loro dettaglio.

1. Conoscenza delle caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche delle specie chimiche aggiunte ai "**materiali da scavo**" per garantire l'ottimale *mix-design* al processo di scavo;
2. Individuazione dei valori "**soglia di non effetto**" e consequenziali ipotesi di **Concentrazioni Soglia di Contaminazione**, per la specifica matrice ambientale, derivanti dalla presenza di singole specie chimiche, non indicate nelle *tab 1 e 2 dell'Allegato 5 alla Parte IV del D. Lgs. 152/06* ma presenti nel citato *mix-design* aggiunto in fase di scavo;



3. Valutazione del “**rischio specifico ambientale**” per le “**acque sotterranee**” applicando il software “*Risk-net 2.1*” utilizzato nel presente studio.

Infine, a conclusione della presente **valutazione di rischio**, verrà descritto un coerente “**Piano di Monitoraggio**” che, nell’ottica di verificare eventuali difformità tra il modello e la situazione reale (*ad es. presenza di fratture significative nei terreni*), permetta di prevenire un eventuale “**rischio**” non accettabile per le matrici “**acque sotterranee**” ed “**acque superficiali**”. Ciò, nel concreto, si metterà in pratica tramite specifiche attività, **sia da campo che da laboratorio**, di natura **chimica, fisica, ecotossicologica e biotica** atte a “**monitorare**” il divenire degli eventuali impatti concretizzabili con i **lavori di scavo**, di **deposito in attesa di utilizzo** e di **utilizzo** finale presso i siti autorizzati dal Piano di Utilizzo.

Detto **monitoraggio**, pertanto, sarà sviluppato attraverso la scelta di specifici “**indicatori**” che consentano al “**soggetto obbligato**” di operare le idonee ed efficaci “**azioni correttive**” prima che si possano determinare effetti negativi persistenti sulle singole matrici ambientali oggetto del suddetto controllo.

Nel merito gli “**indicatori**” e relative “**azioni correttive**” saranno da **definire** attraverso il presente studio e poi da **condividere**, in via preliminare, con la competente ARPA ST di Palermo, così come indicato al citato *punto 7 della Determina del MATTM per l’approvazione del PUT del 22/06/2015*.

E’ ovvio che i richiamati indicatori chimico fisici dovranno avere, nel contempo,

- sia una effettiva relazione chimico-fisica diretta tra **misurando** e tipologia della potenziale fonte di contaminazione;
- che una modalità di risposta in tempi relativamente brevi e compatibili con le attività di cantiere, pertanto, in grado di garantire le necessarie repentine azioni correttive.

E’ altrettanto ovvio che, per le menzionate misure, si farà riferimento a “**valori di allarme**” aventi concentrazioni del misurando significativamente più basse del prescritto valore limite. Ciò con ovvi fini di cautela ed al fine di attivare, per tempo, le necessarie efficaci azioni correttive.



## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

### 2.1. Area oggetto della Valutazione di Rischio

La presente Valutazione di Rischio Sito-Specifica riguarda unicamente i materiali da scavo condizionati e scavati con tecnologia EPB, interessa quindi la sola galleria Cefalù, l'area di deposito intermedio AS01, l'area di deposito intermedio identificata come "eventuale" nel PUT e ubicata in area artigianale di Cefalù e i siti di destinazione finale più avanti descritti nel documento.

Sulla base degli interventi da eseguire e delle opere da realizzare, l'opera è stata suddivisa nelle seguenti aree:

#### **Aree di produzione di materiale da scavo:**

- Area 1. Ogliastrillo*
- Area 2. Galleria Naturale Cefalù e fermata di Cefalù*
- Area 3. Carbone*
- Area 4. Galleria Naturale S. Ambrogio e relativa finestra*
- Area 5. Malpertugio*
- Area 6. Stazione Castelbuono*

#### **Aree di deposito temporaneo (stoccaggio) in attesa di utilizzo:**

- AS1. ubicata in zona Ogliastrillo;*
- AS3. ubicata in zona Carbone;*
- AS4. ubicata in zona Finestra S. Ambrogio;*
- AS5. ubicata in zona Malpertugio.*

#### **Siti di destinazione finale:**

- Rocca Sabeco Pollina*
- Siciliana Lambertini Sciara*
- Rocca Sabeco Cefalù*

Per il 10 % del tracciato di scavo è previsto l'impiego della metodologia di scavo in EPB, i prodotti utilizzati con questa tecnologia di scavo e che potenzialmente entreranno in contatto con la terra di scavo sono:



- a. Additivo schiumogeno. Necessario per il condizionamento del fronte, migliora la lavorabilità, riduce gli attriti sulla testa e, quindi, i consumi della macchina (in termini elettrici e di usura dei materiali);
- b. Eventuali ulteriori additivi coadiuvanti il condizionamento del materiale;
- c. Acqua che, come l'additivo schiumogeno, è necessaria per il condizionamento del fronte: migliora la lavorabilità, riduce gli attriti sulla testa e, quindi, i consumi della macchina (in termini elettrici e di usura dei materiali);
- d. Grasso per la tenuta ermetica del cuscinetto principale che impedisce il reflueno di materiale all'interno dello stesso
- e. Grasso per la lubrificazione del cuscinetto principale

Da quanto sopra sommariamente descritto risulta evidente che l'unica modalità di scavo in grado di produrre un "potenziale rischio" per l'ambiente nel suo complesso e la risorsa idrica in particolare, è la modalità di scavo in EPB. Ciò a causa dell'impiego di additivi chimici e di un *mix design* chimico-fisico atto a favorire lo scavo in queste particolari condizioni. Per le ragioni sopra citate la Valutazione di Rischio è stata mirata alle sole aree di escavo in cui sarà utilizzata tale modalità di scavo, nonché, alle aree di deposito intermedio e di conferimento finale (recupero ambientale cave) in cui i materiali provenienti dallo scavo in EPB saranno dapprima "stoccati" e successivamente conferiti definitivamente.



**Figura 2. Tratto 1 da scavare con metodologia EPB della lunghezza complessiva di 371 m**



**Figura 3. Tratto 5 da scavare con metodologia EPB della lunghezza complessiva di 421m**



**Figura 4. Tratto 8 da scavare con metodologia EPB della lunghezza complessiva di 55m**

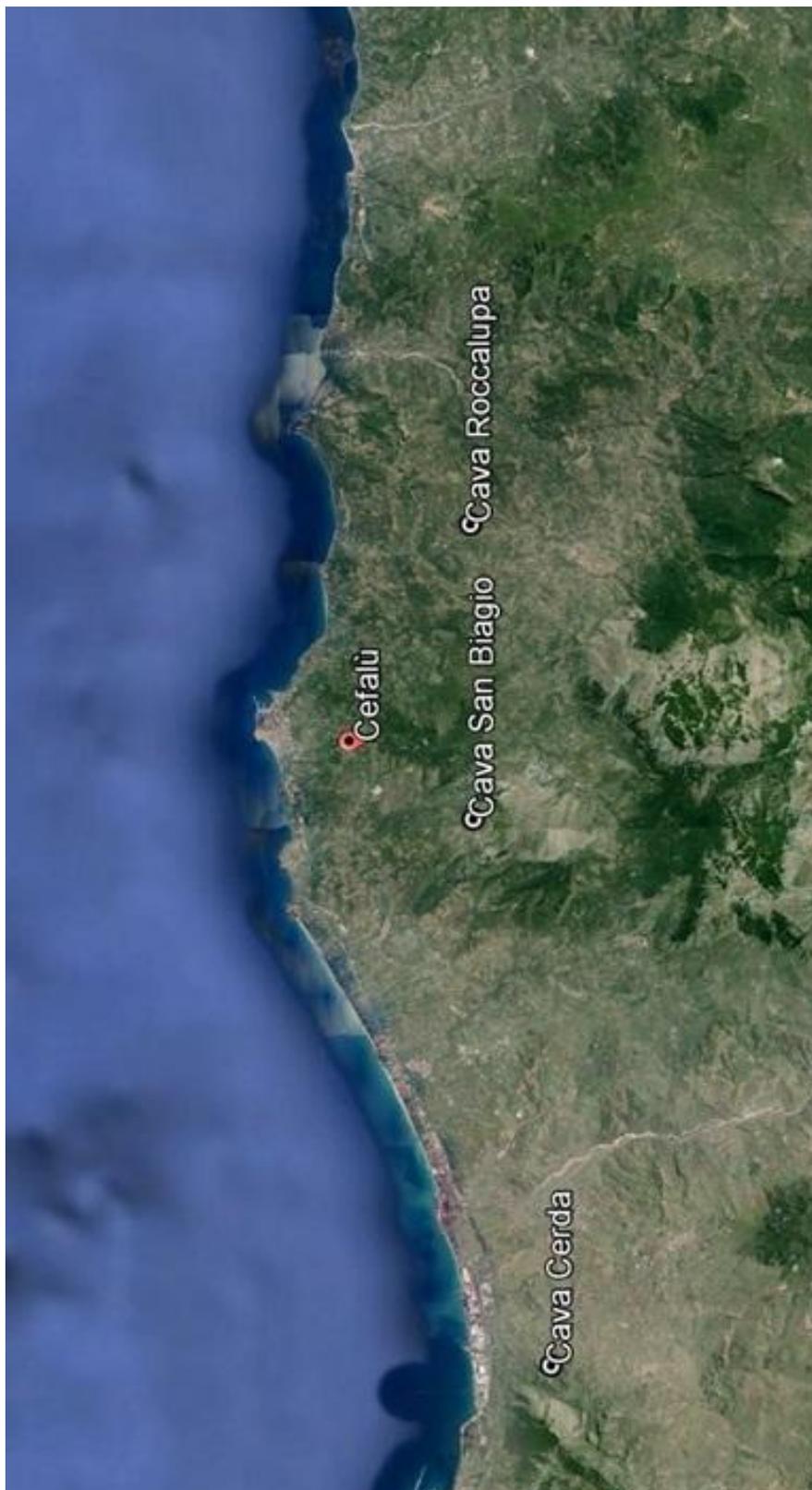
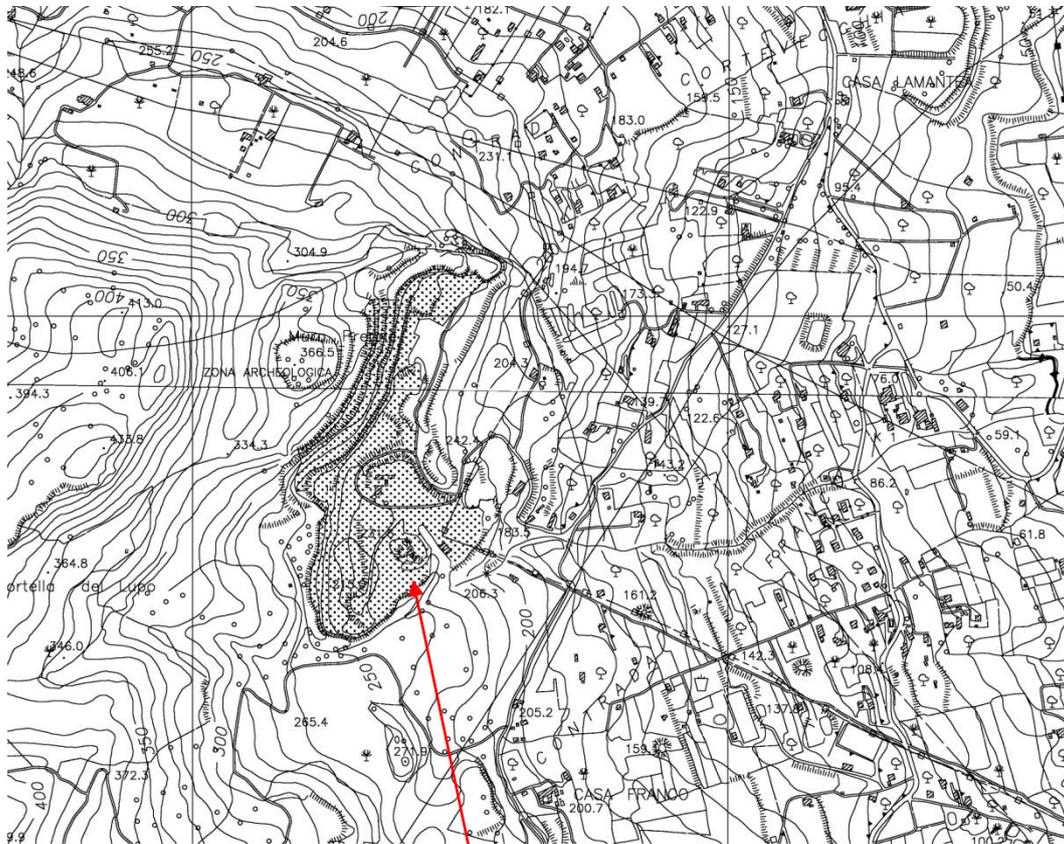
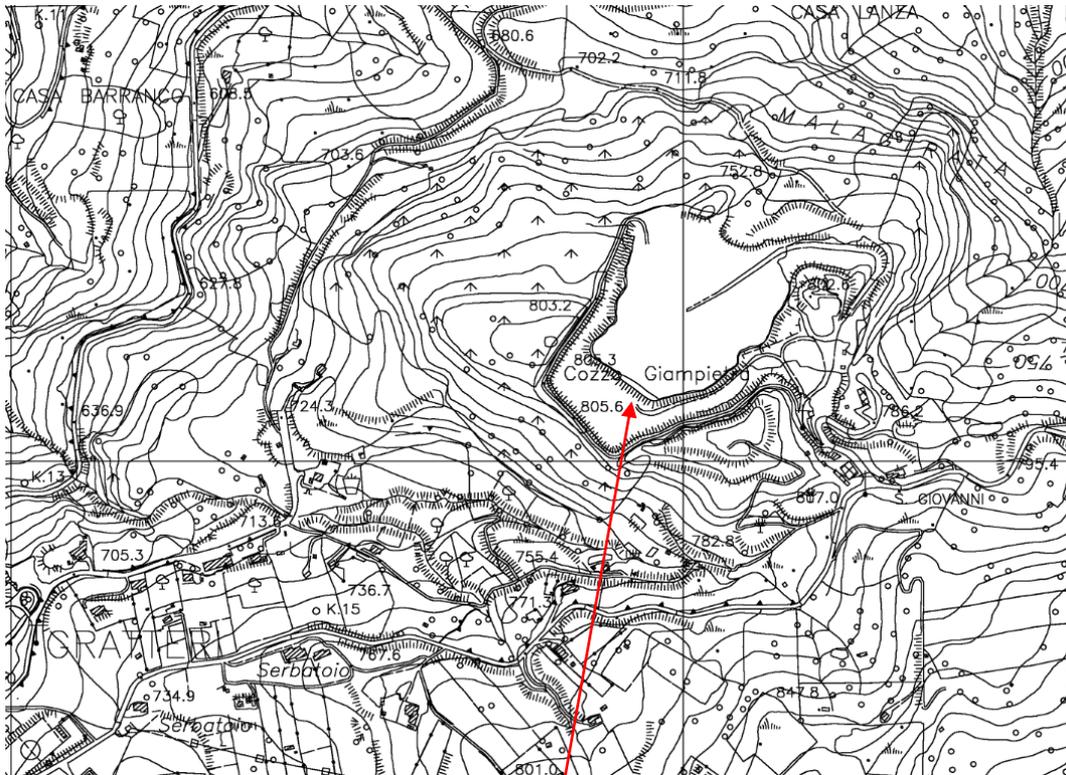


Figura 5. Inquadramento geografico siti di destinazione finale



**Figura 6. Cava Cerda. In alto stralcio CTR 1:10.00 in basso ortofoto (google earth)**



**Figura 7. Cava San Biagio In alto stralcio CTR 1:10.00 in basso ortofoto (google earth)**

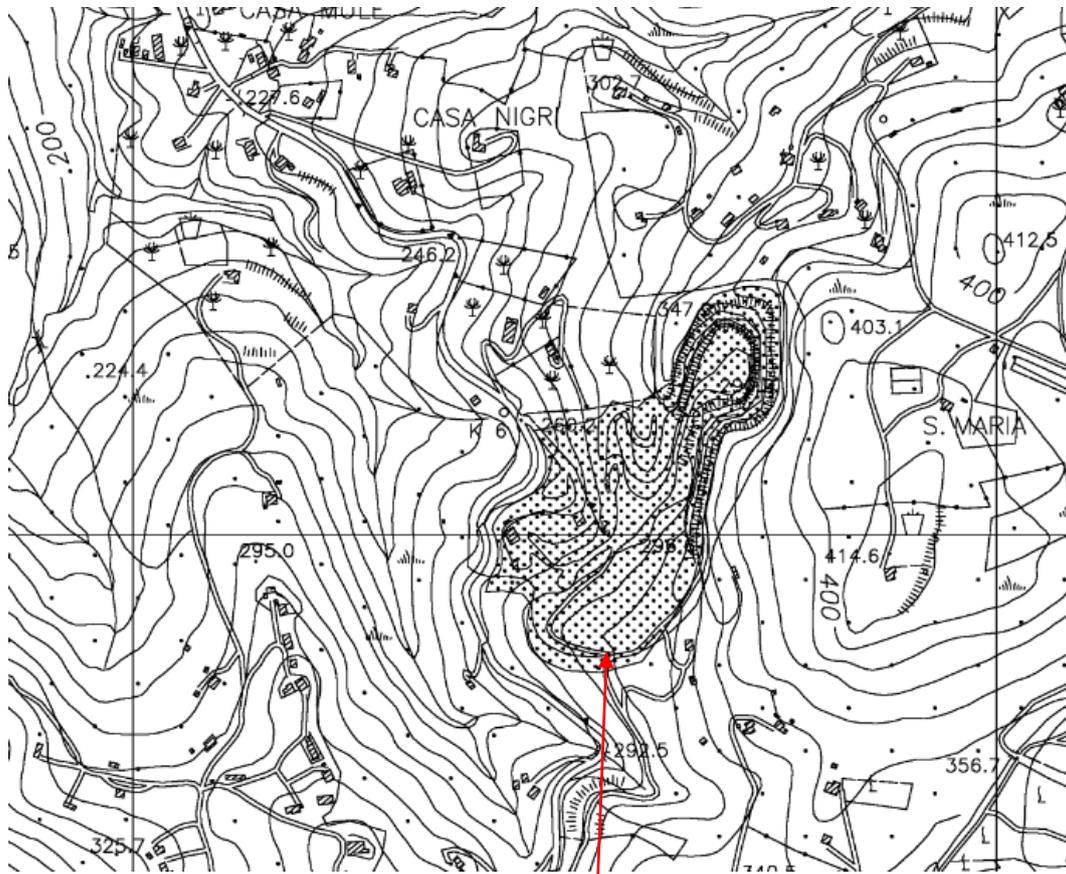


Figura 8. Cava Roccalupa In alto stralcio CTR 1:10.00 in basso ortofoto (google earth)



## 2.2. Inquadramento urbanistico

Nel merito, con riferimento alla presente elaborazione, è certamente utile puntualizzare che gran parte del tracciato ricade in aree agricole e residenziali per le quali i valori di CSC di riferimento sono quelli di colonna A della tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte IV del Decreto Legislativo n. 152 del 2006.

Di contro solo in minima parte lo stesso tracciato attraversa aree che, per la destinazione attuale, rientrano tra quelle per le quali i valori di CSC di riferimento sono quelli di cui alla colonna B della citata tabella.

Si evidenzia, tuttavia, che per le aree interessate dall'inserimento dell'infrastruttura ferroviaria, il menzionato inquadramento deve essere conseguentemente adeguato in relazione allo specifico utilizzo cui dette aree sono destinate.

Quindi, le stesse aree, proprio per effetto delle attività costruttive che si realizzeranno determineranno la produzione di materiali da scavo la cui gestione è disciplinata dal Piano di Utilizzo.

Per dette aree, pertanto, si devono assumere come CSC di riferimento quelle di cui alla **col. B della tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte IV del Decreto Legislativo n. 152** del 2006).



## 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

### 3.1. Assetto geologico del tracciato

L'area in studio si localizza all'estremo margine settentrionale del complesso montuoso delle Madonie e, pertanto, si inquadra nel contesto geologico strutturale generale della Catena Appenninico-Maghrebide siciliana, della quale le Madonie costituiscono un importante settore centrale.

Con il termine di Catena Appenninico-Maghrebide si intende il segmento E-W dell'orogene neogenico Africa-vergente composto da coltri di ricoprimento sud-vergenti ed aventi per avampese la zona ibleo-ragusana. Essa risulta costituita di terreni sedimentari originariamente deposti su litosfera continentale africana, di età compresa fra il Trias sup. ed il Miocene inf. Tali terreni sono raggruppati in unità stratigrafico-strutturali coeve, ma spesso di facies differenti, derivanti da domini paleogeografici diversi e sovrapposte le une sulle altre da Nord verso Sud ad opera della tettonica neogenica con contatti di sovrascorrimento grossomodo sub-orizzontali o talora mediamente inclinati verso Nord.

La sopracitata Catena Appenninico-Maghrebide si è originata durante l'intervallo temporale Mesozoico-Terziario a seguito della deformazione di successioni sedimentarie deposte in differenti domini paleogeografici del margine passivo africano. A partire dal Trias medio il margine passivo africano ha iniziato a differenziarsi in più domini paleogeografici ad opera di faglie distensive e transtensive sin-sedimentarie che hanno smembrato il margine in alti e bassi strutturali. Nelle zone di alto strutturale si sono deposte successioni carbonatiche neritiche triassico-paleogeniche (Piattaforma Carbonatica Panormide) mentre le zone di basso strutturale hanno ospitato successioni carbonatico-silicee pelagiche (Bacini Imerese e Sicilide).

A partire dall'Oligocene superiore, in concomitanza con le fasi di apertura del bacino Ligure-Provenzano e dello sfencasma Sardo-Carso, la sedimentazione nei Bacini Sicilide e Imerese e nella Piattaforma Panormide assume un carattere marcatamente terrigeno con la deposizione del Flysch Numidico. L'inizio della sedimentazione del Flysch Numidico segna, dal punto di vista sedimentario, una inversione del regime tettonico, da distensivo a compressivo, che culmina con la collisione continentale Africa-Europa e la formazione



della futura catena, con lo sviluppo di pieghe e sovrascorrimenti di importanza regionale. Le deformazioni coinvolgono gradualmente regioni sempre più meridionali interessando anche l'area in esame durante il Miocene sup-Pliocene e rimanendo attive sino al Pliocene medio superiore.

A partire dal Miocene medio superiore, sui terreni della Catena si vengono a sovrapporre i terreni del complesso postorogeno con sequenze terrigeno-evaporitiche che culminano con i depositi sabbioso-ghiaiosi dei terrazzi marini quaternari. Infine seguono i terreni di copertura di origine continentale recenti ed attuali dati da depositi alluvionali, detritici e litorali.

In questo complesso quadro geologico si viene a collocare la fascia di territorio costiero interessato dalle opere in progetto. Vi affiorano i terreni del Dominio Appenninico-Maghrebide rappresentati dalla Formazione del Flysch Numidico, ricoperti localmente da terrazzi marini quaternari e da depositi continentali recenti ed attuali.

Nell'area attraversata dalla linea ferroviaria in progetto sono presenti terreni pertinenti alla Formazione del Flysch Numidico, ricoperti localmente da depositi dei terrazzi marini quaternari, nonché dai depositi continentali di epoca recente o attuale.

In ordine stratigrafico, pertanto, la serie dei terreni è rappresentata come di seguito.

**a. *Flysch Numidico (Oligocene sup.-Miocene inf.)***

*Si tratta di una delle formazioni più estesamente affiorante nella Sicilia settentrionale e nelle Madonie. Essa è costituita da notevoli spessori di torbiditi terrigene depositatesi sottoforma di conoidi sottomarine in un ampio bacino, lungo più di 2000 Km, impostato su vaste aree continentali che nel Miocene inf. sono state coinvolte dai cinematismi attraverso i quali si è poi originata la Catena Appenninico-Maghrebide.*

*Il Flysch Numidico è costituito essenzialmente da un'alternanza di argille siltose di colore bruno-tabacco e grigio e di quarzareniti, talora in grossi banchi gradati, dello spessore di molti metri.*

*In base alle facies sedimentarie presenti si distinguono depositi di conoidi, costituiti da quarzareniti grossolane sormontate da depositi prossimali più fini costituiti da quarzareniti a grana fina e depositi distali costituiti da quarzo-siltiti torbiditiche e peliti.*



In generale sono distinguibili una litofacies prevalentemente arenacea, una litofacies pelitico-arenacea, caratterizzata da alternanze ritmiche dell'uno e dell'altro tipo litologico, una litofacies prevalentemente siltitica.

Complessivamente si tratta di una formazione strutturalmente complessa, con sequenze eterogenee per variabilità e consistenza litologica, comprendenti rocce che vanno dal tipo lapideo ai depositi coesivi fortemente preconsolidati. Le caratteristiche tecniche dipendono dalla frequenza dei livelli arenacei, dalla loro giacitura, dal grado di fessurazione e tettonizzazione.

#### **b. Terreni di copertura**

##### Depositi dei terrazzi marini (Quaternario)

Si tratta di depositi costituiti in prevalenza di ghiaia centimetrica frammista ad abbondante matrice sabbioso-limosa di colore bruno-giallastra. Essi costituiscono il deposito dei terrazzi marini quaternari il cui spessore è dell'ordine dei 10-15m. I terrazzamenti sono diffusi nel tratto costiero compreso fra Cefalù e Castelbuono, suddivisi in vari ordini in relazione alla quota cui sono ubicati.

##### Depositi alluvionali

Si localizzano lungo i corsi dei torrenti presenti nell'area e sono costituiti di sabbia e ghiaia poligenica con subordinate lenti discontinue sabbioso-limose. Si distinguono in alluvioni attuali presenti nel fondovalle, in quello che viene detto comunemente alveo bagnato, ed alluvioni terrazzate poste lateralmente all'alveo lungo le sponde o a quote più alte, fino intorno ai 10 m al di sopra dell'alveo. La giacitura è in genere ad assetto lenticolare embricato e la ghiaia è a spigoli arrotondati con grado di arrotondamento variabile a seconda della natura litologica.

##### Coltre detritica

E' molto diffusa nell'area studiata a copertura dei versanti politico-arenacei o quarzarenitici del Flysch Numidico. Derivante dalla degradazione meccanica dei versanti a monte, comprende il detrito di falda contenente, anche una certa componente detritica di natura colluviale ed eluviale. Si tratta di frammenti informi e ghiaia a spigoli vivi e subarrotondati di natura quarzarenitica e quarzosiltitica di



dimensioni variabili, frammisti ad una più o meno abbondante matrice limoso-sabbiosa. Lo spessore della copertura detritica è variabile dell'ordine dei alcuni metri al massimo.

#### Depositi litorali

Costituiscono i depositi presenti lungo la spiaggia e sono costituiti di ghiaia quarzarenitica in prevalenza a spigoli arrotondati e appiattita frammista a sabbia grossa arenacea.

#### Terreni di riporto

I terreni di riporto sono abbastanza diffusi in tutta la zona costiera, che ha subito modificazioni artificiali svariate e ripetute nel tempo con la realizzazione della linea ferroviaria e della SS 113. Altri depositi di natura antropica sono localizzati in destra del Torrente Malpertugio e sono costituiti essenzialmente dal materiale di scavo proveniente dai cantieri autostradali.

Si rimanda agli elaborati di progetto ed al Piano di Caratterizzazione dei Materiali da scavo per una miglior definizione degli aspetti in questione.

### 3.2. Caratteristiche idrogeologiche del tracciato

Nell'area attraversata dal tracciato ferroviario in esame si individuano gli acquiferi di seguito descritti.

#### **Acquifero quarzarenitico e siltitico**

Comprende le sequenze prevalentemente arenacee e siltitiche del Flysch Numidico. Si tratta di rocce lapidee fratturate caratterizzate da una permeabilità secondaria da medio-bassa a medio-alta.

La circolazione idrica avviene attraverso la rete di fratture e la sua entità è legata alla estensione degli affioramenti ed alla continuità delle sequenze arenacee in senso verticale.

Infatti, la frequente presenza di livelli pelitici a permeabilità molto bassa o nulla interrompe la circolazione idrica sotterranea conferendole una certa discontinuità in senso verticale.

#### **Acquifero pelitico-arenaceo**

Comprende le sequenze date da alternanze ritmiche di argilliti e argillo-siltiti con livelli arenaci, molto diffuse nell'area studiata.



I livelli quarzarenitici sono permeabili per fatturazione e delimitati in basso e al tetto da terreni a permeabilità molto bassa o nulla.

La circolazione idrica, pertanto, è confinata nei livelli quarzarenitici e la sua entità dipende dall'estensione degli affioramenti e dallo spessore dello strato quarzarenitico.

In grande l'acquifero può considerarsi a permeabilità bassa con una circolazione idrica di scarsa entità e discontinua localizzata in corrispondenza dei livelli arenacei.

### **Acquifero detritico**

Comprende i terreni detritico-eluvio-colluviali ed i depositi dei terrazzi marini; si tratta di terreni ghiaioso-sabbioso-limosi sciolti, i quali ricoprono estesamente i versanti argilloso-arenacei nella zona.

La permeabilità varia da medio-bassa ad elevata in funzione della granulometria e della percentuale di matrice sabbioso-limosa.

L'acquifero è sede di una circolazione idrica a carattere stagionale legata all'entità delle precipitazioni e del ruscellamento superficiale ed il suo ruolo idrogeologico è quello di drenare e distribuire in profondità le acque di infiltrazione andando ad alimentare la circolazione idrica nei livelli arenacei sottostanti.

### **Acquifero alluvionale**

Comprende i depositi alluvionali presenti nel fondovalle del Torrente Malpertugio. Si tratta di sabbie limose e limi sabbiosi con ghiaia ad assetto lenticolare embricato, alternati a livelli di prevalente ghiaia e blocchi in matrice sabbioso-limosa.

La permeabilità è variabile per porosità, da medio-bassa a medio-alta in funzione della granulometria e della classazione degli elementi.

Esso pertanto è sede di una falda idrica di subalveo soggetta ad escursioni stagionali in relazione al regime idraulico del corso d'acqua ed è ad andamento piuttosto irregolare in relazione al succedersi dei livelli sabbioso-limosi e ghiaiosi a diversa permeabilità, che testimoniano l'avvicinarsi di fenomeni di piena e di magra.

### **3.2.1. Circolazione idrica sotterranea**

Nell'area studiata non si rinviene una circolazione idrica di significativa importanza; le acque sotterranee sono generalmente scarse e molto frazionate mancando una vera e propria falda idrica.



Si ha una circolazione idrica a superficie libera nella copertura detritica, essenzialmente a carattere stagionale, alimentata direttamente dalle acque meteoriche e di ruscellamento superficiale.

I terreni di base, rappresentati dalle sequenze pelitico-arenacee e quarzarenitiche del Flysch Numidico, invece, in grande non sono sede di una vera e propria falda idrica, in quanto i livelli prevalentemente pelitici, argillitici e argillo-siltitici non consentono una libera circolazione idrica sotterranea. Una certa circolazione idrica sotterranea può riscontrarsi nei livelli quarzarenitici fratturati, la cui entità è da mettere in relazione alla estensione degli affioramenti. Di conseguenza, si ha una circolazione idrica discontinua e frazionata, confinata negli orizzonti quarzarenitici, che può dare origine localmente, al contatto con i sottostanti livelli pelitici, a manifestazioni sorgentizie di scarsa entità che al più vengono utilizzate a scopi irrigui o possono alimentare abbeveratoi.

Le freatimetrie rilevate in fase di studio sono indicative di livelli piezometrici locali indotti da una ristretta circolazione idrica sotterranea, da cui non è possibile ricostruire una superficie piezometrica associabile ad una falda idrica sotterranea di estensione significativa.

Si rimanda agli elaborati di progetto ed al *Piano di Caratterizzazione dei Materiali da Scavo* per una miglior definizione degli aspetti in questione.



## 4. DESCRIZIONE TECNOLOGIE DI SCAVO

Nel suo complesso l'opera sarà eseguita in parte mediante l'impiego del metodo di scavo in tradizionale e in parte impiegando una fresa scudata che permette migliori performance rispetto allo scavo cosiddetto "in tradizionale".

### 4.1. Scavo in tradizionale

Nello scavo di gallerie, il "metodo tradizionale" identifica un complesso di metodologie e di tecniche il cui elemento comune è la prevalenza del fattore umano rispetto ai mezzi meccanici, che rivestono un ruolo di supporto e vengono applicati in momenti diversi. Da tale ibridismo di fondo deriva la necessità di suddividere l'intervento di scavo in fasi distinte e sequenziali, che impiegano mezzi e metodi differenti.

Di norma i tre momenti chiave sono: una prima fase di consolidamento del terreno da scavare, col quale si conferiscono al terreno migliori caratteristiche di omogeneità e tenuta del fronte di scavo, così da garantire la sicurezza delle fasi successive. Una seconda fase con cui si provvede alla vera e propria asportazione del terreno e della roccia. Una terza ed ultima fase con il rivestimento della galleria, che permette all'opera di rimanere stabile nel tempo. In base alle caratteristiche geotecniche del terreno da asportare, durante le tre fasi si ricorre anche a mezzi meccanici, specie nel consolidamento, tramite infilaggio o chiodatura, ovvero anche nella fase di scavo, laddove non sia previsto l'uso di esplosivi.

(fonte: website Toto Costruzioni)



Figura 9. Esempio di impiego del metodo di scavo in tradizionale (fonte: *website Toto Costruzioni*, Galleria Carestia, Autostrada A24)



Figura 10. Esempio di impiego del metodo di scavo in tradizionale (fonte: *website Toto Costruzioni*, Galleria Allocco, Variante di Valico)



## 4.2. Scavo con Tunnel Boring Machine

La fresa meccanica a piena sezione (*Tunnel Boring Machine*, da cui la sigla TBM) è una macchina che permette la meccanizzazione completa dello scavo delle gallerie e della realizzazione del rivestimento delle stesse. Tale macchinario può lavorare in roccia, anche molto resistente, al di sotto di falde acquifere e in casi particolari anche all'interno della falda acquifera stessa.

Il “**cuore**” delle TBM è rappresentato dallo “scudo” (shield), cioè il cilindro metallico che chiude la macchina e su cui, ad una estremità, è montata la testa rotante che porta gli utensili di scavo veri e propri. La testa ruota a 1-10 giri al minuto (a seconda della sua dimensione e del materiale in cui scava) e rimuove piccole scaglie di materiale. Dentro il cilindro, alle spalle della testa rotante guardando il fronte di scavo, c'è una camera in cui è raccolto il materiale scavato che, a seconda del tipo di TBM, può essere estratto *tal quale* o mischiato a fango (“slurry shield”); la scelta dipende dalle condizioni dell'ammasso in cui si scava. Il materiale esce dalla camera su una coclea, o vite senza fine, e viene posto su un rullo trasportatore.

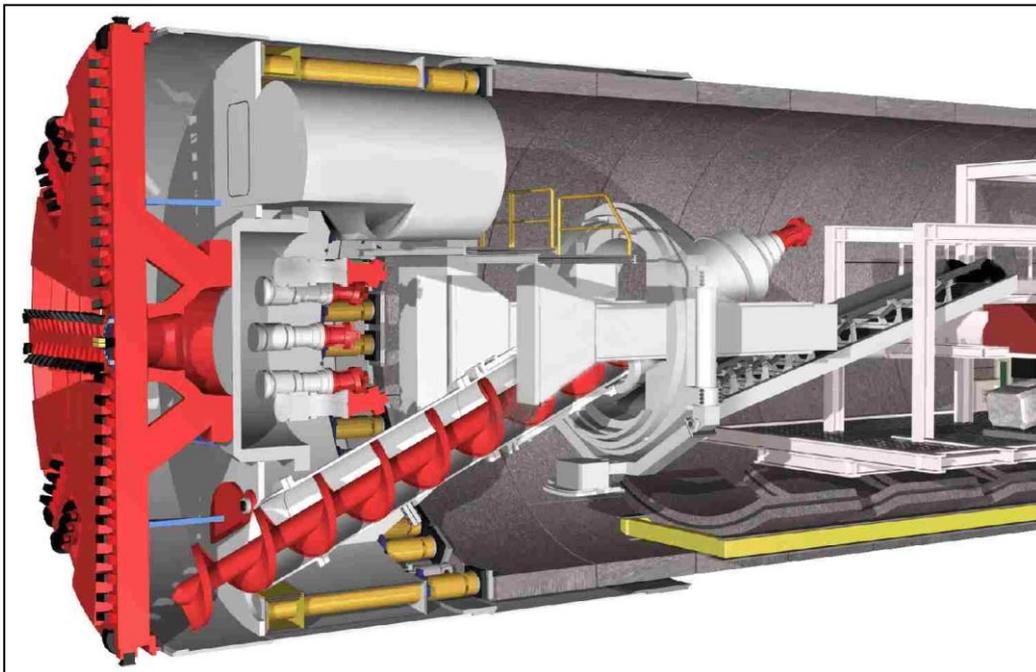


Figura 11. Schema di funzionamento della TBM con evidenza della coclea di raccolta e trasporto materiale

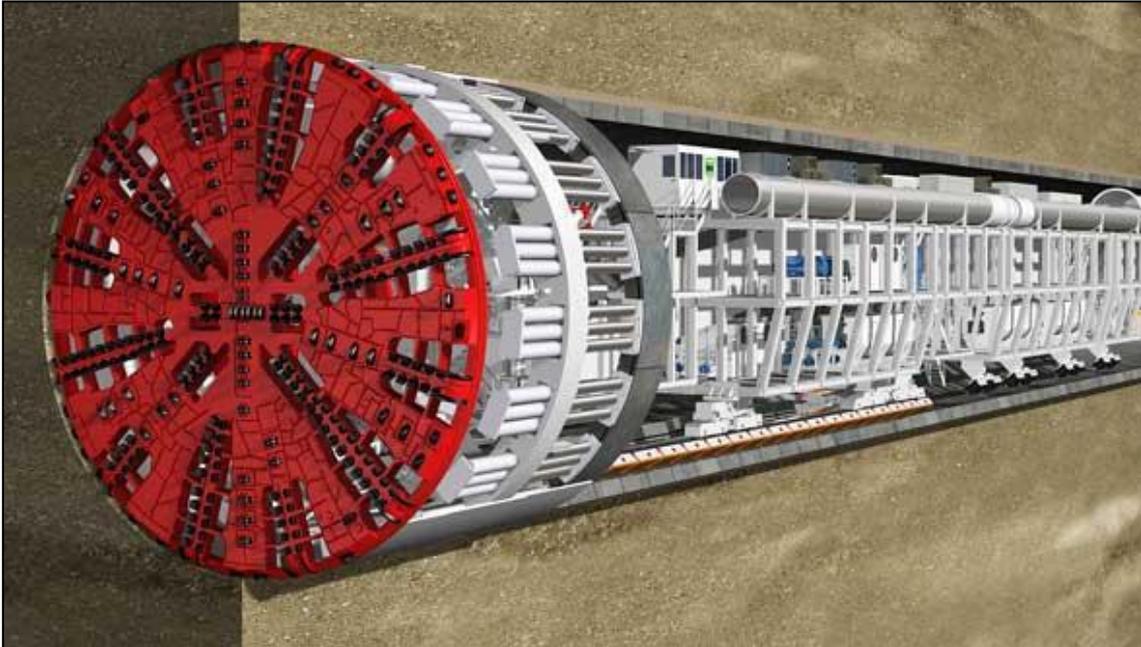


Figura 12. Schema di impiego della TBM (Tunnel Boring Machine)

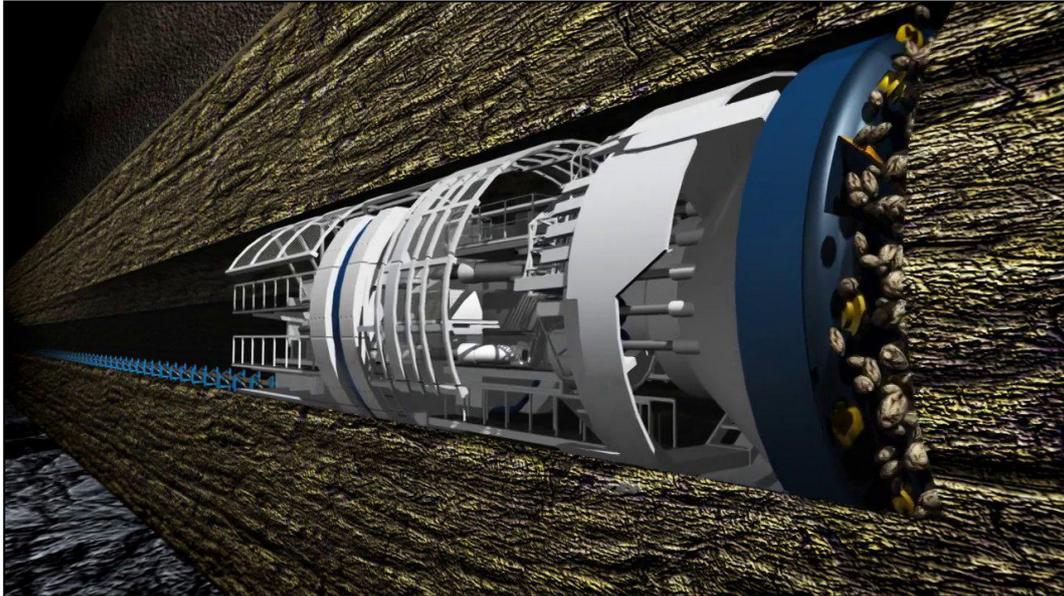


Figura 13. Esempio della sequenza di Avanzamento della TBM (Tunnel Boring Machine)



Figura 14. Conclusione dello scavo e fuoriuscita della talpa

L'avanzamento della macchina avviene come un lombrico: dei martinetti idraulici puntano sulla roccia (se sufficientemente sana, altrimenti sul rivestimento appena posizionato) e spingono in avanti lo scudo; anche la parte retrostante della TBM è ancorata alla bocca del tunnel per contribuire alla spinta. Una volta riposizionata la testa, il resto della macchina è trascinato in avanti. Tutti i servizi passano dentro lo scudo, dall'elettricità per la camera di controllo (solitamente al fronte) ai condotti per i fanghi di miscelazione. Sempre



dentro lo scudo è presente il sistema di posizionamento dei conci in calcestruzzo prefabbricati per il rivestimento.

Le TBM-EPB (Earth Pressure Balanced), in particolare, sono sempre più frequentemente impiegate grazie ai differenti contesti geotecnici nei quali possono essere adoperate (dalle argille alle ghiaie con ciottoli) e alla loro indiscussa flessibilità di impiego. La tecnologia EPB prevede la costante applicazione della pressione al fronte mediante l'utilizzo dello stesso terreno scavato, temporaneamente mantenuto in pressione nella camera di scavo, regolando opportunamente la spinta esercitata dai martinetti, la velocità di rotazione della testa fresante ed i volumi di terreno estratti dalla coclea di raccolta. Il terreno in camera di scavo viene mantenuto ad una pressione media in grado di controbilanciare la pressione dell'acqua di falda e di applicare l'aliquota di tensione efficace orizzontale definita in fase di progetto.

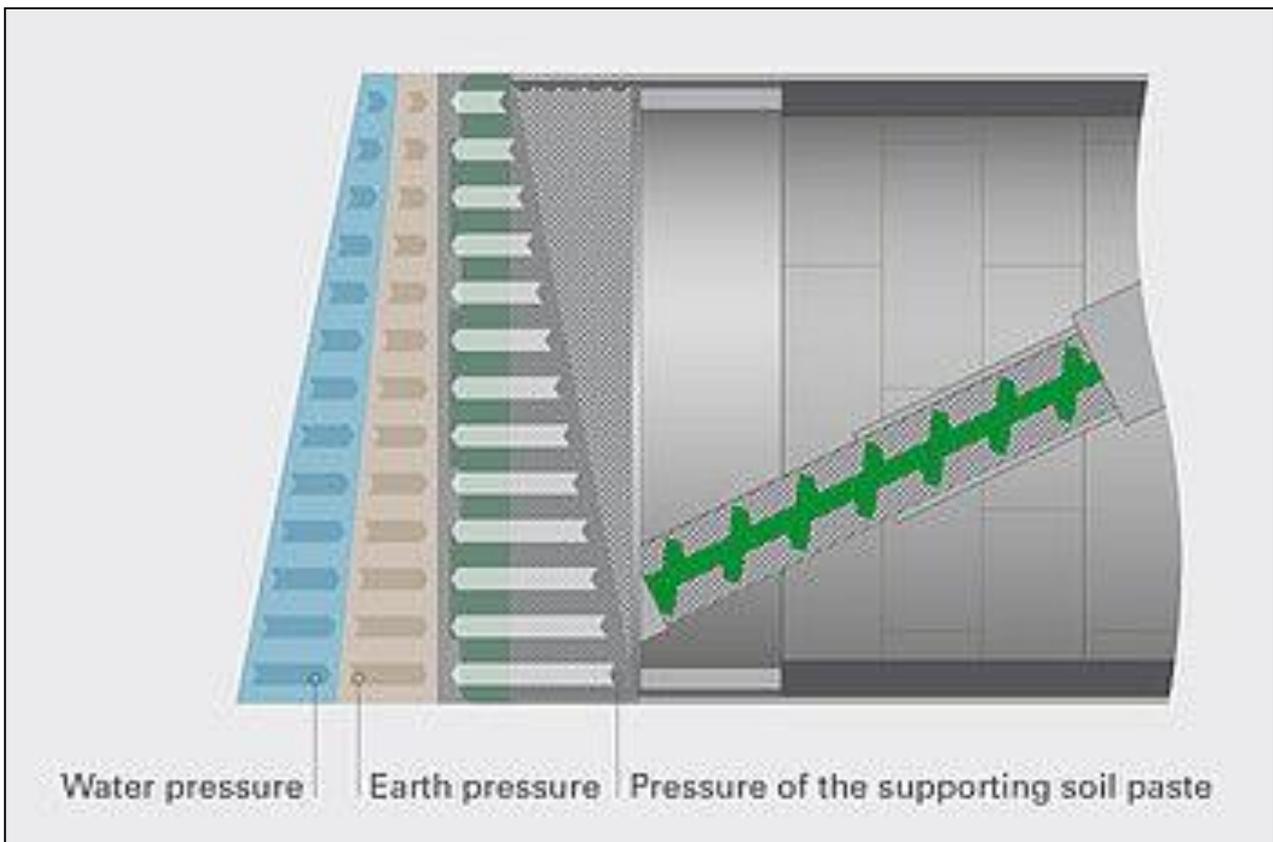
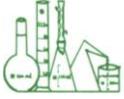


Figura 15. Schema di funzionamento EPB

Affinché la terra possa applicare correttamente la pressione al fronte è necessario, durante le operazioni di scavo, condizionare il terreno all'interno della camera di scavo



mediante l'iniezione al fronte di una soluzione composta da acqua, schiume e polimeri. Quando adeguatamente condizionato, il terreno si presenta sottoforma di una pasta morbida e omogenea. Il condizionamento è anche finalizzato a ridurre il peso del terreno presente in camera di scavo e a ridurre l'attrito intergranulare e quello tra il terreno e le parti metalliche della macchina a contatto con il terreno stesso con tutti i benefici in termini di consumo e di tempistiche di perforazione precedentemente descritti.

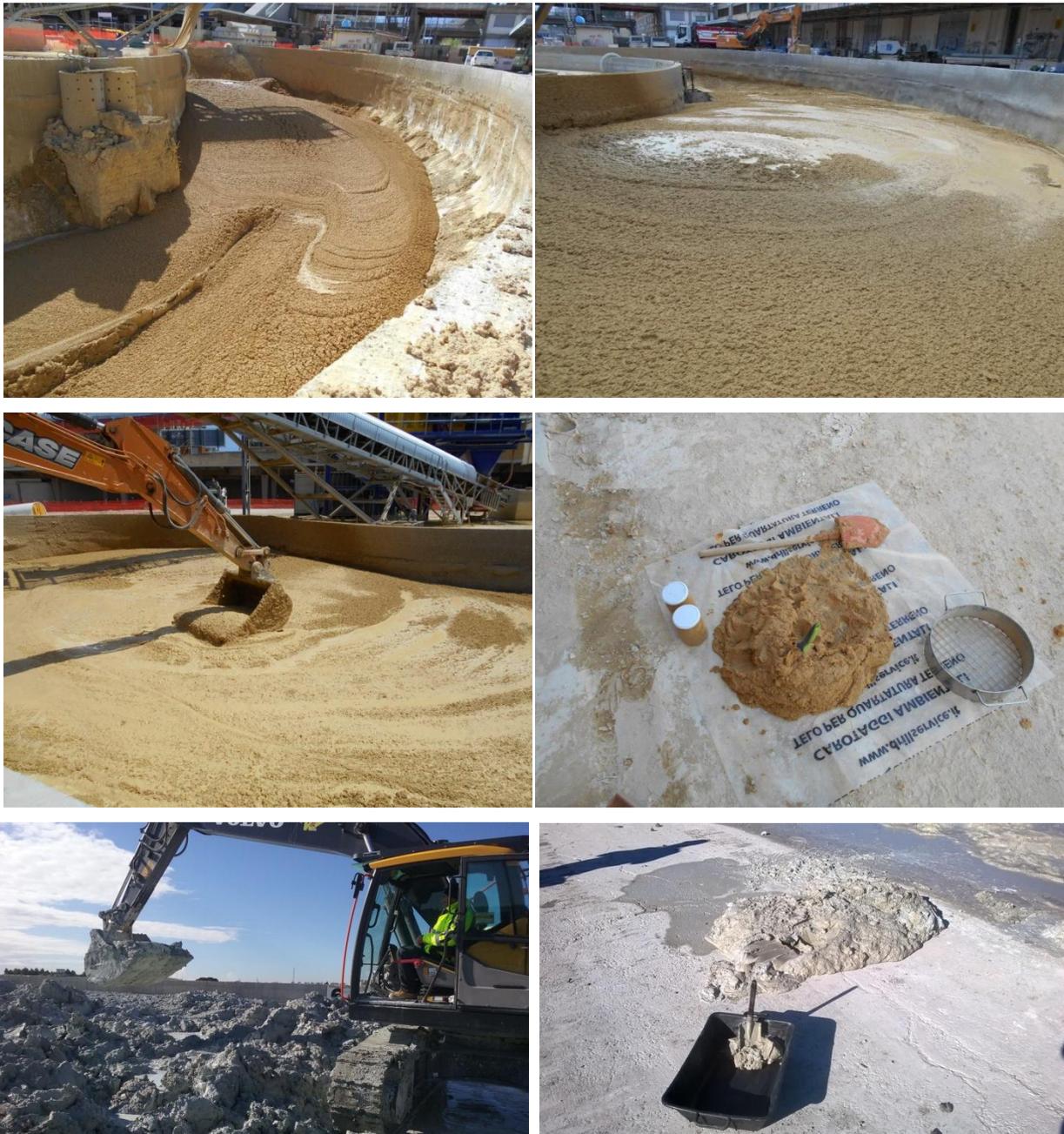


Figura 16. Alcuni esempi della consistenza con cui si può presentare il materiale condizionato e scavato con TBM



### 4.3. Tecnologia di scavo adottata

In particolare, per la realizzazione dell'opera verrà utilizzata una fresa di tipo "dual mode", che prevede, cioè, la possibilità di operare secondo due differenti modalità di scavo, con diversi impatti sulle terre di scavo:

- 1) **Modalità EPB.** In tale modalità di scavo, che interesserà circa il 10% del tracciato di scavo, i prodotti che potenzialmente entreranno in contatto con la terra di scavo sono:
  - a. Additivo schiumogeno. Necessario per il condizionamento del fronte, migliora la lavorabilità, riduce gli attriti sulla testa e, quindi, i consumi della macchina (in termini elettrici e di usura dei materiali);
  - b. Eventuali ulteriori additivi coadiuvanti il condizionamento del materiale;
  - c. Acqua. Come l'additivo schiumogeno, è necessaria per il condizionamento del fronte in quanto migliora la lavorabilità, riduce gli attriti sulla testa e, quindi, i consumi della macchina (in termini elettrici e di usura dei materiali);
  - d. Grasso per la tenuta ermetica del cuscinetto principale che impedisce il refluo di materiale all'interno dello stesso
  - e. Grasso per la lubrificazione del cuscinetto principale
- 2) **Modalità APERTA.** In tale modalità di scavo, che interesserà il restante 90% del tracciato, i prodotti che potenzialmente entreranno in contatto con la terra di scavo sono:
  - a. Acqua. E' necessaria, in misura variabile in funzione delle caratteristiche dei materiali attraversati, per il condizionamento del fronte: migliora la lavorabilità, riduce gli attriti sulla testa e, quindi, i consumi della macchina (in termini elettrici e di usura dei materiali);
  - b. Grasso per la tenuta ermetica del cuscinetto che impedisce il refluo di materiale all'interno dello stesso;
  - c. Grasso per la lubrificazione del cuscinetto.



Nella fase di allontanamento dal fronte di scavo i materiali potrebbero essere additivati con calce idrata, come disidratante, per conferire ai materiali di scavo le caratteristiche meccaniche necessarie al loro riutilizzo.

Da quanto sopra sommariamente descritto, risulta evidente che l'unica modalità di scavo in grado di produrre un potenziale rischio, per l'ambiente in generale e la risorsa idrica in particolare, è la prima (EPB), proprio a causa dell'utilizzo di additivi chimici per favorire lo scavo in queste particolari condizioni.

Dal punto di vista litologico, il tracciato di scavo della galleria Cefalù che la TBM scaverà in assetto EPB è così composto:

- Terrazzi Marini, per una lunghezza pari a circa 700 metri;
- FLYSCH Numidico, per una lunghezza pari a circa 840 metri;

Dal punto di vista delle progressive chilometriche, i tratti interessati dallo scavo in EPB, quindi con l'utilizzo dei suddetti additivi, sono i seguenti:

<i>Galleria Naturale Cefalù - Canna di binario dispari</i>			
TRATTO	PROGRESSIVE CHILOMETRICHE	LUNGHEZZA (ml)	VOLUME DI SCAVO (m <sup>3</sup> )
TRATTO 1	da pk 63+180,01 a pk 63+550,01	370	29.045,04
TRATTO 5	da pk 65+935,24 a pk 66+355,24	420	32.970,05
TRATTO 8	da pk 67+194,62 a pk 67+250,13	55,51	4.357,54
		<b>TOT. 845,51 ml</b>	<b>TOT. 66.372,63 m<sup>3</sup></b>

<i>Galleria Naturale Cefalù - Canna di binario pari</i>			
TRATTO	PROGRESSIVE CHILOMETRICHE	LUNGHEZZA (ml)	VOLUME DI SCAVO (m <sup>3</sup> )
TRATTO 8	da pk 67+261,53 a pk 67+205,81	55,72	4.374,31
TRATTO 5	da pk 66+363,19 a pk 65+941,57	421,62	33.096,96
TRATTO 1	da pk 63+551,44 a pk 63+180,01	371,43	29.156,84
		<b>TOT. 848,80 ml</b>	<b>TOT. 66.628,11 m<sup>3</sup></b>



## 5. ADDITIVI UTILIZZATI

La metodologia di scavo con TBM in modalità EPB presuppone l'impiego di prodotti chimici che rendano agevole sia il sostegno e lo scavo del fronte di avanzamento, sia l'accumulo e il trasporto del terreno scavato. I prodotti utilizzati per questa operazione, definita "**condizionamento del terreno**", sono principalmente additivi schiumogeni e polimeri di varia natura, selezionati in funzione delle caratteristiche del terreno – da cui dipendono anche le specifiche di avanzamento – e della eventuale presenza di falda (scavo sotto il livello dell'acqua).

Gli additivi in questione sono principalmente tensioattivi anionici e additivi polimerici in soluzione acquosa. La maggior parte dei tensioattivi schiumogeni utilizzati dalla TBM in modalità EPB sul fronte di scavo per ottemperare alle funzioni precedentemente descritte sono formati da "*Sodium Lauryl Ether Sulfate*" ovvero Sodio Lauril Etere Solfato (SLES), Alcoli con C12-14, Etossilati, Solfati e Sale Sodico. In sostanza si tratta di *glicoli polietilenici e tensidi o surfattanti*.

Nel giugno 2017 l'ISTITUTO DI RICERCHE FARMACOLOGICHE MARIO NEGRI ha presentato i risultati della sperimentazione ecotossicologica eseguita sugli additivi condizionanti e sulle terre e rocce da scavo che si intendono utilizzare nei lavori oggetto della presente indagine di rischio. Tali dati sono quindi stati utilizzati quali parametri di input, per la definizione delle CRS (Concentrazioni Rappresentative del Sito), per la valutazione del rischio sito-specifico associato al potenziale contaminante.

Per ragioni di completezza si riportano alcuni estratti della citata relazione che risultano di fondamentale importanza per la corretta valutazione dell'Analisi di Rischio condotta.

### 5.1. Caratterizzazione del prodotto condizionante

È stata eseguita una approfondita caratterizzazione chimica delle componenti del tensioattivo prodotto/agente condizionante **Polyfoamer ECO100** commercializzato da MAPEI tramite spettrometria di massa ad alta risoluzione. L'analisi condotta ha individuato 14 tensioattivi indicatori che vengono di seguito riportati.



VALUTAZIONE DEL RISCHIO SPECIFICO AMBIENTALE  
RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA  
(Ai sensi del D.Lgs 152/2006)

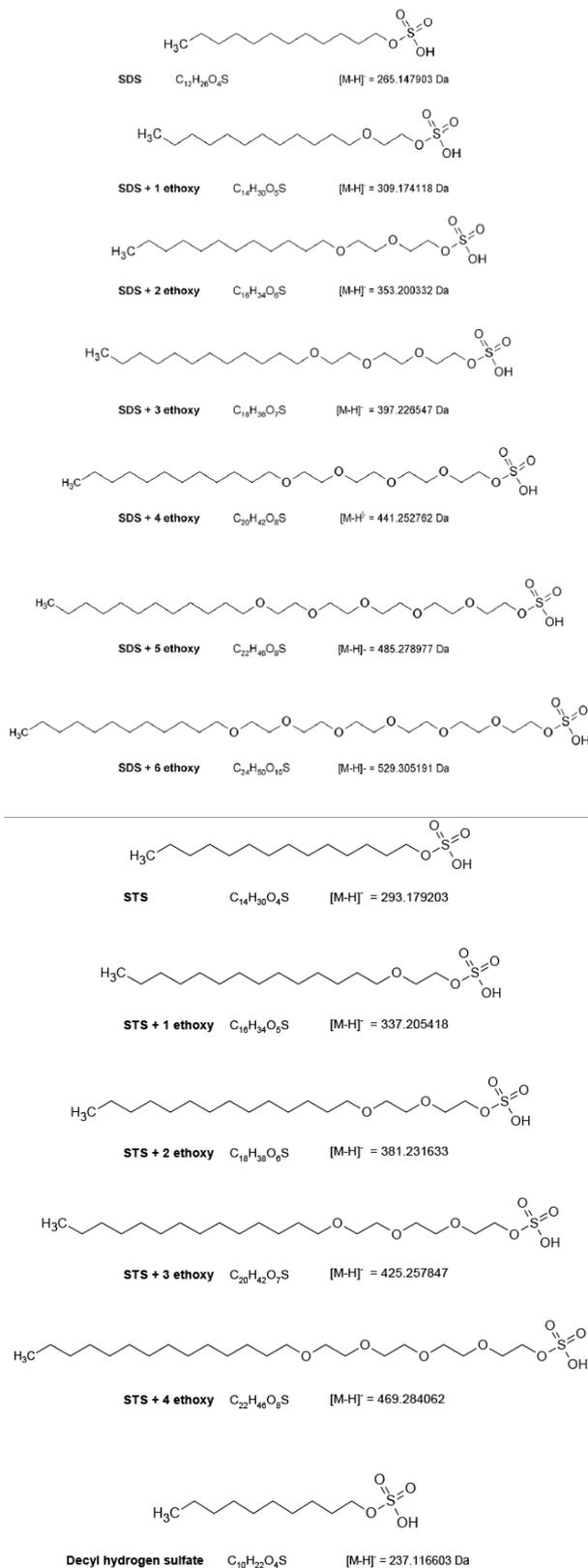


Figura 17. Strutture chimiche di alcuni dei composti indicatori



## 5.2. Valutazione quantitativa del prodotto impiegato

In linea di principio il prodotto condizionante è dosato, assieme ad un polimero naturale, in percentuali che variano da un minimo del 10 ad un massimo del 20% in volume con acqua. La valutazione quantitativa del prodotto condizionante Polyfoamer ECO100 per determinare il contenuto medio (% peso/volume) di tensioattivo nel prodotto condizionante ha evidenziato una composizione percentuale media di tensioattivi del  $10.58 \pm 0.35\%$ . Per il dettaglio delle risultanze analitiche si rimanda Relazione Tecnica redatta dall'Istituto di Ricerche Farmacologiche Mario Negri giugno 2017.

Tabella 1. Analisi APLC-FTMS (fonte Relazione Tecnica Istituto di Ricerche Farmacologiche Mario Negri)

Composti Indicatori	ECO 100 - 1	ECO 100 - 2	ECO 100 - 3
SDS	5,11	5,12	5,21
SDS (+ 1 gruppo etossi)	3,53	3,39	3,43
SDS (+ 2 gruppi etossi)	2,52	2,79	3,01
SDS (+ 3 gruppi etossi)	1,94	2,11	2,09
SDS (+ 4 gruppi etossi)	1,25	1,42	1,46
SDS (+ 5 gruppi etossi)	0,85	0,92	0,95
SDS (+ 6 gruppi etossi)	0,54	0,62	0,60
SDS (+ 7 gruppi etossi)	0,36	0,42	0,41
SDS (+ 8 gruppi etossi)	0,27	0,29	0,28
STS	1,63	1,62	1,69
STS (+ 1 gruppo etossi)	0,86	0,94	0,96
STS (+ 2 gruppi etossi)	0,73	0,75	0,78
STS (+ 3 gruppi etossi)	0,51	0,56	0,56
STS (+ 4 gruppi etossi)	0,29	0,36	0,35
Tensioattivi totali - mg/L (diluito 1:5000)	20,4	21,3	21,8
Tensioattivi totali - g/L	101,9	106,5	108,9
<b>Tensioattivi totali - % peso/volume</b>	<b>10,2</b>	<b>10,6</b>	<b>10,9</b>
Tensioattivi totali - %peso/volume (media e STD)	10,58±0,35		
Tensioattivi dichiarati nella scheda tecnica	10-20%		



### 5.3. Valutazione della tossicità degli additivi condizionanti

Di seguito si riporta la sintesi dei risultati ottenuti dallo studio eseguito dall'Istituto Mario Negri e inerenti la **tossicità** dell'agente condizionante, dei polimeri e dei grassi impiegati nel *mix design*, il tutto, in relazione alle principali tipologie di terreno da scavare (Flysch Numidico e Terrazzi Marini).

Nel merito sono stati realizzati i test di seguito riportati:

- Test di fitotossicità con *Lepidium sativum*
- Test di tossicità acquatica con *Daphnia magna*
- Test di tossicità acquatica con alga verde *R. subcapitata*

I test sono stati eseguiti sia sul prodotto **MAPEI ECO100** (agente condizionante) che sul prodotto **MAPEI SV** (polimero in polvere).

### 5.4. Confronto tra le concentrazioni operative e attese e le concentrazioni tossicologiche.

#### TENSIOATTIVO ECO100

Per la valutazione della tossicità del prodotto ECO1000 si è partiti dall'assunto di considerare la totale cessione del tensioattivo alla matrice acquosa al tempo zero. In siffatto contesto operativo, negli elutriati dei cumuli (ipotizzando un rapporto 1:4 come da linea guida ANPA), sono stati ottenuti i risultati riassunti in tabella.

Tabella 2. Sintesi dei risultati eco tossicologi su elutriato

Litotipo	Valore atteso agente condizionante	NOAEC alghe	NOAEC <i>Daphnia</i>	IC50 alga	IC50 <i>Daphnia</i>
FLYSCH N.	147.5 mg/L	40 mg/L	60 mg/L	97.89 mg/L	82.87 mg/L
TERRAZZI M.	95 mg/L				

I risultati ottenuti nella sperimentazione operata sui cumuli per il prodotto ECO100 è quella di seguito riassunta.



Tabella 3. Sintesi dei risultati fitotossici sui cumuli

Litotipo	Valore atteso agente condizionante	NOAEC alghe	NOAEC Daphnia
FLYSCH N.	590 mg/kg	250 mg/kg	5.620 mg/kg
TERRAZZI M.	380 mg/kg		

Successivamente è stato ricondotto lo studio alle concentrazioni riscontrabili all'interno dei cumuli in funzione del *mix design* progettuale, le stesse sono state, quindi, raffrontate con le concentrazioni ammissibili dai test con organismi acquatici. Anche in questo caso è stata considerata in via preliminare una totale cessione dell'agente condizionante all'elutriato. Di seguito si riportano i risultati in forma tabellare.

Tabella 4. Risposta degli organismi acquatici in relazione alla totalità del materiale condizionante atteso nei cumuli

Litotipo	Valore atteso concentrazione condizionante	NOAEC alghe	NOAEC Daphnia	IC50 alga	IC50 Daphnia
FLYSCH N.	590 mg/kg	160 mg/kg	240 mg/kg	391.6 mg/kg	331.5 mg/kg
TERRAZZI M.	380 mg/kg				

Il confronto tra la concentrazione al **tempo 0** di **ECO100** ipotizzabile negli elutriati 1:4 e i valori tossicologici relativi ai saggi acquatici mostra che:

- Il contenuto di agente condizionante negli elutriati dei FLYSCH è **superiore** alle dosi di non effetto (NOAEC);
- Il contenuto di agente condizionante negli elutriati dei FLYSCH è **superiore** alle dosi di effetto (EC50);
- Il contenuto di agente condizionante negli elutriati dei TERRAZZI è **superiore** alle dosi di non effetto (NOAEC);
- Il contenuto di agente condizionante negli elutriati dei TERRAZZI è **superiore** alle dosi di effetto (EC50);

Il confronto tra la concentrazione al **tempo 0** di **ECO100** nei cumuli e i valori tossicologici relativi al saggio di fitotossicità mostra che:

- Il contenuto di agente condizionante nei cumuli FLYSCH è **superiore** alla concentrazione di non effetto (NOAEC);



- Il contenuto di agente condizionante nei cumuli di FLYSCH è **inferiore** alla concentrazione di effetto (IC50);
- Il contenuto di agente condizionante nei cumuli TERRAZZI è **superiore** alla concentrazione di non effetto (NOAEC);
- Il contenuto di agente condizionante nei cumuli TERRAZZI è **inferiore** alla concentrazione di effetto (IC50);

### POLIMERO SV

Per la valutazione della tossicità del polimero SV si è partiti dall'assunto di considerare la totale cessione del prodotto alla matrice acquosa al tempo zero. In siffatto contesto operativo, negli elutriati dei cumuli (ipotizzando un rapporto 1:4 come da linea guida ANPA), sono stati ottenuti i risultati riassunti in tabella.

**Tabella 5. Sintesi dei risultati eco tossicologici su elutriato**

Litotipo	Valore atteso polimero SV	NOAEC <i>alghe</i>	NOAEC <i>Daphnia</i>	IC50 <i>alga</i>	IC50 <i>Daphnia</i>
FLYSCH N.	485 mg/L	275 mg/L	250 mg/L	1557 mg/L	906.5 mg/L
TERRAZZI M.	275 mg/L				

I risultati ottenuti nella sperimentazione operata sui cumuli per il polimero SV è quella di seguito riassunta.

**Tabella 6. Sintesi dei risultati fitotossici sui cumuli**

Litotipo	Valore atteso polimero SV	NOAEC <i>alghe</i>	NOAEC <i>Daphnia</i>
FLYSCH N.	1940 mg/kg	>2000 mg/kg	>2000 mg/kg
TERRAZZI M.	1100 mg/kg		

Successivamente è stato ricondotto lo studio alle concentrazioni riscontrabili all'interno dei cumuli in funzione del mix design progettuale, le stesse sono state, quindi, raffrontate con le concentrazioni ammissibili dai test con organismi acquatici. Si è partiti dall'assunto di



una totale cessione dell'agente condizionante all'elutriato. Di seguito si riportano i risultati in forma tabellare.

Tabella 7. Risposta degli organismi acquatici in relazione alla totalità del materiale condizionate atteso nei cumuli

Litotipo	Valore atteso concentrazion e polimero SV	NOAEC alghe	NOAEC Daphnia	IC50 alga	IC50 Daphnia
FLYSCH N.	1940 mg/kg	1100 mg/kg	1000 mg/kg	6228 mg/kg	3626 mg/kg
TERRAZZI M.	1100 mg/kg				

Il confronto tra la concentrazione di SV ipotizzabile negli elutriati 1:4 e i valori tossicologici relativi ai saggi acquatici mostrano che:

- Il contenuto del polimero negli elutriati dei FLYSCH è **superiore** alle dosi di non effetto (NOAEC) sia per alga che per daphnia;
- Il contenuto di polimero negli elutriati di FLYSCH è inferiore alle dosi di effetto (IC50);
- Il contenuto di polimero negli elutriati dei TERRAZZI è paragonabile alle dosi di non effetto (NOAEC) per entrambi gli organismi;
- Il contenuto di polimero negli elutriati dei TERRAZZI è inferiore alle dosi di effetto (IC50) per entrambi gli organismi;

Il confronto tra la concentrazione di SV nei cumuli e i valori tossicologici relativi al saggio di citotossicità mostra che il contenuto di polimero al tempo 0 nei cumuli di FLYSCH e nei cumuli di TERRAZZI è paragonabile o inferiore alla concentrazione di non effetto (NOAEC).

La sperimentazione operata e finalizzata alla valutazione della tossicità degli additivi condizionanti, ha permesso di ottenere un parametro di considerevole importanza per la definizione del rischio sanitario ambientale associato all'impiego degli stessi. Assumendo una posizione fortemente cautelativa di tutela e salvaguardia ambientale, la definizione del NOEC, ovvero, della concentrazione soglia di non effetto, risulta essere il valore



maggiormente conservativo a cui tendere per garantire un rischio sanitario ambientale accettabile.

Atteso che lo studio, a parità di concentrazione di prodotto impiegato, ha restituito differenti valori di NOEC in funzione del tipo di organismo utilizzato, si è fissato il preciso obiettivo di assumere la posizione più conservativa per l'ambiente considerando quale valore di riferimento il valore più basso tra quelli ottenuti.

Nella fattispecie, in relazione alla tipologia di mix design previsto nonché, alla natura dei terreni da trattare, il valore maggiormente cautelativo è risultato essere **40 mg/L**. Valore quest'ultimo determinato per gli organismi acquatici in relazione all'impiego del prodotto MAPEI ECO100.

Per gli aspetti operativi per la gestione dei materiali da scavo di rimanda all'elaborato denominato *"CRITERI OPERATIVI PER L'UTILIZZO COME SOTTOPRODOTTO DEI MATERIALI DA SCAVO CONDIZIONATI PROVENIENTI DALLO SCAVO IN MODALITA' EPB DELLA GALLERIA CEFALU"*.



## 5.5. Valutazione delle biodegradabilità

Dati di letteratura indicano l'esistenza di diversi studi e sperimentazioni, condotte sia ad opera degli stessi produttori che degli organismi di tutela ambientale e di ricerca come ISPRA e CNR, circa il grado di **biodegradabilità** dei prodotti utilizzati negli scavi in galleria per il condizionamento dei terreni.

In questi rapporti vengono effettuati studi sito-specifici sulla biodegradabilità del SLES ponendo particolare attenzione ai possibili effetti refluenti sulle matrici ambientali (bersagli) oggetto dell'applicazione del prodotto.

In particolare sono stati eseguiti condizionamenti delle tipologie di terreno interessate dagli scavi ed effettuate le prove di biodegradazione, le quali hanno mostrato che, nella quasi totalità dei casi, le comunità microbiche presenti nei terreni condizionati sono in grado di biodegradare la sostanza SLES C12-14 (componente principale di tutti i tensioattivi anionici utilizzati con le TBM) e che questo processo sembrerebbe non correlato alla presenza di comunità microbiche specifiche.

Peraltro il *Tempo di Dimezzamento* (DT 50) di tali sostanze è stato attestato nell'intervallo 5-10 giorni, mentre a 28 giorni il tasso di biodegradazione risulta solitamente compreso tra il 60% ed il 90%.

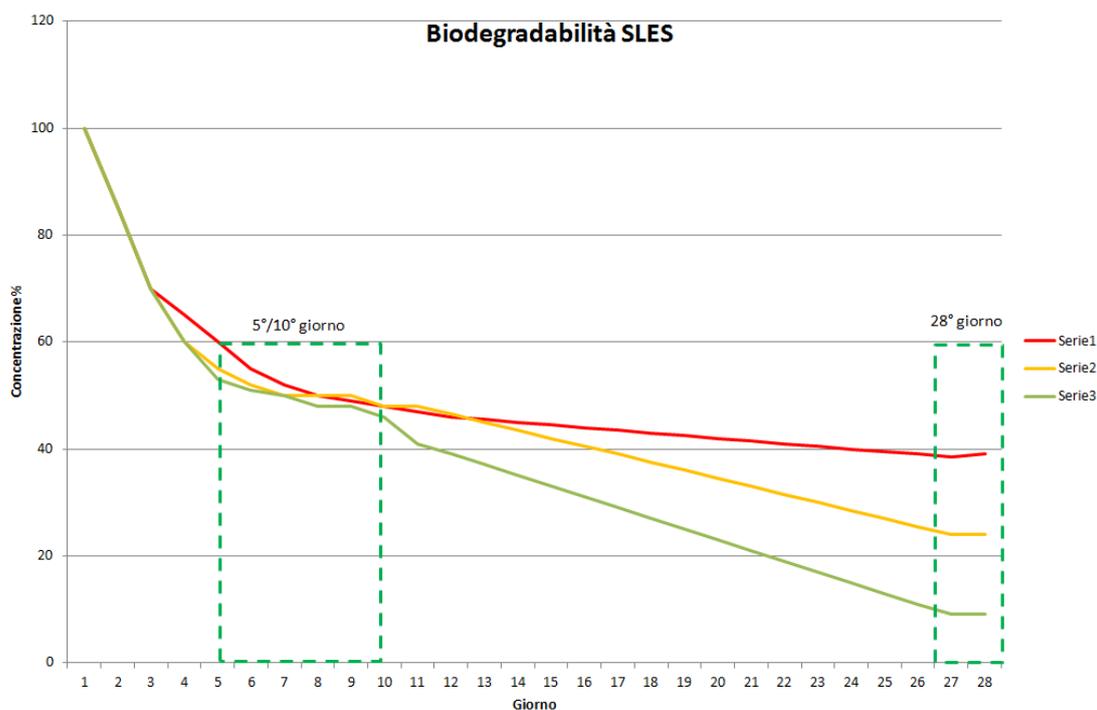


Figura 18. Schematizzazione grafica della biodegradabilità



Anche per il caso di studio è stata eseguita una sperimentazione finalizzata alla valutazione quantitativa della biodegradabilità dello specifico prodotto condizionante che si intende utilizzare per la realizzazione dell'opera.

La valutazione della degradazione dei tensioattivi nei cumuli artificiali ricostituiti è stata eseguita mediante un monitoraggio chimico nel tempo del contenuto dei tensioattivi indicatori individuati nei cumuli di roccia condizionata con i diversi additivi.

## 5.6. Sperimentazione - Parametri di condizionamento

La sperimentazione finalizzata alla valutazione della biodegradabilità dei prodotti impiegati per le fasi di scavo previste parte dall'analisi dei dosaggi di ciascun componente in funzione della tipologia di terreno da scavare. Come già dettagliato nel presente documento, i terreni da condizionare e scavare che caratterizzano il progetto in questione possono essere suddivisi in due litotipi principali *Flysch Numidici* e *Terrazzi Marini*. Vengono di seguito dettagliati i dosaggi previsti per le fasi di scavo e condizionamento.

Tabella 8. Parametri di condizionamento relativi al litotipo FLYSCH NUMIDICI

	Condizionamento	Quantità in funzione del passante a 2 mm [%]
		51,6 %
AGENTE SCHIUMOGENO Polifoamer ECO/100	Q <sub>tensioattivo</sub>	0,59 g/kg
	Q <sub>acqua</sub>	27,93 g/kg
Concentrazione d'acqua da aggiungere al terreno	W <sub>terreno</sub>	34,2 g/kg
Dosaggio calce (2% in peso)	Ca(OH) <sub>2</sub>	38,76 g/kg
Polimero Mapedrill SV (polvere)	QP [0,1% in peso]	1,94 g/kg
GRASSO DI TENUTA del sistema a labirinto del cuscinetto principale	HBW	0,06 g/kg
GRASSO DI LUBRIFICAZIONE del sistema a labirinto del cuscinetto principale	EP2 GR217	0,03 g/kg



Tabella 9. Parametri di condizionamento relativi al litotipo TERRAZZI MARINI

	Condizionamento	Quantità in funzione del passante a 2 mm [%]
		90,56%
AGENTE SCHIUMOGENO Polifoamer ECO/100	Q <sub>tensioattivo</sub>	0,38 g/kg
	Q <sub>acqua</sub>	21,2 g/kg
Concentrazione d'acqua da aggiungere al terreno	W <sub>terreno</sub>	82,82 g/kg
Dosaggio calce (2% in peso)	Ca(OH) <sub>2</sub>	22,08 g/kg
Polimero Mapedrill SV (polvere)	QP [0,1% in peso]	1,1 g/kg
GRASSO DI TENUTA del sistema a labirinto del cuscinetto principale	HBW	0,04 g/kg
GRASSO DI LUBRIFICAZIONE del sistema a labirinto del cuscinetto principale	EP2 GR217	0,02 g/kg

Operativamente, per ciascun litotipo sono stati allestiti 6 cumuli di 8 kg condizionati secondo il *mix design* riportato nelle tabelle e in linea con lo schema riportato.



Figura 19. Schema della configurazione iniziale con il quale ciascuno dei sei cumuli da 8 kg è stato condizionato.

I cumuli così condizionati sono stati poi riposti in contenitori distinti all'interno di un incubatore termostato a 22°C, in assenza di luce.

A scadenze predefinite aliquote di ciascun cumulo sono state prelevate e sottoposte, per valutare la degradabilità dei tensioattivi, a un'analisi semiquantitativa valutando la percentuale di recupero dei composti identificati nell'analisi qualitativa. *Per l'esatta*



procedura utilizzata si rimanda al documento integrale redatto dall'Istituto di Ricerche Farmacologiche Mario Negri.

I risultati ottenuti dalla sperimentazione possono essere così riassunti:

Nei FLYSCH, il contenuto totale di tensioattivi si riduce di circa il 40% nella prima settimana e degrada a lungo termine fino a circa il 50% del contenuto iniziale in tutti i cumuli.

Nei TERRAZZI, il contenuto totale di tensioattivi si riduce di circa il 10% nella prima settimana e degrada a lungo termine fino ad un massimo del 20% circa del contenuto iniziale in tutti i cumuli.

## 5.7. Conclusioni della sperimentazione Mario Negri

I risultati presentati nella relazione dimostrano che alcune sostanze quali il tensioattivo **Eco100** ed il **Polimero SV** utilizzate durante gli scavi possono essere presenti negli elutriati (1/4 p/v in acqua come di norma utilizzati dalle ARPA) ottenuti dai detriti di roccia in concentrazioni superiori al momento del condizionamento (T0) a quelle di non effetto per gli organismi modello impiegati nello studio ecotossicologico. I dati dimostrano inoltre che le concentrazioni delle sostanze studiate nei suoli analizzati non risultano fitotossiche.

La tossicità dei detriti di roccia di scavo risulta comunque ridotta probabilmente per la diminuita biodisponibilità delle sostanze chimiche studiate quando presenti nella matrice.

È comunque importante notare che, mantenendo i cumuli di detriti di roccia di scavo contenenti gli additivi chimici in condizioni controllate per un tempo di "maturazione" di 28 giorni, la quasi totalità dei test ecotossicologici effettuati dimostra che i prodotti chimici presenti nelle 2 matrici oggetto dello studio (Flysch, Terrazzi) non sono più tossici con l'unica eccezione dell'alga *R. subcapitata*. Quest'ultimo dato potrebbe dipendere dal notevole "effetto matrice" che i detriti di roccia di scavo hanno "di per sé" sulla crescita dell'alga che, come noto, è un organismo particolarmente sensibile ad elevate concentrazioni di sostanze inorganiche nelle acque e negli elutriati.

I dati evidenziano comunque che gli effetti biologici dei cumuli mostrano un trend di diminuzione della tossicità da 0 a 28 giorni (per alcuni organismi e specifici end point sono sufficienti 7-14 giorni di maturazione dei cumuli per osservare la scomparsa di effetti tossici, come riportato nel quadro riassuntivo del documento redatto) e pertanto un tempo



più lungo anche solo di poche settimane eliminerebbe completamente il problema della tossicità algale residua degli elutriati dei cumuli.

È importante tenere presente che i detriti di roccia risultano “di per sè” almeno in parte tossici per alcuni organismi modello. Ciò non deve stupire perché, per definizione, la roccia madre non è un “suolo” idoneo alla crescita e alla riproduzione di organismi animali, vegetali e microbici: la matrice inorganica viene infatti trasformata mediante il processo di Pedogenesi in un suolo adatto allo sviluppo dei differenti organismi.

Si deve pertanto considerare la possibilità che per il futuro i test ecotossicologici vengano realizzati miscelando una certa quantità di roccia di scavo (la quantità massima di detriti di roccia incontaminata che risulta non tossica per gli organismi modello utilizzati nei test) a un suolo standard OECD. Si deve infatti tenere presente che anche per quanto riguarda il compost, una matrice più adatta allo sviluppo di numerosi organismi, i test di tossicità vengono eseguiti (secondo la normativa vigente) miscelando 25-50% di compost a suolo standard OECD.

Concludendo, i risultati riportati nello studio non evidenziano problematiche di tipo ecotossicologico nell'uso in operazioni di scavo dei prodotti studiati se si ottempera all'avvertenza di mantenere in cumuli di maturazione il materiale estratto prima di avviarlo agli utilizzi di legge.

La tempistica per una adeguata maturazione del materiale dei cumuli nelle condizioni realizzate per questo studio (cumuli contenenti gli additivi chimici in condizioni standard a 20°C) è risultata di almeno 4-5 settimane: la tossicità dei cumuli dovrà comunque essere controllata prima del loro successivo utilizzo in quanto il tempo di maturazione varierà con il tipo di roccia di scavo, le condizioni climatiche nelle diverse stagioni (T, umidità, etc.) e con il livello ed il tipo di contaminazione biologica del materiale di scavo.

Per ridurre il tempo di maturazione dei cumuli e minimizzare pertanto le quantità di detriti di roccia in attesa di essere smaltiti, si suggerisce di realizzare uno studio relativo agli effetti della addizione ai cumuli in maturazione di acque da corpi idrici superficiali (contenenti batteri, funghi ed invertebrati) eventualmente addizionate di microorganismi in grado di accelerare il processo di degradazione delle sostanze chimiche (ad esempio tipi selezionati di batteri o funghi). Un tale trattamento dei cumuli dovrebbe permettere, anche nel periodo invernale, di ridurre i tempi di abbattimento delle concentrazioni degli additivi



chimici presenti nei detriti di roccia di scavo e, conseguentemente, della tossicità della matrice.

Per gli aspetti operativi per la gestione dei materiali da scavo di rimanda all'elaborato denominato "**CRITERI OPERATIVI PER L'UTILIZZO COME SOTTOPRODOTTO DEI MATERIALI DA SCAVO CONDIZIONATI PROVENIENTI DALLO SCAVO IN MODALITA' EPB DELLA GALLERIA CEFALU**".



## 6. SOFTWARE UTILIZZATO

Il software utilizzato nel presente studio è il Risk-net, nella versione 2.1 dell'ottobre 2016; è un software sviluppato nell'ambito della rete su iniziativa del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Roma "Tor Vergata", con l'obiettivo di fornire uno strumento che ricalchi la procedura APAT-ISPRA di Analisi di Rischio ("Criteri metodologici l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati"; APAT 2008).

Come già accennato in premessa, in questo caso, **non essendo in atto alcuna "potenziale contaminazione" dovuta all'avvenuto superamento di CSC**, non è stata svolta un' Analisi di Rischio di tipo tradizionale, ma, piuttosto, una Valutazione del Rischio Ambientale legato alla vulnerabilità sito-specifica. Tale valutazione è stata impostata in modo del tutto analogo ad una AdR, fatte salve alcune considerazioni di cui si dirà più avanti, valutando le potenziali fonti di contaminazione primarie e secondaria, i percorsi di migrazione, le vie di esposizione e i bersagli. **Tutte le valutazioni, i modelli e le considerazioni, sono state fatte assumendo sempre la posizione maggiormente cautelativa nei confronti dei bersagli.**

### 6.1. Il software

Risk-net è un software che permette di applicare la procedura di Analisi di Rischio sanitaria ai siti contaminati in accordo con quanto previsto dalle linee guida APAT-ISPRA (2008) e dalla normativa italiana (D.Lgs. 152/06 e D.Lgs. 04/08).

Il software permette di calcolare sia il rischio in modo diretto ("Forward"), associato alla concentrazione rilevata in sorgente, che gli obiettivi di bonifica (CSR, concentrazioni soglia di rischio) in modalità inversa ("Backward"), definendo i limiti di accettabilità del rischio e dell'indice di pericolo.

Per ogni percorso di esposizione attivato dall'utente vengono calcolate, attraverso i modelli analitici di trasporto descritti nelle linee guida APAT-ISPRA (2008), le concentrazioni massime attese in condizioni stazionarie al punto di esposizione. Tali modelli tengono conto della ripartizione dei contaminanti nelle diverse fasi del suolo e dell'attenuazione subita durante la migrazione dalla sorgente al punto di esposizione. Successivamente, sulla base dei parametri di esposizione definiti dall'utente, viene calcolata la dose



giornaliera dei diversi ricettori. Tali dosi, combinate con i corrispondenti parametri tossicologici e con le concentrazioni al punto di esposizione, sono utilizzate nel calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica (CSR). Successivamente, per ciascun contaminante vengono cumulati gli effetti legati alla presenza di più vie di esposizione attive e vengono calcolati gli obiettivi di bonifica e i rischi individuali (legati alla singola sostanza) e cumulativi (derivanti dalla presenza di più sostanze).

L'architettura del software può essere schematizzata nei seguenti punti:

- **Tipo di analisi:** selezione del tipo di analisi da effettuare (calcolo del rischio, calcolo degli obiettivi di bonifica o entrambi).
- **Accettabilità del rischio:** definizione dei limiti accettabili di rischio e indice di pericolo (individuali e cumulativi) che verranno utilizzati per calcolare gli obiettivi di bonifica del sito.
- **Modello Concettuale del Sito:** definizione delle vie di migrazione e di esposizione attive nel sito, per ciascuna matrice ambientale (suolo superficiale, suolo profondo e falda).
- **Contaminanti indicatori:** selezione dei contaminanti per ciascuna matrice contaminata.
- **Concentrazione rappresentativa alla sorgente** (richiesta solo per la modalità "Forward"): definizione della concentrazione rappresentativa dei diversi contaminanti di interesse per le diverse matrici ambientali.
- **Recettori:** definizione dei recettori presenti all'interno (on-site) e in prossimità del sito (off-site).
- **Fattori di esposizione:** definizione dei fattori di esposizione che descrivono il modello di comportamento atteso per i recettori del sito in esame.
- **Caratteristiche sito:** inserimento delle proprietà specifiche e geometriche del sito e della sorgente che verranno utilizzate per il calcolo dei fattori di trasporto per le diverse vie di migrazione attivate.
- **Rischio e CSR:** Calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica (Concentrazioni Soglia di Rischio, CSR) noti esposizione e proprietà chimico-fisico e tossicologiche.



## 6.2. Definizione Modello concettuale

Partendo dai dati a disposizione sul sito da valutare, si procede alla costruzione del *Modello Concettuale del Sito (MCS)*, mediante la definizione dei rapporti tra la sorgente del potenziale inquinamento, le possibili vie di trasporto e i possibili bersagli esposti all'inquinamento. Il modello concettuale identifica, tra tutte le sostanze contaminanti rinvenute nel sito, un numero ristretto di esse, denominati contaminanti "indicatori", che possono essere ritenuti caratterizzanti la forma di contaminazione in esame, per effetto della concentrazione rilevata, delle proprietà fisico-chimiche, del grado di mobilità in suolo, acque e/o aria, degli effetti tossici sull'uomo, del grado di persistenza.

## 6.3. Calcolo della concentrazione nel punto di esposizione

Per valutare il rischio posto da un inquinante è necessario determinare la concentrazione dello stesso nel punto di esposizione (POE: *Point Of Exposure*), punto dove viene stimato il potenziale rischio sanitario e rappresenta il punto in cui il bersaglio umano è esposto alla contaminazione. Nel caso di bersagli non umani si parla invece di punto di conformità (POC: *Point of Compliance*), in corrispondenza del quale occorre verificare il rispetto di particolari standard di qualità dell'acqua (D.lgs.31/2001). Per l'individuazione del POE occorre fare distinzione fra le vie di esposizione "dirette" (p.e. il contatto dermico col suolo contaminato) e "indirette" (p.e. ingestione o contatto con acqua di falda contaminata). Nel primo caso la concentrazione nel POE si può considerare coincidente con quella della sorgente, per cui non si deve tenere conto di alcuna attenuazione a valle di questa; nel secondo caso invece si può tener conto dell'attenuazione fra la sorgente e il punto in cui il bersaglio viene a contatto con la contaminazione mediante un fattore di attenuazione (NAF: *Natural Attenuation Factor*), che tiene conto di tutti i fenomeni che contribuiscono alla riduzione della concentrazione del contaminante lungo il tragitto tra la sorgente e il bersaglio (diluizione/dispersione, adsorbimento, volatilizzazione, etc.). In questo caso occorre fare ricorso a modelli matematici che consentano di riprodurre i



meccanismi di destino e trasporto (fate & transport) degli inquinanti nel suolo e sottosuolo.

Una volta scelto il modello di trasporto e dispersione che si vuole applicare, è in genere possibile utilizzarlo in condizioni stazionarie o dinamiche. I modelli di tipo dinamico sono in genere applicati nelle analisi di rischio più avanzate, denominate nella procedura RBCA di livello3.

#### 6.4. Calcolo del rischio

Il calcolo dei rischi per il bersaglio umano avviene con la specifica quantificazione numerica degli usuali indici di rischio sanitario, per contaminanti cancerogeni (cosiddetto “Rischio cancerogeno”, R) e non cancerogeni (cosiddetto “Quoziente di Pericolosità”, HQ).

Il rischio cancerogeno, adimensionale, rappresenta la probabilità di casi di tumore nel corso della vita causati dall’esposizione alla sostanza cancerogena. Il Quoziente di Pericolosità, adimensionale, indica il rapporto tra il livello d’esposizione umana alla sostanza contaminante non cancerogena – per dato tempo d’esposizione- e la dose di riferimento per la sostanza medesima, RfD (Reference Dose).

In presenza di più vie di esposizione per uno stesso composto o a più composti cancerogeni con una o più vie di esposizione, si procede ad assumere che sia il rischio R che per HQ valga la proprietà additiva, nel senso che l’effetto cancerogeno o tossico dovuto a più sostanze e/o a vie di esposizione si ottiene per sommatoria dei singoli effetti.

La procedura di analisi di rischio può essere condotta in modalità diretta (forward mode) o inversa (backward mode). La modalità diretta permette di stimare il rischio sanitario per il recettore esposto, sia posto in prossimità del sito (on-site) che ad una certa distanza (off-site), conoscendo la concentrazione in corrispondenza della sorgente di contaminazione.

Quando il livello di rischio per la salute viene ritenuto non accettabile per il recettore esposto, la modalità inversa permette il calcolo della massima concentrazione in



sorgente compatibile con la condizione di accettabilità del rischio, rappresentando così l'obiettivo della bonifica.

L'applicazione inversa dei modelli di analisi di rischio è molto diffusa in Europa per la definizione dei cosiddetti valori guida di screening di validità generica (SSTL: Site Specific Target Levels).

Tale procedura in pratica coincide con quella prevista dalla normativa italiana (D.lgs.152/2006), che richiede la stima delle concentrazioni massime nel sito (CSR: concentrazioni soglia di rischio) compatibili col non superamento del rischio massimo al POC.



## 7. VALUTAZIONE DEL RISCHIO AMBIENTALE

### 7.1. L'Analisi di Rischio

In generale, *“L'analisi di rischio può essere definita come una valutazione scientifica della possibilità che effetti negativi possano interessare specifici recettori, in relazione alla caratterizzazione reale del sito in argomento, sulla base di teorie scientifiche inerenti il comportamento dell'ambiente nei confronti della tossicità di differenti sostanze e talora sulla scorta di idonee assunzioni per sopperire a lacune nella conoscenza oppure nei dati di accettabilità.”*

L'AdR è una metodologia scientifica e sistematica per valutare lo stato di contaminazione delle matrici ambientali in termini di quantificazione dei rischi attuali e/o potenziali per l'uomo e per l'ambiente. È attualmente lo strumento più avanzato di supporto alle decisioni nella gestione dei siti contaminati.

Tale valutazione di rischio si effettua, in genere, su siti che rappresentano un pericolo cronico per l'uomo e/o l'ambiente, stimando un livello di rischio e, conseguentemente, dei valori limite di concentrazione, determinati in funzione delle caratteristiche della sorgente dell'inquinamento, dei meccanismi di trasporto e dei bersagli della contaminazione.

Per condurre le analisi di rischio si applica l'approccio RBCA (Risk-Based Corrective Action) che prevede lo sviluppo di tutti o parte dei seguenti livelli di analisi:

- **Livello 1:** utilizzato per effettuare un primo *screening* del sito in esame. La connotazione tipicamente preliminare di questo livello di indagine implica l'adozione di parametri (geometria della contaminazione, tempo e durata dell'esposizione, ecc.) estremamente conservativi e, in generale, non specifici del sito. In questa fase le informazioni sul sito a disposizione sono estremamente limitate: l'uso del territorio ipotizzato è quello più sensibile (verde residenziale nell'accezione del DM 471/99). Nell'analisi di livello 1 i punti di esposizione sono ipotizzati coincidenti con le sorgenti di contaminazione, non si tiene quindi conto di fenomeni di attenuazione dovuti alla diffusione dei contaminanti nello spazio e nel tempo. Nel livello 1 della procedura RBCA vengono calcolati i valori RBSL (Risk Based Screening Levels) ovvero i criteri di qualità delle matrici ambientali che non utilizzano parametri sito



specifici. Il Livello 1 prevede quindi il confronto delle concentrazioni misurate sul sito con i RBSL calcolati: qualora si evidenzino dei superamenti dei criteri di qualità si può procedere con la bonifica, previa valutazione del rapporto costi/benefici, oppure procedere ad un Livello 2 di analisi, dopo un approfondimento delle indagini.

- **Livello 2:** rappresenta una valutazione sito-specifica. I parametri ed i punti di esposizione considerati sono noti sulla base delle indagini condotte sul sito in esame e conducono quindi alla definizione di concentrazioni ammissibili di contaminanti più realistiche, definite SSTL (Site Specific Target Levels). In questa fase vengono utilizzati dati sito-specifici (contenuto di carbonio organico, permeabilità, porosità, geometria della sorgente, ecc.) e vengono considerati i relativi scenari di migrazione della contaminazione dalla sorgente. Le equazioni utilizzate, di tipo analitico, sono, generalmente, le stesse del Livello 1. Il Livello 2 prevede il confronto delle concentrazioni misurate in sito con gli SSTLs calcolati: in caso di superamento di tali valori si può decidere di procedere alla bonifica, dopo avere valutato attentamente i rapporti costi/benefici o di procedere ad un livello 3 di analisi, dopo un approfondimento delle indagini.
- **Livello 3:** prevede l'utilizzo di modelli di calcolo più complessi introducendo valutazioni di tipo probabilistico ed impiegando sofisticati modelli matematici previsionali delle modalità di trasporto dei contaminanti nelle varie matrici ambientali interessate. L'applicazione del Livello 3 di analisi di rischio consente il calcolo di nuovi SSTLs basati su una conoscenza dettagliata ed approfondita di tutte le caratteristiche del sito, per cui nella maggior parte dei casi ci si limita a condurre analisi di Livello 2.

## 7.2. Applicabilità al caso di studio

L'Analisi di Rischio, come descritto in precedenza, risulta essere lo strumento per valutare oggettivamente se un **“evento di potenziale contaminazione”** può interessare specifici recettori, in relazione alla caratterizzazione reale del sito in argomento, sulla base di teorie scientifiche inerenti il comportamento dell'ambiente nei confronti della tossicità di differenti sostanze e talora sulla scorta di idonee assunzioni per sopperire a lacune nella conoscenza oppure nei dati di accettabilità.



Detto ciò, atteso che per lo studio in questione è stata chiesta una *preventiva valutazione del rischio specifico ambientale per quanto riguarda la possibile contaminazione delle acque sotterranee, secondo quanto previsto dalla Tabella 2, Allegato V parte IV del D.Lgs. 152/06 “Concentrazione Soglia di Contaminazione nelle acque sotterranee”,* è evidente che non si è dinanzi ad un superamento di CSC e, di conseguenza, ad un fenomeno di potenziale contaminazione.

Per dare seguito alle richieste del MATTM è stato seguito un ragionamento che, considerando tutte le fasi previste per l'applicazione delle procedure finalizzate alla valutazione dell'Analisi di Rischio, ha reso possibile desumere se la realizzazione dell'opera in questione possa interferire o meno con le condizioni di naturalità delle acque sotterranee e se il rischio ad essa connessa possa considerarsi “accettabile” o “non accettabile”.

Nel particolare caso in esame, dovendo valutare il rischio ambientale nei confronti delle acque, sotterranee e superficiali, dovuto allo scavo con TBM con l'utilizzo di additivi potenzialmente contaminanti, sono state messe in atto le fasi di seguito descritte:

- identificazione dei contaminanti, cioè quegli additivi presenti nel sito che, per effetto della concentrazione, delle proprietà chimico-fisiche, del grado di mobilità, degli effetti tossici, si ritiene possano presentare un potenziale rischio per le acque sotterranee e superficiali e, di conseguenza, per la salute dell'uomo;
- identificazione delle vie di migrazione “attive” per i contaminanti e delle modalità di esposizione per i bersagli;
- determinazione della concentrazione del/dei contaminanti al punto di conformità;
- confronto della concentrazione al punto di conformità con quella limite;
- calcolo del rischio per la falda.

Nel seguito vengono riportate le varie fasi per la valutazione di rischio messa in atto per i siti oggetto d'indagine:

1. *Valutazione dei possibili impatti;*
2. *Elaborazione del Modello Concettuale del Sito (MCS);*
3. *Caratterizzazione della sorgente di contaminazione;*



4. Caratterizzazione dei percorsi e delle possibili vie di esposizione
5. Valutazione dei bersagli;
6. Elaborazione del potenziale Rischio;

### 7.3. Valutazione degli impatti

L'impiego di una TBM (Tunnel Boring Machine) in modalità EPB per lo scavo di una galleria non produce, in via teorica, significativi impatti sull'ambiente. Nello specifico, l'unico agente che può essere considerato "potenzialmente contaminante" è rappresentato dai tensioattivi che compongono gli additivi utilizzati per condizionare i terreni. Gli stessi sono iniettati direttamente nel fronte di scavo e, pertanto, successivamente rimossi insieme ai terreni scavati.

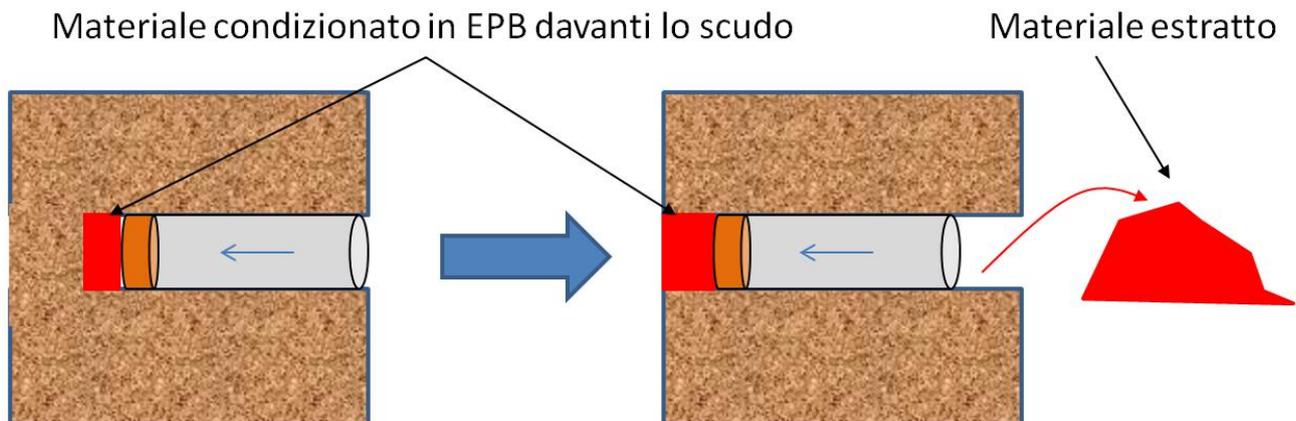


Figura 20. Schema ipotetico del totale allontanamento del materiale condizionato

Nonostante ciò bisogna considerare che l'infiltrazione/filtrazione degli additivi nel terreno non è del tutto prevedibile a causa di eventuali micro/macro fessurazioni (vedi figura), variazioni locali di granulometria, lenti a diversa permeabilità, presenza o meno di acque sotterranee, etc. Ciò fa sì che l'area interessata dalla penetrazione dei prodotti condizionanti possa essere leggermente maggiore rispetto alla sezione della TBM, lasciando, di fatto, attorno alla galleria, una sorta di "corona" di terreno caratterizzato dalla presenza tensioattivi.

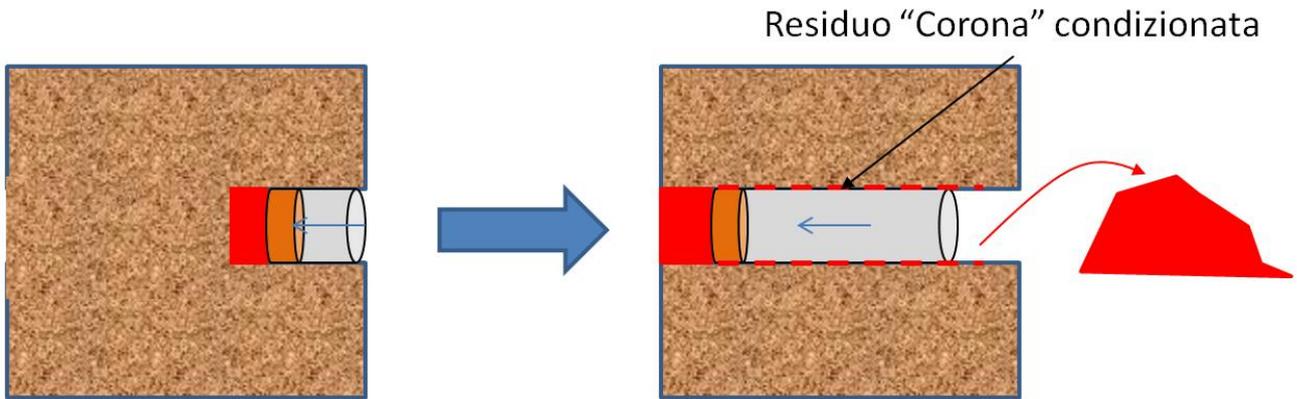


Figura 21 Schema ipotetico di allontanamento del materiale condizionato con residui di "corona condizionata"

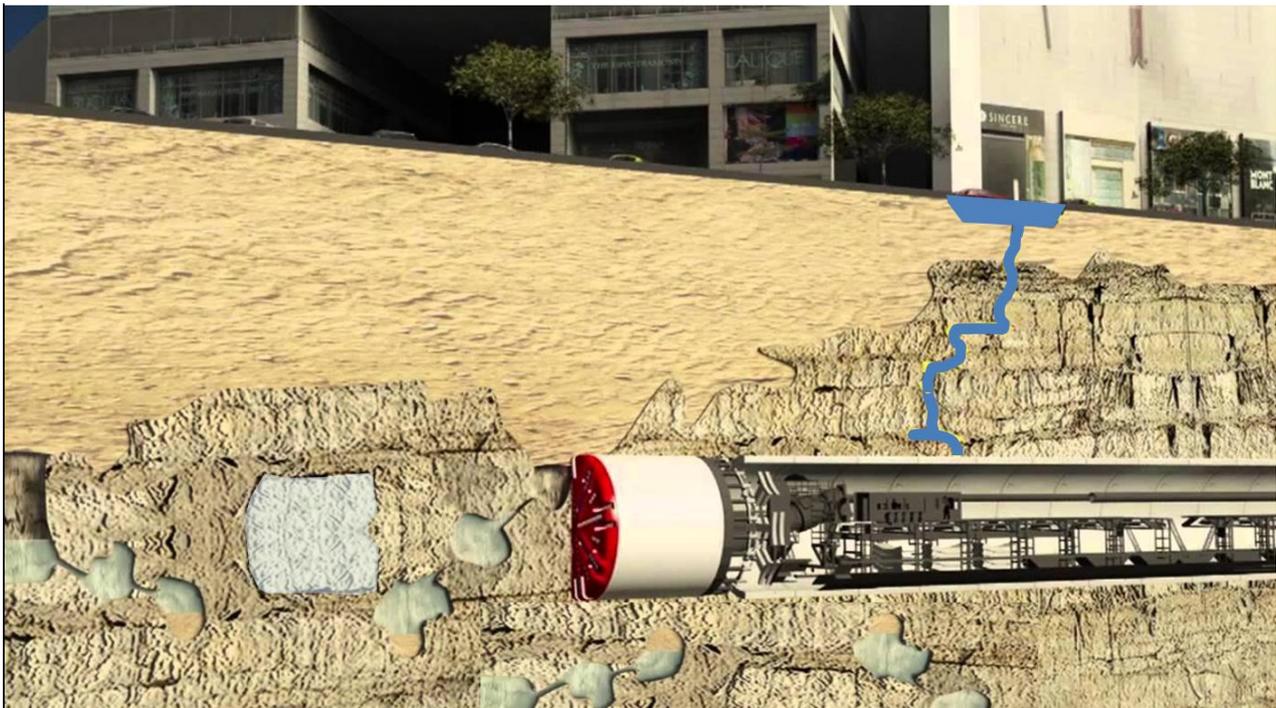


Figura 22. Schema della circolazione idrica sotterranea e superficiale che può interferire con il passaggio della TBM



Figura 23. Esempi di modalità di “iniezione” di agente condizionante nel terreno dallo scudo anteriore

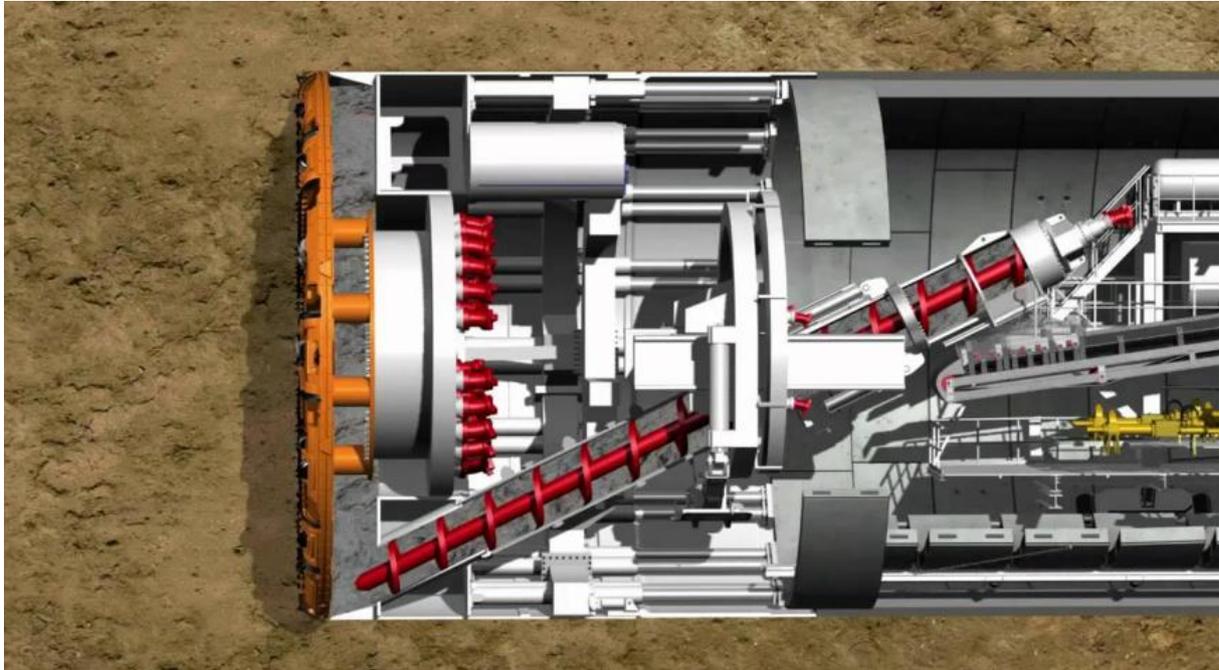


Figura 24. Utilizzo della TBM senza impiego di additivi

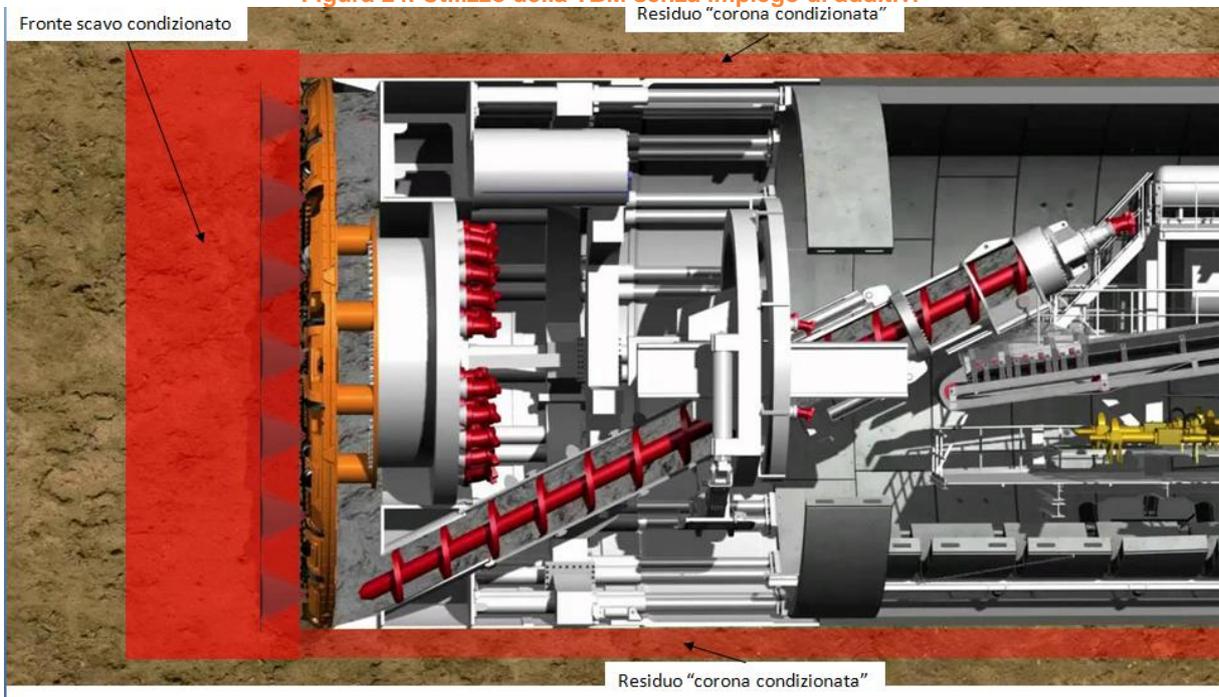


Figura 25. Utilizzo della TBM con impiego di additivi

Quantificare questo tipo di fenomeno è piuttosto complicato per le diverse variabili di cui è necessario tenere conto per la stima precisa. Tuttavia, in linea di massima è possibile



stimare uno spessore della “corona condizionata” dell’ordine di centimetri o poche decine di centimetri.

La presenza di una corona di terreno condizionato come sopra descritto, ha due diverse conseguenze, una di tipo economico ed una di tipo ambientale.

- Dal punto di vista economico l’infiltrazione su un’area maggiore rispetto a quella di scavo rappresenta uno spreco del prodotto e, pertanto, una perdita economica per la produzione;
- Dal punto di vista ambientale invece, la “corona” di terreno condizionato rappresenta l’unica “sorgente” che potrebbe causare una “potenziale contaminazione” delle matrici ambientali con cui viene a contatto. Va precisato, tuttavia, che tale contaminazione è da considerarsi a breve/brevissimo termine vista l’alta biodegradabilità che contraddistingue i prodotti condizionanti (cfr. paragrafo precedente).

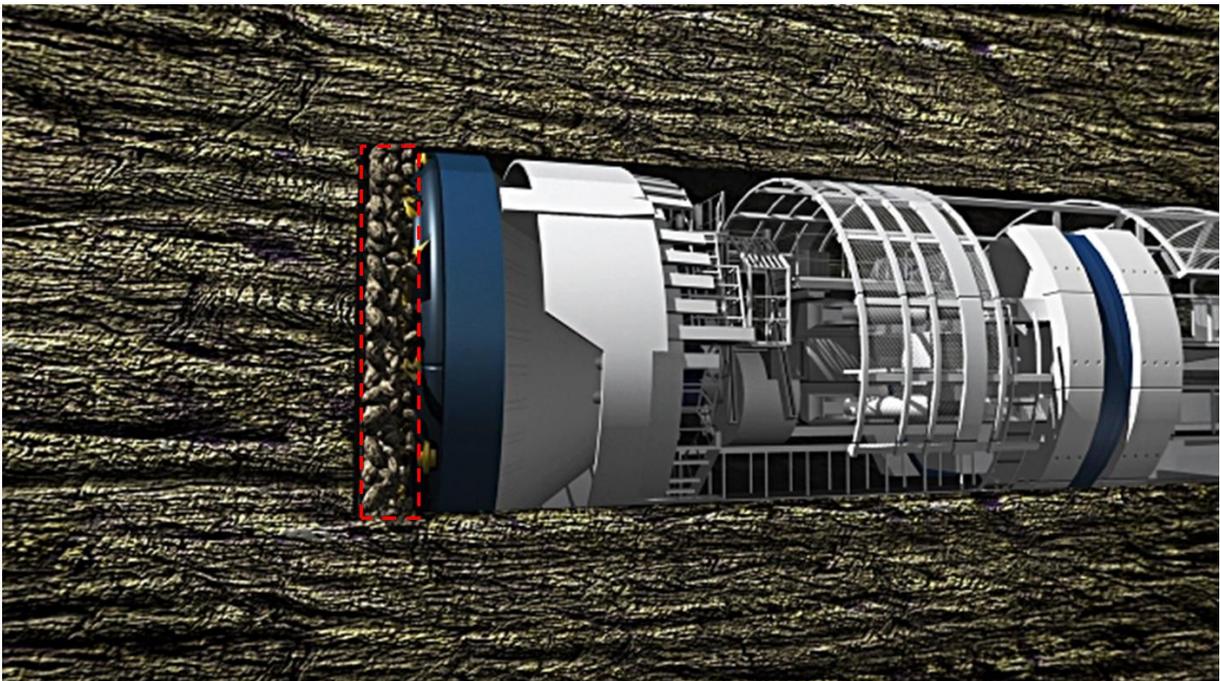


Figura 26. Schema ottimale di avanzamento della TBM. In rosso l’area condizionata con tensioattivi

Discorso del tutto analogo può essere fatto per i siti di destinazione finale dove vengono conferite le terre scavate per interventi di rimodellamento morfologico o di recupero ambientale. In questo caso si ha la presenza di terre con concentrazioni residue di tensioattivi che, potenzialmente, potrebbero contaminare le acque sotterranee e/o



superficiali per dilavamento ad opera delle acque di pioggia o per scolamento dello stesso contenuto di acqua del terreno escavato.

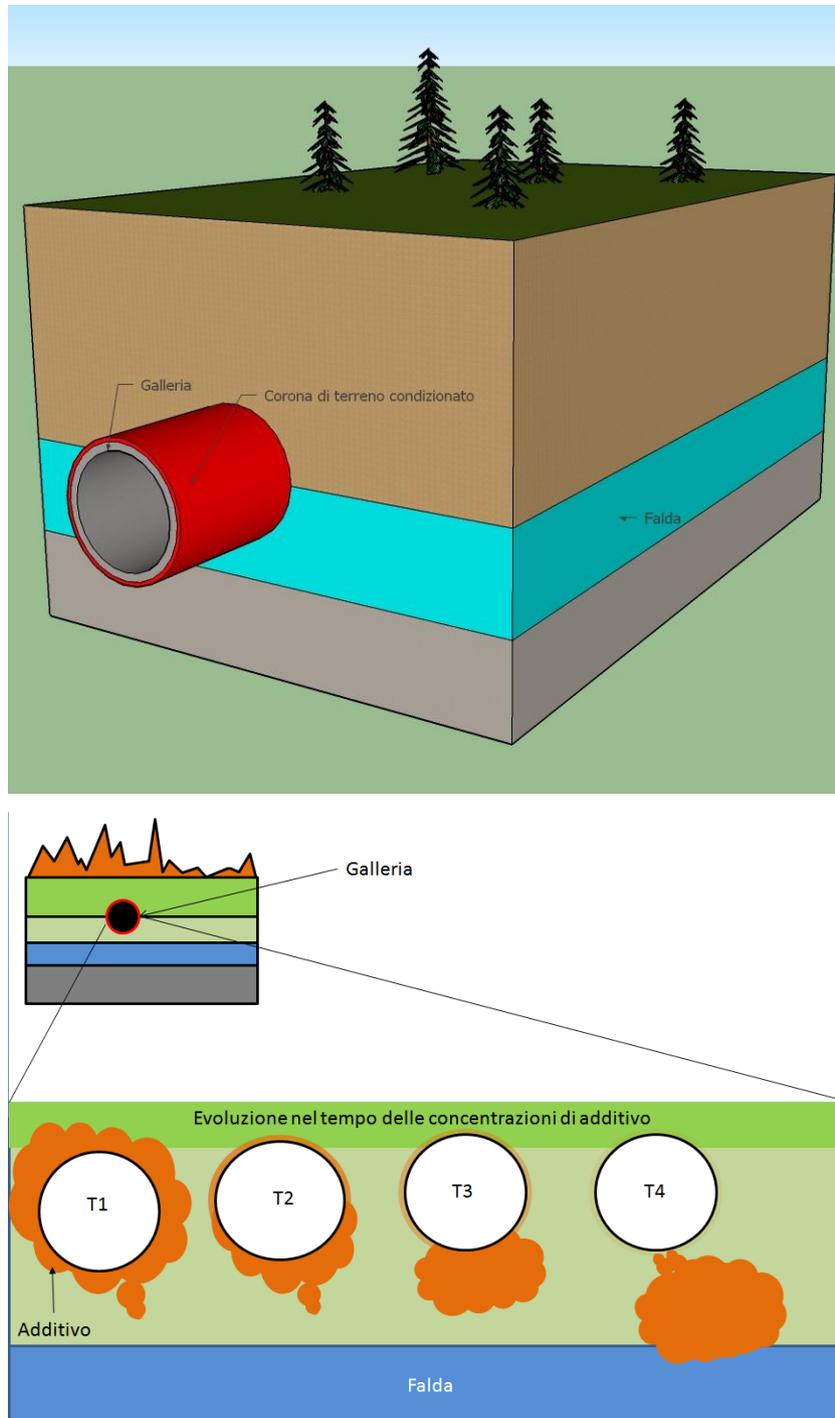


Figura 27: Schematizzazione della potenziale contaminazione nel caso di scavo con TBM in modalità EPB

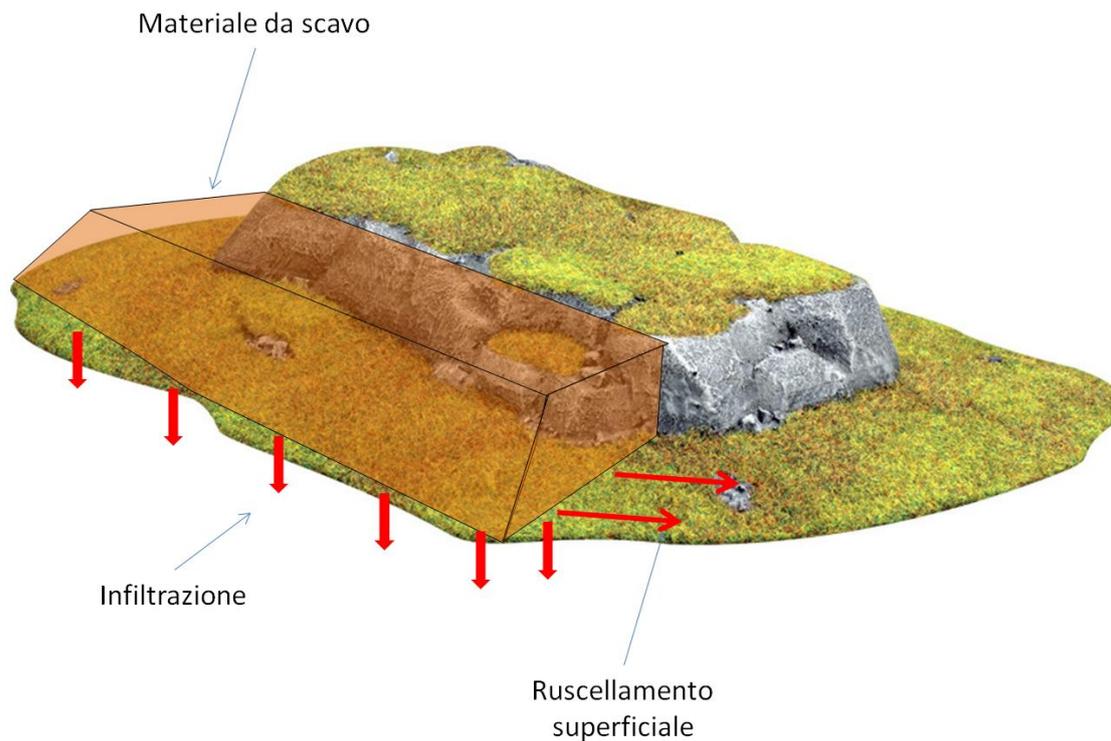
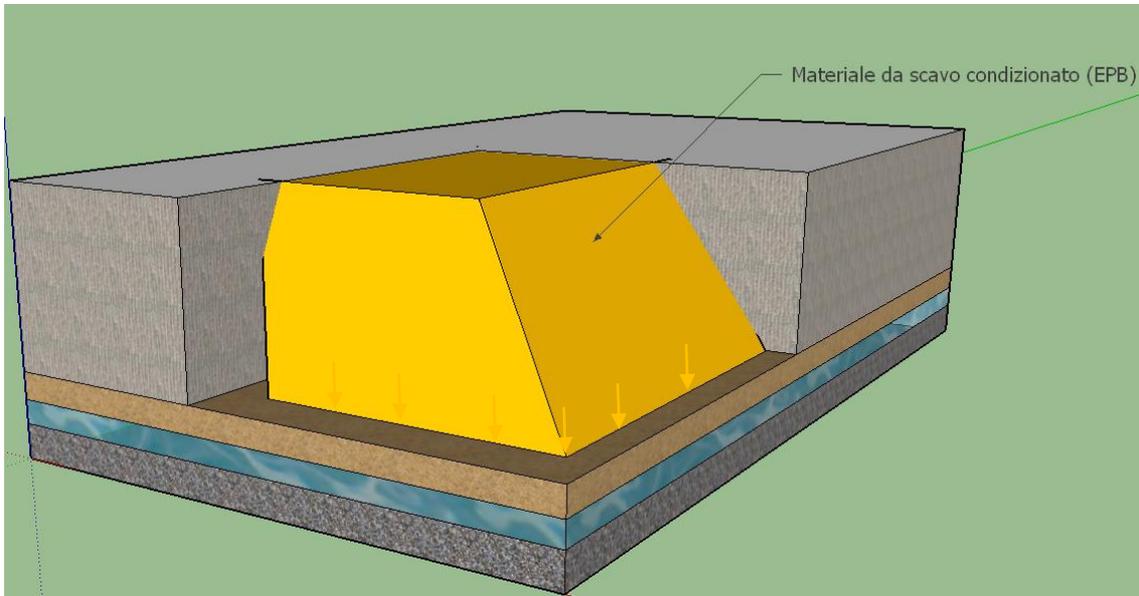


Figura 28: Schema della potenziale contaminazione dei siti di deposito definitivo



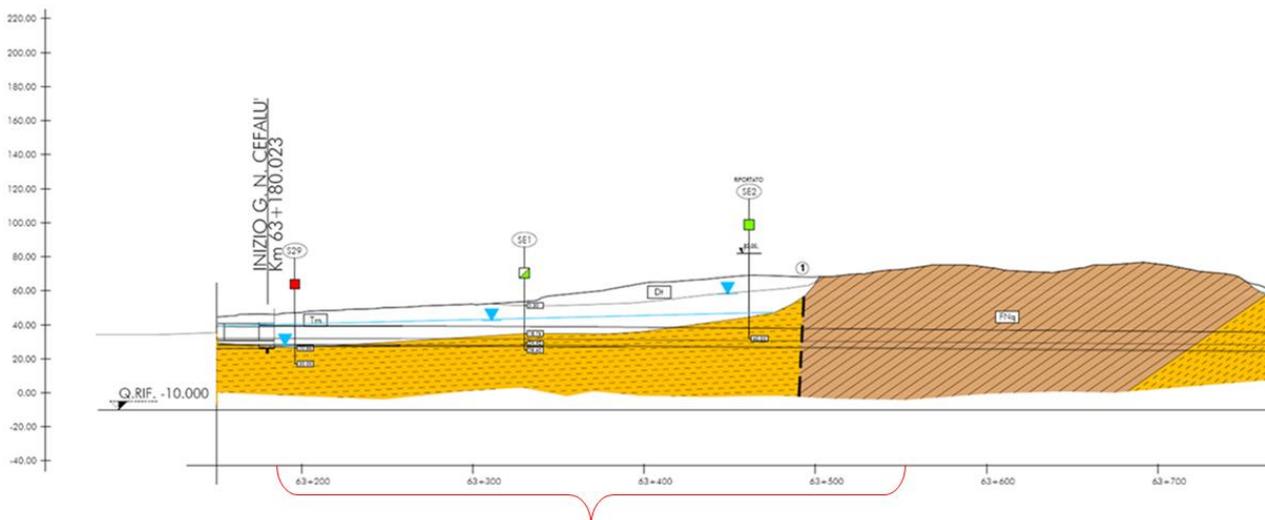
## 7.4. I casi studio

Considerate le finalità *preventive* del presente studio sono state effettuate diverse simulazioni valutando tutti i possibili scenari prevedibili durante la realizzazione dell'opera. Sono stati investigati tutti i siti interessati dall'ipotetico fenomeno di potenziale contaminazione, quello di scavo della **GN Cefalù**, i tre siti di destinazione finale rappresentati dalle cave **Roccalupa**, **Cerda** e **San Biagio** e un sito di deposito intermedio in attesa di utilizzo rappresentativo delle scenario più conservativo.

Lo scavo della galleria in modalità EPB (con utilizzo di additivi) è limitato a tre tratti (ognuno su due canne, canna destra e canna sinistra), in particolare i tratti 1, 5, 8.

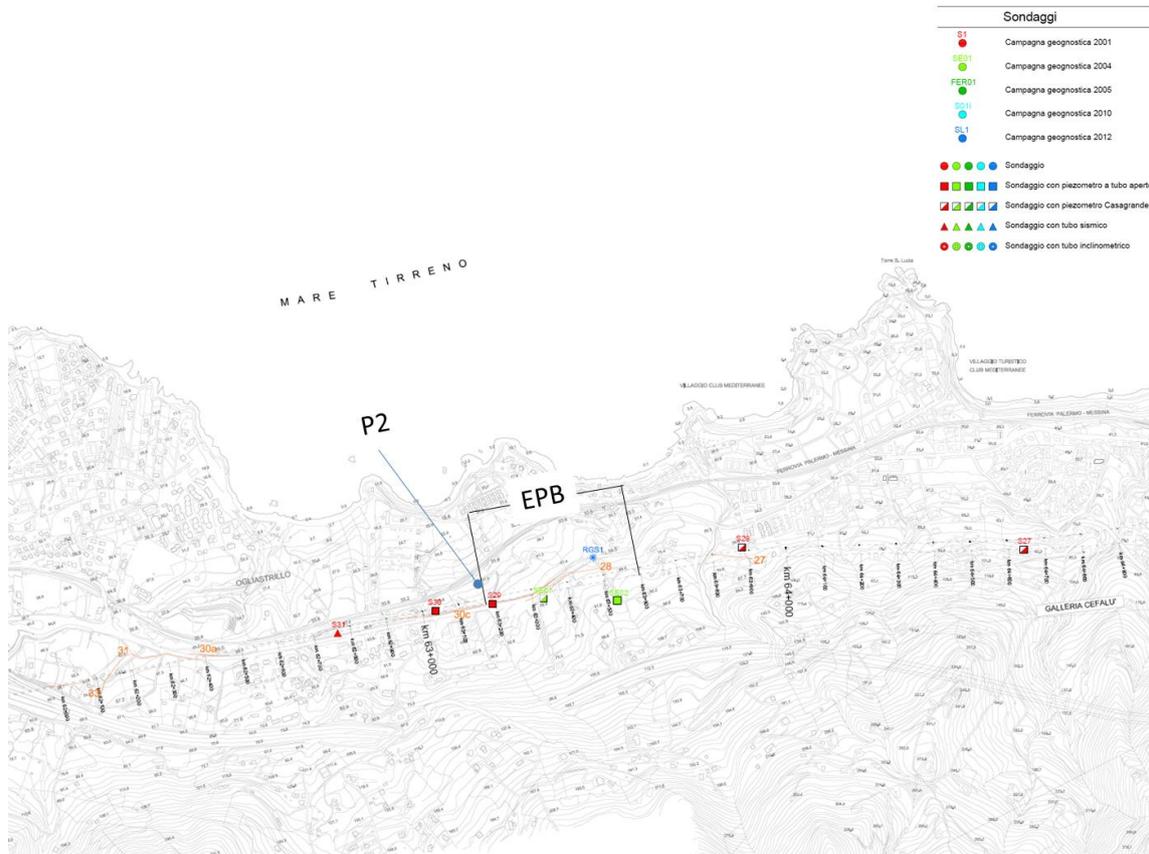
Considerato che i risultati dell'Analisi di Rischio sono finalizzati ad individuare la sussistenza di un qualsiasi pericolo, definito e misurabile, in relazione al bersaglio individuato, si è optato per condurre lo studio per il caso più "severo", quello che presentava le condizioni più critiche ai fini della citata analisi di rischio. Così facendo si è certi di avere assunto la posizione maggiormente conservativa nei confronti di tutti i possibili bersagli coinvolti.

A tal fine, il tratto che è stato oggetto di studio per la modalità di scavo in EPB è il tratto 1 poiché risulta essere il più vicino al bersaglio (pozzo idrico "P2" – 55 m).

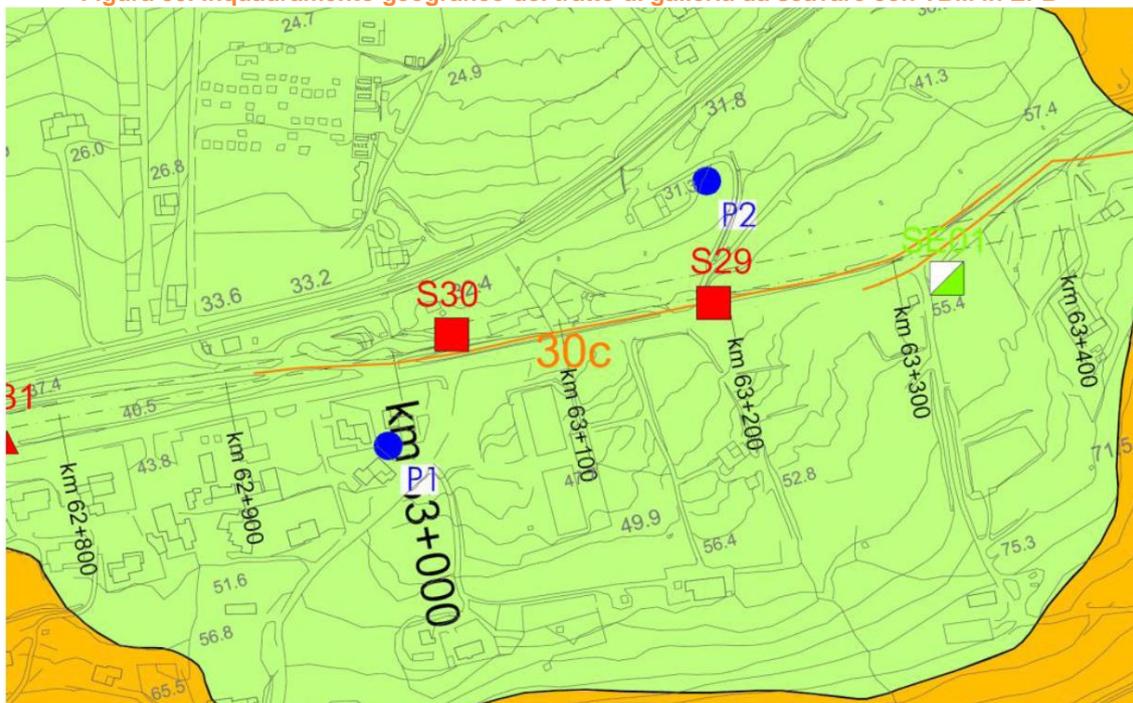


Tratto 1 da scavare in EPB (371m)

Figura 29. Sezione di scavo delle TBM nel tratto 1 in corrispondenza dell'inizio galleria Cefalù



**Figura 30. Inquadramento geografico del tratto di galleria da scavare con TBM in EPB**



**Figura 31. Stralcio della carta idrogeologica in cui ricade il pozzo P2**



Gli altri casi studio sono coincidenti con ognuno dei tre siti di destinazione finale e con uno dei siti di deposito intermedio in attesa di utilizzo, per un totale di 5 casi studio:

- Caso 1: GN Cefalù - Tratto Operativo 1, Bersaglio pozzo "P2";
- Caso 2: Sito di destinazione finale cava Roccalupa, Bersaglio falda;
- Caso 3: Sito di destinazione finale cava Cerda, Bersaglio falda;
- Caso 4: Sito di destinazione finale cava San Biagio, Bersaglio falda;
- Caso 5: Sito di deposito intermedio ASx



## 8. Caso 1: GN Cefalù - Tratto Operativo 1

### 8.1. Ipotesi di partenza per il caso di studio GN Cefalù

Nei casi ordinari di applicazione di procedure di Analisi di Rischio, una volta scelto il modello di trasporto e dispersione che si vuole applicare, è possibile utilizzarlo in condizioni *stazionarie* oppure *dinamiche*.

L'applicazione di un'Analisi di Rischio di tipo "statico" non permette di tenere in considerazione la **biodegradazione** del contaminante, da un lato garantendo sicuramente condizioni di maggiore sicurezza in mancanza di dati sperimentali sito-specifici, ma dall'altro falsando i risultati in maniera quanto più significativa quanto maggiore è l'effettiva biodegradabilità del prodotto impiegato.

In relazione ai risultati ottenuti con lo studio sperimentale condotto dall'Istituto di Ricerche Farmacologiche Mario Negri che hanno attestato l'elevata biodegradabilità dei prodotti impiegati per il condizionamento dei terreni, per il presente caso di studio, si è ritenuto opportuno utilizzare un modello di calcolo di tipo "dinamico".

Questa particolare tipologia di modello permette di osservare, e quindi valutare, l'andamento delle concentrazioni di un determinato contaminante nel tempo e nello spazio considerando anche l'esaurimento per biodegradazione della fonte stessa di contaminazione.

La scelta di utilizzare un modello dinamico si è basata fondamentalmente sulle seguenti considerazioni:

1. i terreni oggetto di studio sono caratterizzati da permeabilità non elevate che, per le formazioni a permeabilità più elevata, non superano i  $10^{-5}$  m/s;
  - a. Acquifero dei depositi litorali ( $K > 10^{-5}$  m/s);
  - b. Acquifero dei terreni detritici e dei depositi dei terrazzi marini ( $10^{-7}$  m/s  $< K < 10^{-5}$  m/s);
  - c. Acquifero alluvionale ( $10^{-7}$  m/s  $< K < 10^{-5}$  m/s);
  - d. Acquifero argilloso-marnoso ( $K > 10^{-7}$  m/s);
  - e. Acquifero pelitico-arenaceo ( $10^{-7}$  m/s  $< K < 10^{-5}$  m/s)
  - f. Acquifero quararenitico-quarzosiltitico ( $10^{-7}$  m/s  $< K < 10^{-5}$  m/s)



g. Acquifero carbonatico ( $K > 10^{-5} m/s$ );

2. i terreni con questo tipo di permeabilità presentano tempi di diffusione dei contaminanti molto lenti, spesso nell'ordine di anni o decine di anni, se non centinaia, per percorrere qualche decina o centinaia di metri;
3. i prodotti utilizzati per condizionare i terreni da scavo sono studiati appositamente per produrre il minor disturbo ambientale possibile, tanto da presentare valori di decadimento per biodegradazione dell'ordine dell'80-90% nel giro di poche settimane.

Questa lenta diffusione nelle acque di falda, unitamente all'elevata biodegradabilità dei prodotti chimici utilizzati per condizionare i terreni, renderebbe poco sensato basare il calcolo del rischio su un valore di  $C_{POC}$  (Concentrazione al Punto di Conformità) raggiungibile, teoricamente, dopo 10, 20 o 30 anni quando del contaminante non ci sarebbe certamente più traccia; la strada più corretta, quindi, è quella di considerare la biodegradazione per il calcolo delle  $C_{POC}$  e, di conseguenza, del rischio ambientale.

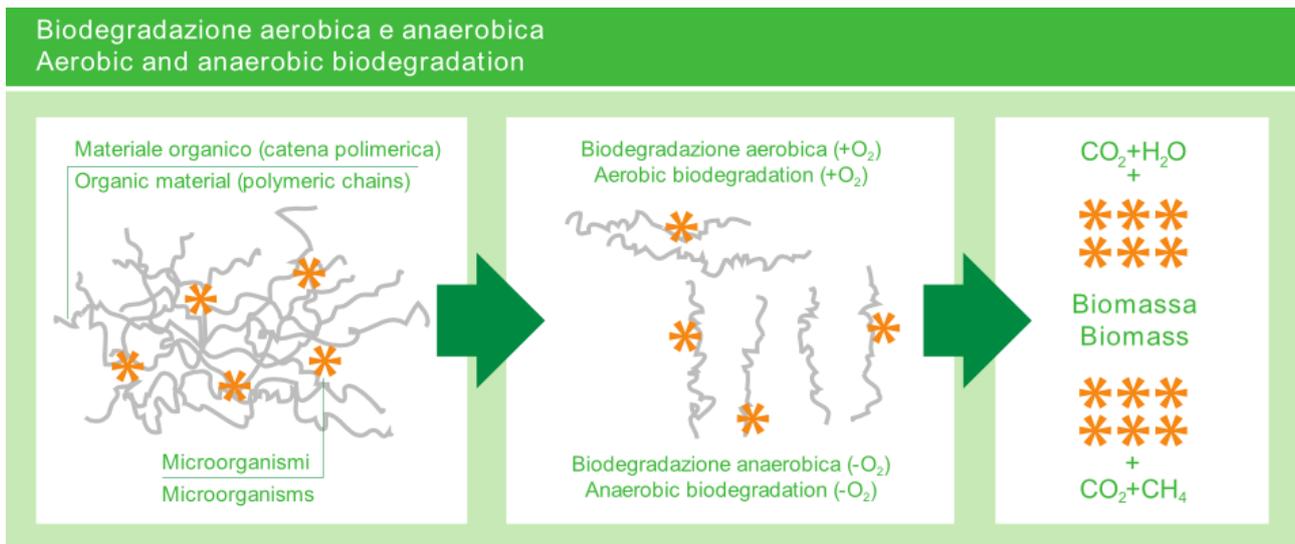


Figura 32. Schema biodegradazione

Pertanto, alla luce di quanto in precedenza esposto, le ipotesi da cui si è partiti per la valutazione del rischio specifico ambientale possono essere così schematizzate:



- a. Per la realizzazione dell'opera si prevede di scavare parti di galleria con tecnologia EPB, il che presuppone il condizionamento dei materiali da scavare con aggiunta di additivi di natura chimica, fundamentalmente composti da "Tensioattivi";
- b. È previsto un "mix design" per il condizionamento dei materiali da scavare che consiste nell'aggiunta di determinati quantitativi di additivo in funzione delle caratteristiche geologiche dell'area da scavare e delle prestazioni che il materiale in uscita deve avere per potere essere allontanata dallo scavo;
- c. Nonostante la quasi totalità del materiale condizionato venga rimosso dalla fresa e gestito come Terra e Rocce da scavo, non si può escludere che il passaggio della TBM lasci intorno alla galleria una "corona" di terreno "condizionato";
- d. L'additivo (principalmente composto da tensioattivi) eventualmente presente nella "corona" di terreno condizionato può diffondersi nell'ambiente circostante ed essere responsabile di una potenziale contaminazione delle acque di falda;
- e. Le acque di falda, contaminate dalla presenza di tensioattivi, possono trasportare il contaminante fino ad un POC (Punto di Conformità), come ad esempio un pozzo le cui acque vengono utilizzate a **scopo irriguo** od **idropotabile**;
- f. Non è presente nella *Tabella 2, Allegato V parte IV del D.Lgs. 152/06 "Concentrazione Soglia di Contaminazione nelle acque sotterranee"* il parametro chimico direttamente connesso con l'additivo utilizzato;
- g. Non essendo presente nel "Database di Default" del software, in cui è implementata la banca dati ISS-INAIL 2015, una voce relativa ai contaminanti indicatori degli additivi utilizzati (Tensioattivi), è stato necessario reperirne alcune caratteristiche quali biodegradabilità, solubilità,  $K_{oc}$ , costante di Henry, etc. ed inserirle nella banca dati del software.

Dal modello concettuale realizzato sulle ipotesi indicate è stato possibile definire una serie di condizioni, tra le quali sono state scelte **sempre le più conservative** nei confronti dell'ambiente, che hanno permesso di modellizzare il comportamento del contaminante.

**Tra le ipotesi valutate, la più conservativa è stata quella di considerare l'immissione del contaminante direttamente in falda.**



Evoluzione nel tempo delle concentrazioni di additivo

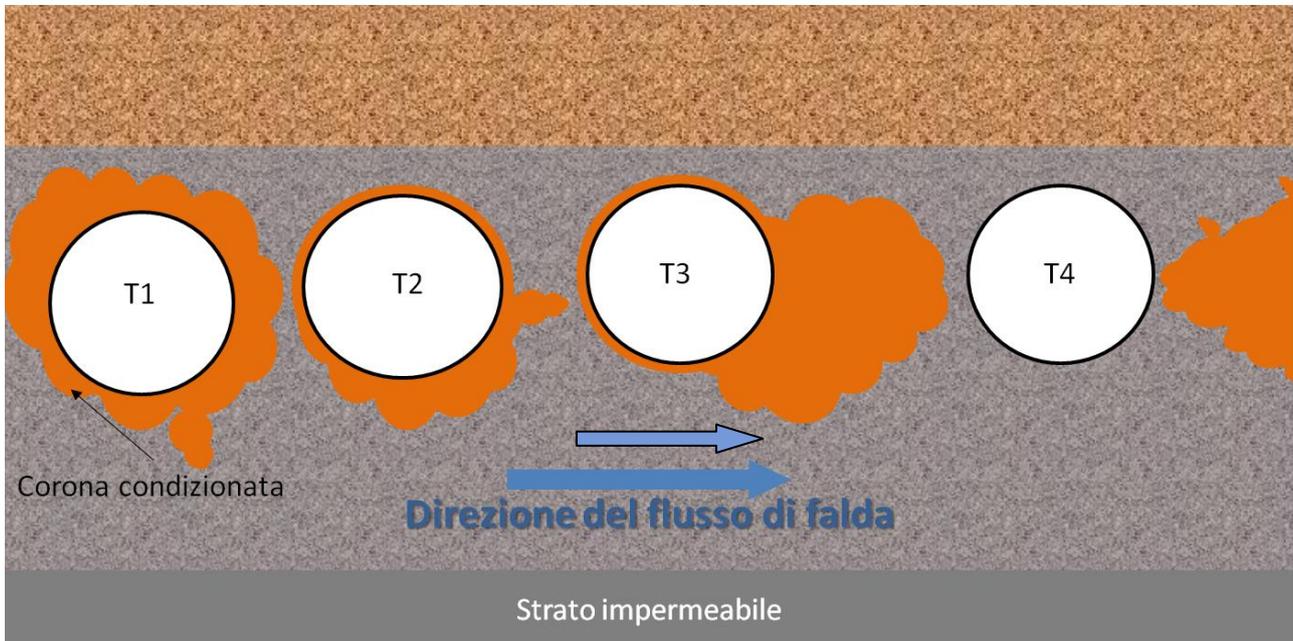


Figura 33. Schema concettuale di partenza con evidenza del terreno condizionato a coronamento della galleria dal quale si origina la migrazione del contaminante

## 8.2. GN Cefalù - Caratterizzazione del sito

La Caratterizzazione del Sito (*Site assessment*) è mirata alla rappresentazione dell'interazione tra lo stato di contaminazione del sottosuolo e l'ambiente naturale e/o costruito, costituendo pertanto la base per l'applicazione della Valutazione del Rischio che ha l'obiettivo di verificare gli scenari di esposizione in esso definiti.

La Caratterizzazione del Sito include:

- le caratteristiche specifiche del sito in termini di stato delle potenziali fonti della contaminazione (attive, non attive, in sicurezza, ecc.);
- grado ed estensione della potenziale contaminazione del suolo, del sottosuolo, delle acque superficiali e sotterranee del sito e dell'ambiente da questo influenzato;
- percorsi di migrazione dalle sorgenti di contaminazione ai bersagli individuati nei vari scenari ipotizzati.

La formulazione della Caratterizzazione del Sito si è basata principalmente sull'acquisizione delle seguenti informazioni:



- Storia del sito;
- Concentrazioni previste degli “inquinanti”;
- Tecniche di scavo in EPB;
- Modalità costruttive dell’opera;
- *Mix design* dei prodotti utilizzati per lo scavo EPB;
- Potenziali percorsi di migrazione;
- Potenziali bersagli/recettori;
- Caratteristiche geologiche ed idrogeologiche.

### 8.3. GN Cefalù - Modello Concettuale del Sito

Partendo dai dati a disposizione per il sito oggetto di studio si è proceduto alla costruzione del Modello Concettuale definitivo del Sito (MCS) mediante la definizione dei rapporti tra la sorgente della potenziale contaminazione, le possibili vie di trasporto e i possibili bersagli esposti alla contaminazione.

#### 8.3.1. GN Cefalù - Sorgenti

Nella complessiva area oggetto della Valutazione di Rischio l’immissione di additivi per il condizionamento del materiale da scavare si è configurata quale unica **fonte di contaminazione primaria**.

Per quanto concerne le **fonti di contaminazione secondarie** possono essere considerate tali i terreni condizionati con i tensioattivi che resterebbero in sito come corona dello scavo e le acque sotterranee contaminate dagli stessi prodotti, qualora lo scavo avvenga direttamente a quota di falda.

Poiché quest’ultimo caso rappresenta proprio lo scenario peggiore, a scopo cautelativo, si è scelto di condurre tutte le simulazioni relative allo scavo con TBM considerando l’immissione direttamente in falda. Tale ipotesi fa sì che non venga considerato alcun fenomeno di attenuazione dovuto alla presenza di terreno, fatta eccezione della naturale biodegradazione a cui il prodotto è soggetto.



### 8.3.2. GN Cefalù - Vie d'esposizione

La diffusione della contaminazione, dalle "ipotetiche" sorgenti primarie e/o secondarie individuate verso le matrici ambientali circostanti, può avvenire attraverso i seguenti meccanismi:

- rilascio della frazione idrosolubile mediante lisciviazione ad opera delle acque meteoriche che dalla superficie, attraversando i suoli contaminati, si caricano della frazione idrosolubile degli inquinanti presenti e si spostano verticalmente, nella zona non satura, in direzione dell'acquifero (per i siti di destinazione finale);
- trasporto della frazione idrosolubile nella parte satura dell'acquifero a causa del deflusso delle acque sotterranee secondo i meccanismi di diffusione molecolare advezione e dispersione meccanica;
- ruscellamento superficiale delle acque meteoriche (per i siti di destinazione finale).

Di fatto, in accordo al **punto 7** della "**Determina**" del MATT trasmessa con nota protocollo DVADEC-2015-0000206 del 22 giugno 2015, essendo presente come bersaglio la sola falda, l'unico percorso di attivazione considerabile è la lisciviazione/trasporto in falda

### 8.3.3. GN Cefalù - Bersagli

Per le fasi di scavo della galleria con l'impiego della TBM il potenziale bersaglio dell'inquinamento è rappresentato unicamente dalla falda che sta a diretto contatto con il terreno condizionato o sotto di esso. Per ciò che concerne le acque di falda bersaglio delle fasi di scavo con TBM, in particolare, si è scelto di porre il Punto di Conformità (PoC) in corrispondenza del pozzo più vicino all'asse della galleria, il quale è risultato essere il pozzo denominato "P2", sito ad una distanza di circa 55 m in linea d'aria dal tratto 1 della galleria:



Denominazione pozzo	Tipologia	Profondità livello statico	Distanza dalla galleria	Tratto galleria
P2	Trivellato a mano	7 m dal p.c.	55 m	Tratto 1

Di seguito è riportata la schematizzazione del Modello Concettuale elaborato per la Galleria Cefalù, nello stesso layout di output del software Risk-net 2.0:

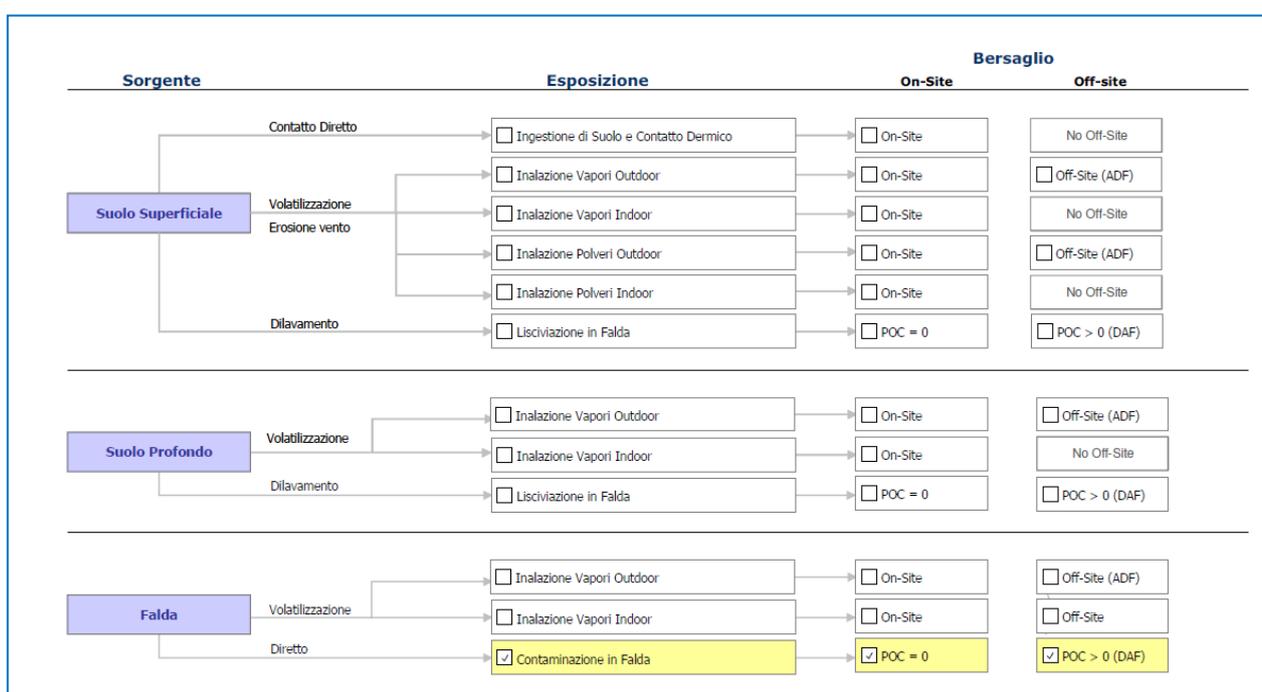


Figura 34. Modello Concettuale relativo al caso di studio attinente la Galleria Cefalù, redatto con il Software Risk-net

#### 8.4. GN Cefalù - Selezione dei contaminanti

I potenziali contaminanti sono rappresentati dai tensioattivi contenuti nei prodotti utilizzati per condizionare il terreno da scavare.

Poiché, come già argomentato in alcune parti del documento, nel “Database di Default” del software in cui è implementata la banca dati ISS-INAIL 2015, non è presente nessuna voce relativa ai contaminanti indicatori degli additivi utilizzati (Tensioattivi), si è proceduto all’implementazione manuale del citato database. Si è provveduto, quindi, all’inserimento



del parametro “*Tensioattivi*” con tutti i dati necessari a simularne, nel modo più verosimile, il comportamento nell’ambiente.

I parametri oggetto di inserimento nel database sono:

- Peso Molecolare;
- Solubilità;
- Pressione di Vapore;
- Costante di Henry;
- $K_{oc}$ ;
- $\log K_{ow}$ ;
- Coefficiente di diffusione in acqua;
- Costante di biodegradazione;

I valori relativi a Peso Molecolare, Pressione di Vapore, costante di Henry,  $K_{oc}$  e  $\log K_{ow}$  sono stati estratti dall’*Open Chemistry Database della PubChem* (U.S. National Institute of Health) e sono relativi al composto Sodium Dodecyl Sulfate ( $C_{12}H_{25}NaO_4S$ ), il tensioattivo maggiormente presente nei prodotti utilizzati e, oltretutto, quello più mobile (e quindi potenzialmente più pericoloso per la falda) in quanto quello col peso molecolare più basso.

Il coefficiente di diffusione in acqua è stato fornito da MAPEI, calcolato sulla base della relazione di Hayduk-Laudie [Am. Inst. Chem. Eng. J., 20, 611 (1974)] link: <http://wwwdisc.chimica.unipd.it/diego.frezzato/pubblica/STAm/Cap6.pdf>.

il valore relativo alla costante di biodegradazione è stato calcolato a partire dallo studio della biodegradabilità effettuato sul prodotto dall’*Hygiene Institut des Ruhrgebiets* su richiesta della stessa MAPEI, produttrice dell’additivo.

È importante sottolineare che il valore della costante di biodegradazione ottenuto dallo studio dell’*Hygiene Institut des Ruhrgebiets* è risultato pressoché identico a quello riportato su uno studio di un altro produttore su un condizionante del tutto analogo a quelli utilizzati per il condizionamento dei terreni della GN Cefalù (*Use of MEYCO Fix SLF in tunnel construction*).



Tabella 10 . Parametri specifici utilizzati per l'aggiornamento del database e la caratterizzazione del contaminate da fare risalire alla categoria dei tensioattivi

Parametro	u.m.	Valore
Peso Molecolare	g/mole	288,4
Solubilità	mg/l	2,80E+05
Pressione di vapore	mm Hg	4,7*E-13
Costante di Henry	adim.	1,00E-07
Koc	mg/kg/mg/l	3,20E+03
log Kow	adim.	1,6
Coeff. di diff. in acqua	cm <sup>2</sup> /sec	5,50*E-8
Cost. di biod.	1/giorni	0,048
CSC falda	mg/l	0,04

Infine il valore della CSC *falda* è stato posto pari a 40 mg/l, ovvero, pari al valore più restrittivo delle concentrazioni soglia di non effetto (NOEC) determinati dalla sperimentazione eseguita dall'Istituto Mario Negri.

Finalità di tale assunzione (CSC falda) è stata **unicamente** quella di avere un valore di confronto/riferimento, significativamente conservativo, con le C<sub>POC</sub> definite con il software.

## 8.5. GN Cefalù - Definizione delle CRS

Le CRS, Concentrazioni Rappresentative del Sito, sono state fissate in funzione del mix design stabilito per i terreni oggetto di scavo.

Per ciò che concerne il caso di studio relativo alla GN Cefalù, il valore di concentrazione nelle acque di falda è stato fissato, in modo cautelativo, esattamente pari a quello della soluzione che viene iniettata in testa alla TBM. Considerando che la soluzione è composta da acqua con il 2% di prodotto, e che nel prodotto è presente un massimo di tensioattivo pari al 20% del totale, si è scelto di porre la concentrazione di partenza dei tensioattivi nelle acque di falda a contatto con la galleria pari a 4.000 mg/l.

Tale assunto deriva dalla valutazione quantitativa del prodotto condizionante MAPEI ECO100 eseguita dall'Istituto Mario Negri, tuttavia, si evidenzia che nelle prove eseguite dell'istituto Mario Negri la concentrazione massima registrata è stata di poco superiore al 10%, confermando che il valore di 4.000 mg/l è **estremamente cautelativo**.



## 8.6. GN Cefalù - Recettori

Poiché il software chiede l'inserimento della tipologia di recettori presenti (adulti residenti, bambini residenti, adulti lavoratori), è stata indicata la presenza di residenti, sia adulti che bambini (Adjusted); in realtà, poiché nel presente lavoro la valutazione del rischio è riferita al solo bersaglio falda, tale indicazione ai fini del calcolo è sostanzialmente ininfluente.

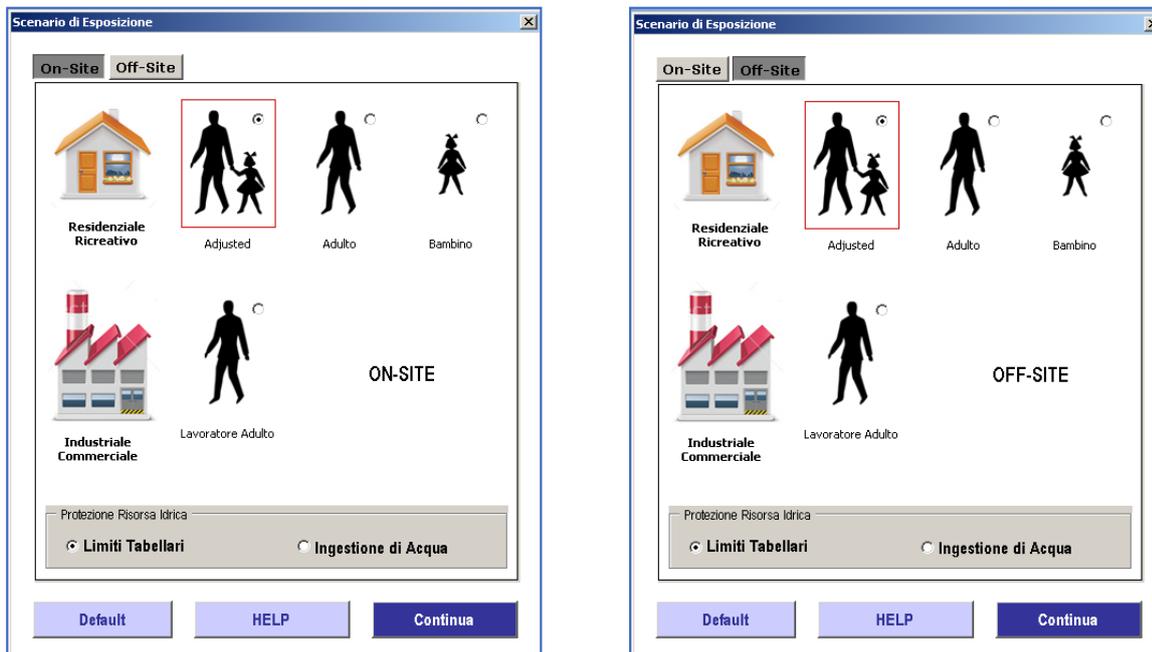


Figura 35: Schermate del software Risknet riferite allo scenario di esposizione (recettori)

## 8.7. GN Cefalù - Parametri di esposizione

Per ciò che concerne i parametri d'esposizione (peso corporeo, durata di esposizione sostanze cancerogene e non cancerogene, frequenza di esposizione, etc.), vale quanto detto al paragrafo precedente, relativo ai recettori; vista la loro ininfluenza ai fini del presente calcolo, sono stati lasciati invariati i valori di *default* e bibliografici indicati da ISPRA.



**VALUTAZIONE DEL RISCHIO SPECIFICO AMBIENTALE**  
**RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA**  
**(Ai sensi del D.Lgs 152/2006)**

Parametri di esposizione	Simbolo	Unita di misura	Residenziale (o Ricreativo)		Industriale	Residenziale (o Ricreativo)		Industriale
			Adulto	Bambino	Adulto	Adulto	Bambino	Adulto
<b>Parametri Generali</b>								
			<b>On-Site</b>			<b>Off-Site</b>		
Peso corporeo	BW	kg	70	15	70	70	15	70
Durata di esposizione sostanze cancerogene	ATc	anni	70			70		
Durata di esposizione sostanze non cancerogene	ED	anni	24	6	25	24	6	25
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	250	350	350	250
<b>Ingestione di suolo</b>								
Frazione di suolo ingerita	FI	adim	1,0	1,0	1,0	NA	NA	NA
Tasso di ingestione di suolo	IR	mg/giorno	100,0	200,0	50,0	NA	NA	NA
<b>Contatto dermico con suolo</b>								
Superficie di pelle esposta	SA	cm <sup>2</sup>	5700,0	2800,0	3300,0	NA	NA	NA
Fattore di aderenza dermica del suolo	AF	mg/cm <sup>2</sup> /giorno	0,07	0,20	0,20	NA	NA	NA
<b>Inalazione di aria outdoor</b>								
Frequenza giornaliera di esposizione (c)	EFgo	ore/giorno	24	24	8	24	24	8
Inalazione outdoor (a):(b)	Bo	m <sup>3</sup> /ora	0,9	0,7	2,5	0,9	0,7	2,5
Frazione di particelle di suolo nella polvere	Fsd	adim	1,0			1,0		
<b>Inalazione di aria indoor</b>								
Frequenza giornaliera di esposizione	EFgi	ore/giorno	24	24	8	24	24	8
Inalazione indoor (b)	Bi	m <sup>3</sup> /ora	0,9	0,7	0,9	0,9	0,7	0,9
Frazione indoor di polvere all'aperto	Fi	adim	1,0			1,0		
<b>Ingestione di acqua potabile</b>								
Tasso di ingestione di acqua	IRw	L/giorno	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0

(a) In caso di intensa attività fisica, in ambienti residenziali outdoor si suggerisce l'utilizzo di un valore maggiormente conservativo, pari a 1,5 m<sup>3</sup>/ora per gli adulti, e di 1,0 m<sup>3</sup>/ora per i bambini.

(b) Per l'ambito commerciale/industriale si suggerisce di utilizzare nel caso di dura attività fisica un valore pari a 2,5 m<sup>3</sup>/ora è da utilizzare mentre, nel caso di attività moderata e sedentaria è più opportuno utilizzare un valore rispettivamente pari a 1,5 e 0,9 m<sup>3</sup>/ora. Per un ambito ricreativo le linee guida suggeriscono come valori di inalazione outdoor 3,2 m<sup>3</sup>/ora e 1,9 m<sup>3</sup>/ora per un adulto e per bambino, rispettivamente.

(c) Per un ambito ricreativo le linee guida ISPRA indicano una frequenza giornaliera di esposizione di 3 ore/giorno.

## 8.8. GN Cefalù - Caratteristiche del sito

Le "Caratteristiche del sito" consentono di tenere conto delle peculiarità sito-specifiche dei comparti ambientali esposti alla potenziale contaminazione.

I parametri necessari al software per il calcolo sono diversi a seconda dei casi studio; nei casi relativi alla Galleria Cefalù, essendo il potenziale contaminante presente già in falda (ipotesi cautelativa), i parametri richiesti sono:

- Relativamente al suolo insaturo:
  - pH del terreno;
  - Densità del suolo;
  - Tessitura del terreno;
  - Piovosità;
  - Frazione areale di fratture outdoor.
- Relativamente alla falda:
  - Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda;
  - Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda;
  - Spessore acquifero;
  - Tessitura del terreno;
  - Gradiente idraulico;



- Frazione di carbonio organico;
- Distanza dal POC.

Per quanto riguarda i **parametri relativi al suolo** (pH, densità, tessitura, frazione di carbonio organico) si è fatto riferimento ai dati provenienti dalle indagini geologiche allegato al progetto; questi dati, evidentemente, possono variare in funzione delle caratteristiche sito-specifiche di ogni area oggetto di studio.

Nella fattispecie la caratterizzazione della sorgente è stata definita per le seguenti formazioni geologiche/idrogeologiche:

- Depositi dei terrazzi fluviali e marini (Tm);
- Litofacies pelitico arenacea (FNaq);
- Litofacies quarzo arenitica (FNq);
- Litofacies siltitica (FNqs).

Per ciò che concerne la tessitura, la stessa è stata modificata inserendo, a seconda della formazione geologica, il terreno di riferimento più simile per permeabilità. In via cautelativa si è scelto di adottare come valore di permeabilità di riferimento il limite maggiore di ognuna delle formazioni:

- Tm → Loamy sand ( $5 \cdot 10^{-5}$  m/s);
- FNaq → Sandy loam ( $10^{-5}$  m/s);
- FNq → Sandy loam ( $10^{-5}$  m/s);
- FNqs → Silty clay loam ( $2 \cdot 10^{-7}$  m/s);

La **piovosità** è quella media annua della zona (fonte: “*Climate-data.org*”), pari a circa 550 mm/anno.

### 8.8.1. GN Cefalù - Geometria della sorgente

Come scritto in precedenza, nel caso della Galleria Naturale Cefalù la sorgente è rappresentata dalla “corona” di terreno saturo additivato che potrebbe formarsi attorno alla galleria stessa per eccesso di dosaggio; considerato che lo scavo con TBM della Galleria viene effettuato in modalità EPB (quindi con utilizzo di additivi) in tre diversi tratti,



denominati 1, 5 e 8, si è scelto di circoscrivere il presente studio sul tratto più vicino al bersaglio individuato (pozzo "P2"), ovvero il tratto 1.

A causa dell'eterogeneità delle caratteristiche idrogeologiche che si incontrano lungo il tracciato si è scelto di uniformare tali caratteristiche scegliendo le **condizioni più cautelative** che vengono di seguito elencate:

- la posizione del piano di falda è stata considerata coincidente con la quota della direttrice superiore della galleria, in modo che l'intera sorgente fosse completamente immersa nella falda stessa;
- la falda è stata considerata limitata inferiormente dalla stessa quota della direttrice inferiore della galleria, in modo da minimizzare la potenza della falda e, di conseguenza, la dispersione del contaminante (le concentrazioni risultanti sono così maggiori, quindi, più conservative);
- la direzione di falda, data l'eterogeneità dell'idrologia e delle formazioni geologiche attraversate, è stata considerata per semplicità perpendicolare allo sviluppo della galleria e diretta verso il bersaglio (Pozzo P2);
- l'estensione della sorgente è stata considerata, in lunghezza, pari a quella del tratto 1 e, in larghezza, pari allo spessore di 2 metri (il doppio dello spessore preso in considerazione per ciascuna corona in relazione alle due canne da realizzare); quest'ulteriore semplificazione è stata resa necessaria dall'impossibilità, da parte del software, di modellizzare una sorgente con una forma tridimensionale cava (cilindro cavo nel caso specifico), semplificazione che, tuttavia, non modifica nella sostanza quelle che sono le risultanze del presente studio.

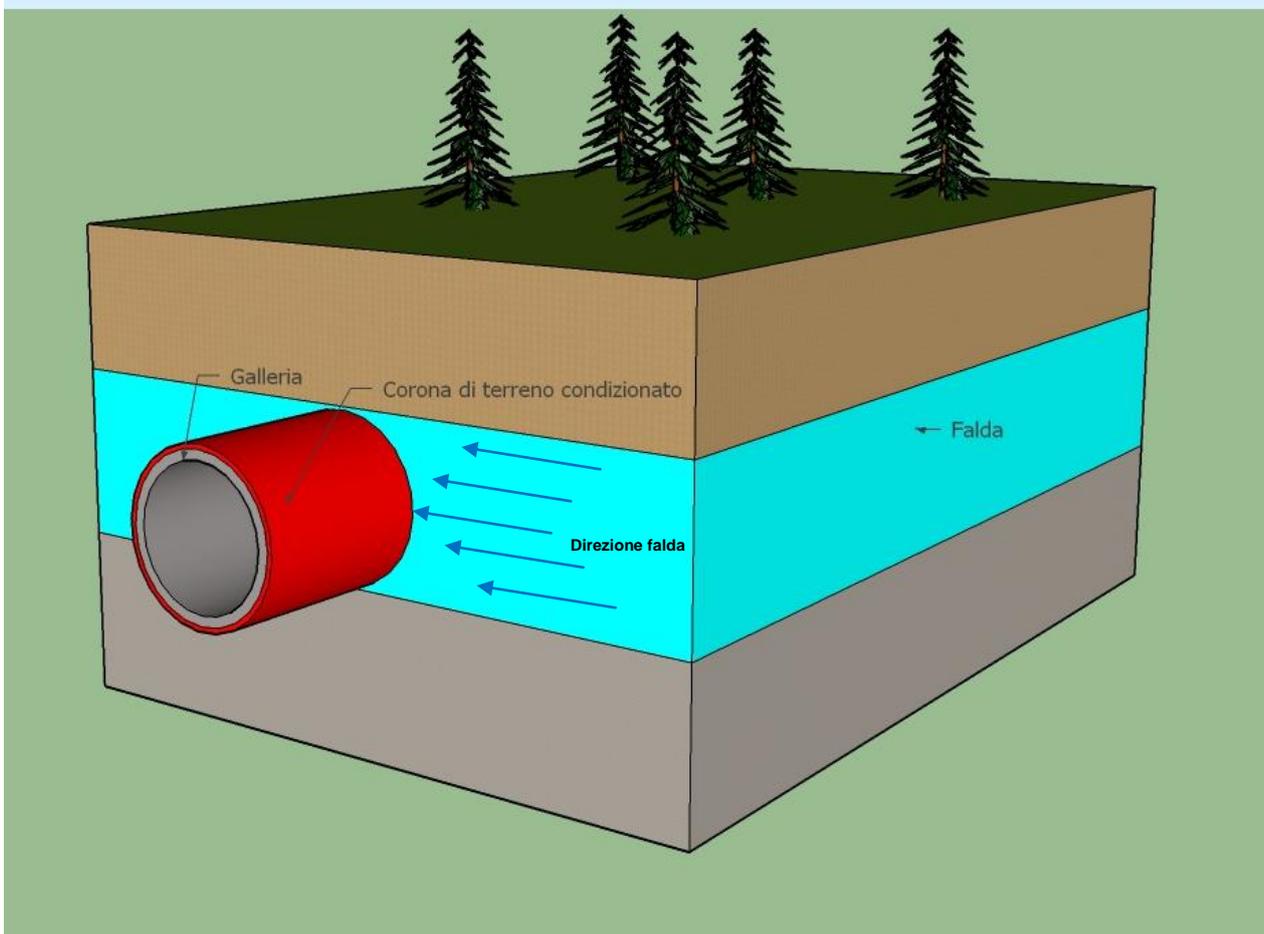


Figura 36. Schematizzazione della falda nei casi studio della GN Cefalù

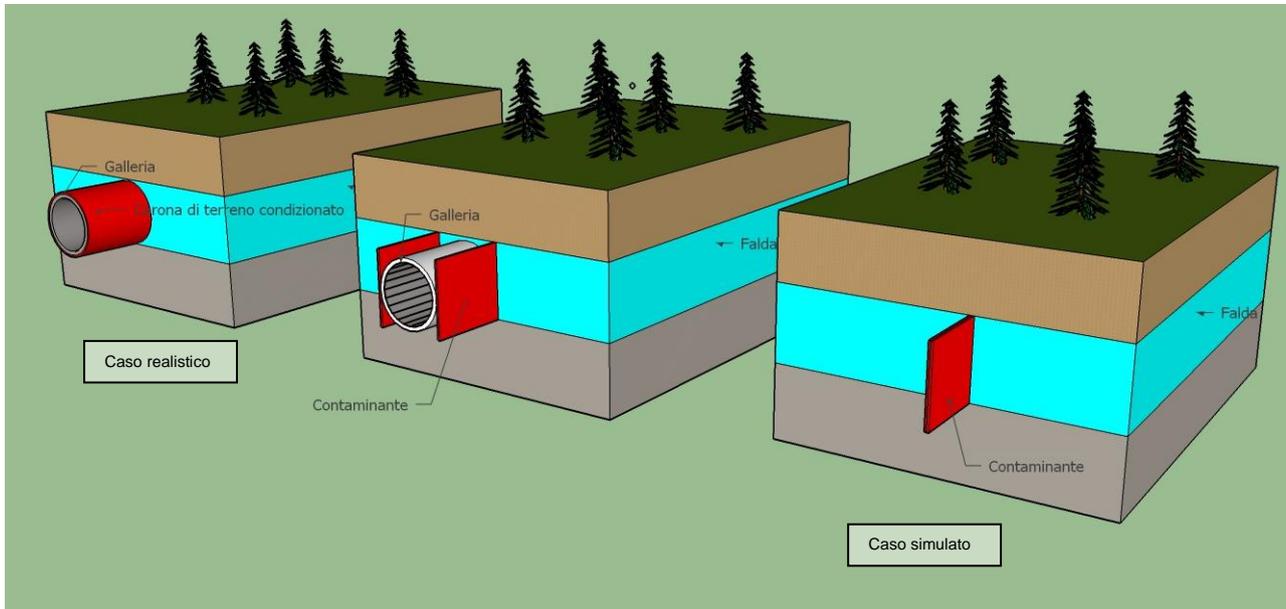


Figura 37: Semplificazione della geometria della sorgente

- I. Nella figura a sinistra è riportata la configurazione realistica della sorgente che è rappresentata da un cilindro cavo di circa 50 cm di spessore.
- II. Nella figura centrale la corona viene proiettata su un piano ortogonale alla direzione del flusso di falda;
- III. I due piani, adesso tangenti al cilindro iniziale, vengono affiancati a formare un unico piano dello spessore di 1 metro, con altezza pari al cavo della galleria e lunghezza pari all'intero tratto scavato in EPB.

Atteso che il progetto prevede la realizzazione di due canne, per la definizione della geometria della sorgente il ragionamento va duplicato per entrambe le canne. Anche questa assunzione si pone quale aspetto fortemente conservativo, in quanto, le due canne saranno realizzate in momenti diversi.



## 8.8.2. GN Cefalù - Dati di input

Il caso studio 1 è riferito al tratto 1 della GN Cefalù, con ipotesi di flusso di falda perpendicolare allo sviluppo della galleria:

Caso Studio	Ubicazione	L tratto [m]	Direzione falda	Biodegradazione	Distanza bersaglio
1	GN Cefalù – T1	371	PERPENDICOLARE	SI	55 m

A seguire vengono riportati tutti i dati di input utilizzati per la simulazione.

Zona Insatura		U.M.	Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
$L_s$ (SS)	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	m	0	0	0,0	ok
$L_s$ (SP)	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	m	1	1	10,0	ok
$d$	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	m	1	1	1,0	ok
$d_s$	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	m	2	2	11,0	ok
$L_{GW}$	Profondità del piano di falda	m	3	3	10,0	ok
$h_v$	Spessore della zona insatura	m	2,812	2,95	9,812	ok
$f_{oc, SS}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo superficiale	g-C/g-suolo	0,01	0,01	0,01	ok
$f_{oc, SP}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo profondo	g-C/g-suolo	0,01	0,01	0,01	ok
$t_{LF}$	Tempo medio di durata del lisciviato	anni	30	30	30,0	ok
$pH$	pH	adim.	6,8	6,8	6,8	ok
$\rho_s$	Densità del suolo	g/cm <sup>3</sup>	1,7	1,7	1,7	ok
$\theta_a$	Porosità efficace del terreno in zona insatura	adim.	Selezione Tessitura		0,353	ok
$\theta_w$	Contenuto volumetrico di acqua	adim.	LOAMY SAND		0,103	ok
$\theta_a$	Contenuto volumetrico di aria	adim.	<input type="checkbox"/> Lente tra sorgente e p.c.		0,25	ok
$\theta_{wcap}$	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.	Tessitura selezionata: LOAMY SAND		0,318	ok
$\theta_{acap}$	Contenuto volumetrico di aria nelle frangia capillare	adim.			0,035	ok
$h_{cap}$	Spessore frangia capillare	m			0,188	ok
$I_{ef}$	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	5,45E+00	ok
$P$	Piuvosità	cm/anno	---	---	55,0	ok
$\Pi_{outdoor}$	Frazione areale di fratture outdoor (solo per liscivazione)	adim.	1	1	1,0	ok

Zona Saturata			Default ISPRA	Default ASTM	Valore	Check
$W$	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	m	45	45	371,0	ok
$S_w$	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	m	45	45	2,0	ok
$d_a$	Spessore acquifero	m	---	---	11,0	ok
$K_{sat}$	Conducibilità idraulica del terreno saturo	m/s	LOAMY SAND		4,05E-05	ok
$i$	Gradiente idraulico	adim.	---	---	0,01	ok
$v_{gw}$	Velocità di Darcy	m/s	7,90E-07	---	4,05E-07	ok
$v_e$	Velocità media effettiva nella falda	m/s	2,20E-06	2,20E-06	1,15E-06	ok
$\theta_{e sat}$	Porosità efficace del terreno in zona saturata	adim.	0,353	0,353	0,353	ok
$f_{oc}$	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	0,001	0,001	0,001	ok
$POC$	Distanza recettore off site (DAF)	m	100	100	55,0	ok
$a_x$	Dispersività longitudinale	m	10		5,50E+00	ok
$a_y$	Dispersività trasversale	m	3,3	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolati	1,83E+00	ok
$a_z$	Dispersività verticale	m	0,5		2,75E-01	ok
$\delta_{gw}$	Spessore della zona di miscelazione in falda	m	2	<input checked="" type="checkbox"/> Calcolato	1,10E+01	ok
$LDF$	Fattore di diluizione in falda	adim.	---	---	7,95E+00	ok

Figura 38: Dati di input Caso studio 1 GN Cefalù -caratterizzazione del sito-



VALUTAZIONE DEL RISCHIO SPECIFICO AMBIENTALE  
RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA  
(Ai sensi del D.Lgs 152/2006)

#### Accettabilità

Target	Individuale	Cumulativo
Rischio	1E-6	1E-5
Indice di pericolo	1	1

#### Modello Concettuale

Vie di esposizione	On-Site	Off-Site
<b>Suolo Superficiale</b>		
Ingestione Suolo	---	NA
Contatto Dermico	---	NA
Inalazione Vapori Outdoor	---	---
Inalazione Polveri Outdoor	---	---
Inalazione Vapori Indoor	---	NA
Inalazione Polveri Indoor	---	NA
Lisciviazione In Falda	---	---
<b>Suolo Profondo</b>		
Lisciviazione in Falda	---	---
Inalazione Vapori Outdoor	---	---
Inalazione Vapori Indoor	---	NA
<b>Falda</b>		
Ingestione d'acqua / Risorsa Idrica	V	V
Inalazione Vapori Outdoor	---	---
Inalazione Vapori Indoor	---	---

#### Recettori / Ambito

Recettori	On-Site	Off-Site
Recettore	Res - Adjusted	Res - Adjusted
Bersaglio Falda	NA	Risorsa Idrica

Figura 39: Dati di input Caso studio 1 GN Cefalù -modello concettuale-



Parametri di Esposizione On-site	Unità di misura	Residenziale		Industriale
		Adulto	Bambino	Adulto
<b>ON-SITE</b>				
<b>Parametri Generali</b>				
Peso corporeo	kg	70	15	NA
Durata di esposizione sostanze cancerogene	anni	70		
Durata di esposizione sostanze non cancerogene	anni	24	6	NA
Frequenza di esposizione	giorni/anno	350	350	NA
<b>Ingestione di suolo</b>				
Frazione di suolo ingerita	adim	1	1	NA
Tasso di ingestione di suolo	mg/giorno	100	200	NA
<b>Contatto dermico con suolo</b>				
Superficie di pelle esposta	cm <sup>2</sup>	5700	2800	NA
Fattore di aderenza dermica del suolo	mg/cm <sup>2</sup> /giorno	0,07	0,2	NA
<b>Inalazione di aria outdoor</b>				
Frequenza giornaliera di esposizione (c)	ore/giorno	NA	NA	NA
Inalazione outdoor (a);(b)	m <sup>3</sup> /ora	NA	NA	NA
Frazione di particelle di suolo nella polvere	adim	NA		
<b>Inalazione di aria indoor</b>				
Frequenza giornaliera di esposizione	ore/giorno	NA	NA	NA
Inalazione indoor (b)	m <sup>3</sup> /ora	NA	NA	NA
Frazione indoor di polvere all'aperto	adim	1		
<b>Ingestione di acqua potabile</b>				
Tasso di ingestione di acqua	L/giorno	NA	NA	NA

Figura 40: Dati di input Caso studio 1 GN Cefalù -parametri di esposizione-



## 8.9. CASO 1 - GN Cefalù Risultanze dell'Analisi di Rischio

Dal form "Output intermedi" del software Risk-net è stato possibile visualizzare ed esportare i valori di concentrazione al transitorio, in funzione del tempo e dello spazio.

Nei casi in cui la biodegradabilità non viene tenuta in considerazione, Risk-net considera la sola diffusione del contaminante in falda, presentando, di conseguenza, valori di concentrazione via via crescenti nel tempo a parità di distanza.

Nel caso particolare del presente studio applicato alla Galleria Naturale Cefalù scavata con TBM in modalità EPB, come già detto, considerando i tempi di biodegradazione dei prodotti utilizzati per condizionare il fronte di scavo (concentrazione nel suolo ridotta di valori compresi tra l'80 ed il 90% rispetto al valore iniziale in un tempo di 28 giorni) si ritiene, oltre ogni ragionevole dubbio, che difficilmente si avrà traccia dei tensioattivi a distanza di 1 anno dalla sua iniezione nel terreno; per questo motivo si è scelto di valutare l'andamento della concentrazione nello spazio per fissato tempo  $t = 1$  anno. In questo modo è stato possibile ottenere delle "fotografie" dello stato di fatto a distanza di 1 anno dall'avvenuto scavo, con grafici che descrivono la concentrazione di tensioattivi nelle acque di falda in funzione della distanza dal punto di iniezione del prodotto nel terreno.

Come già accennato in precedenza, si sottolinea che i valori di concentrazione calcolati a  $t=1$  anno sono teorici, calcolati senza considerare in alcun modo la biodegradazione del contaminante.

I risultati dell'analisi di rischio sviluppata,

- secondo le ipotesi ampiamente descritte e argomentate nel documento;
- tenendo conto della sperimentazione condotta dall'Istituto di Ricerche Farmacologiche Mario Negri sul prodotto da utilizzare per il condizionamento, finalizzata alla valutazione della composizione chimica, dell'ecotossicità e dei parametri di biodegradazione;
- utilizzando parametri in ingresso severi e fortemente conservativi ai fini della tutela ambientale;



evidenziano che non vi è l'esistenza di "rischio associato" all'impiego dell'additivo MAPEI ECO100 per le acque sotterranee al punto di esposizione individuato (pozzo P2 distante circa 55 m in linea d'aria dal cavo del tratto di galleria scavato in EPB).

Tuttavia, in accordo al **punto 4** della "**Determina**" del MATTM trasmessa con nota protocollo DVADEC-2015-0000206 del 22 giugno 2015, è necessario predisporre un piano di monitoraggio lungo il tracciato degli scavi della galleria Cefalù che consenta un controllo sulla valutazione del rischio specifico ambientale per quanto riguarda la possibile contaminazione delle acque superficiali e di falda.

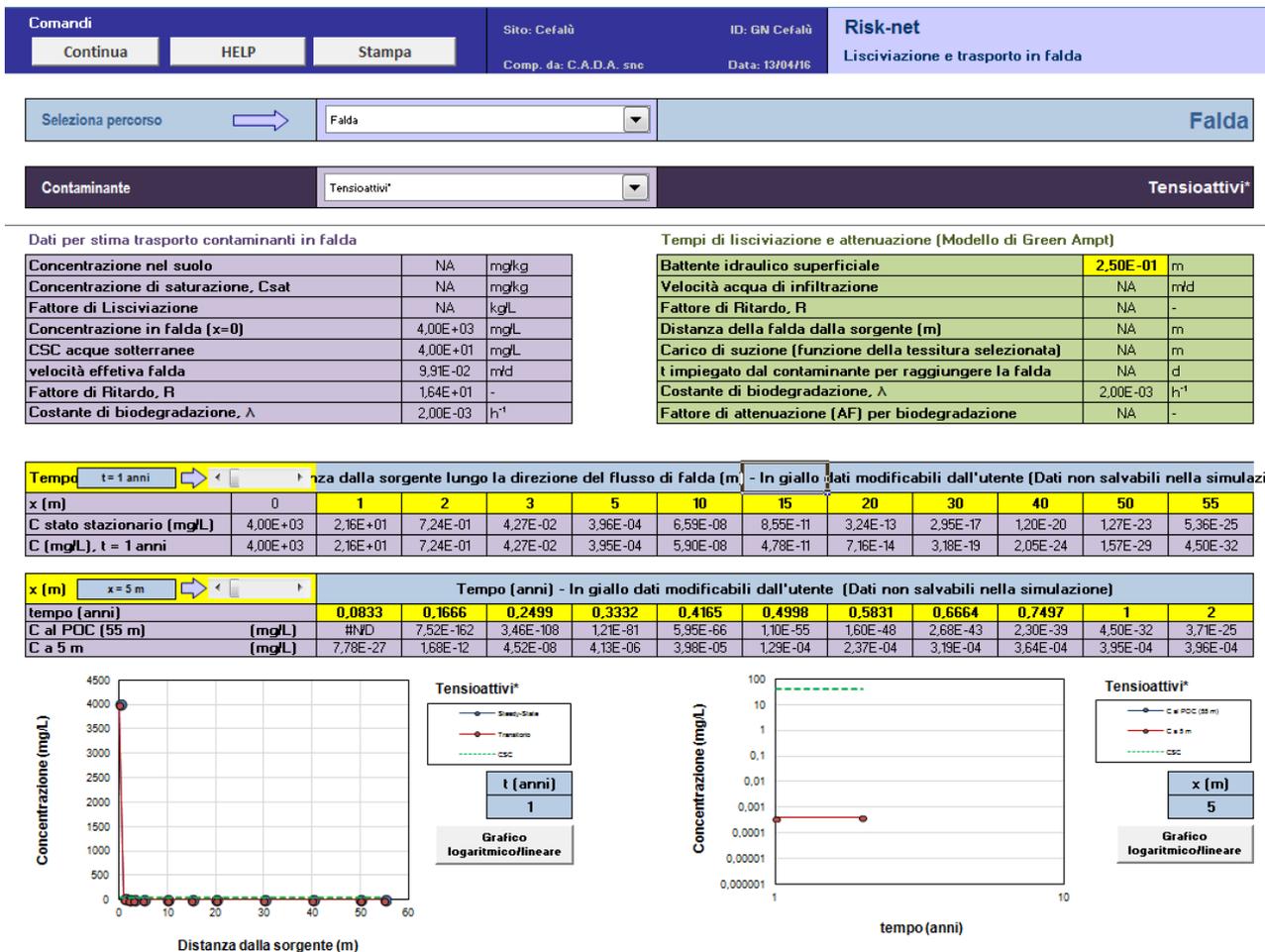


Figura 41. Output della simulazione



x (m)	1	2	3	5	10	15	20	30	40	50	55
C (mg/L), t = 1 anno	2,16E+01	7,24E-01	4,27E-02	3,96E-04	6,59E-08	8,55E-11	3,24E-13	2,95E-17	1,20E-20	1,27E-23	5,36E-25

Tabella 11: Valori di concentrazione di tensioattivi in funzione della distanza dalla galleria a t = 1 anno – Caso 1.

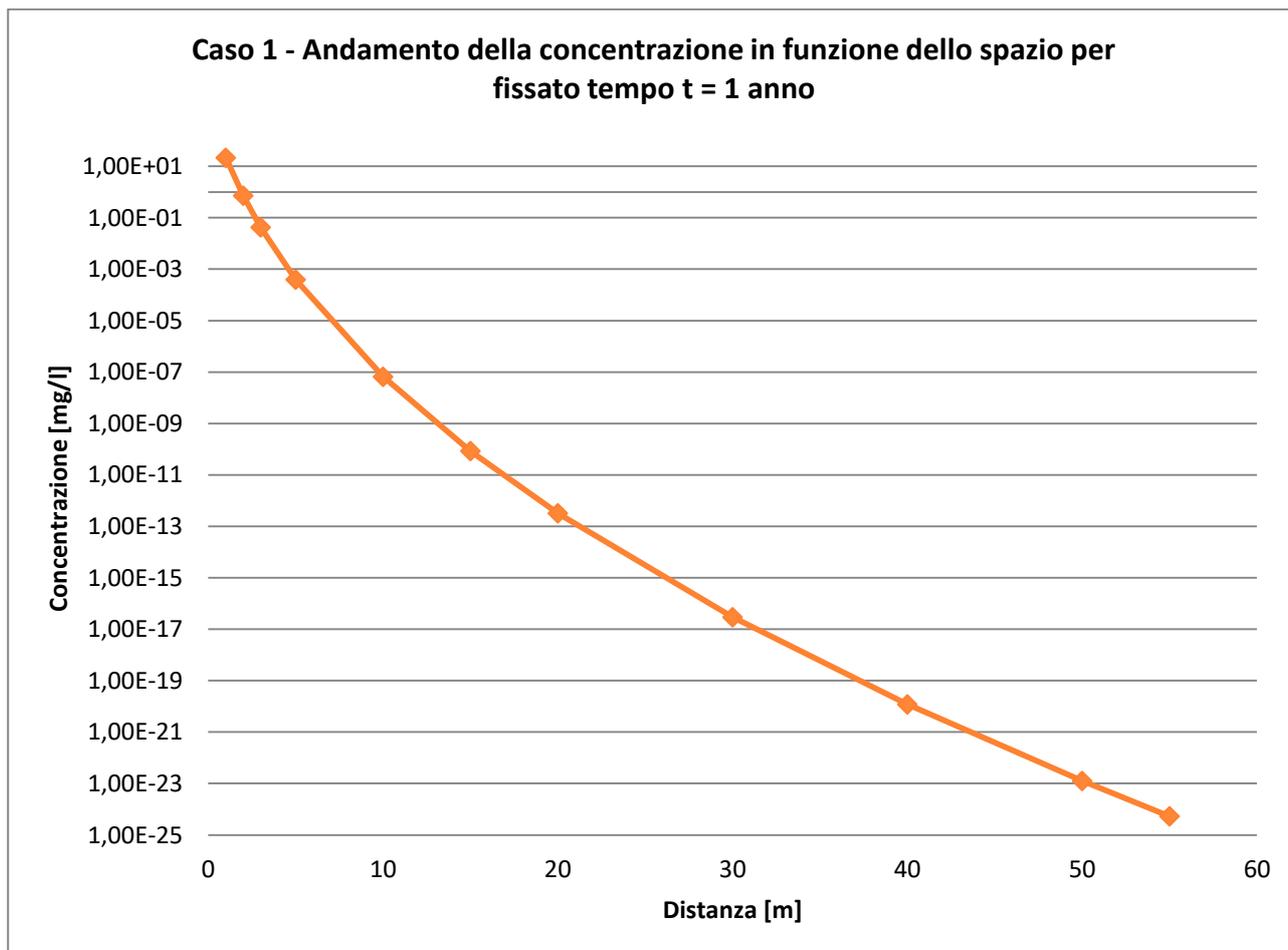


Figura 42: Andamento della concentrazione in funzione della distanza dalla galleria a t = 1 anno – Caso 1.



tempo (anni)	0,0833	0,1666	0,2499	0,3332	0,4165	0,4998	0,5831	0,6664	0,7497	1	2
C a 55m (mg/L)	//	7,52E-162	3,46E-108	1,21E-81	5,95E-66	1,10E-55	1,60E-48	2,68E-43	2,30E-39	4,50E-32	3,71E-25

Tabella 12: Valori di concentrazione di tensioattivi in funzione del tempo a distanza x = 55m (PoC) – Caso 1.

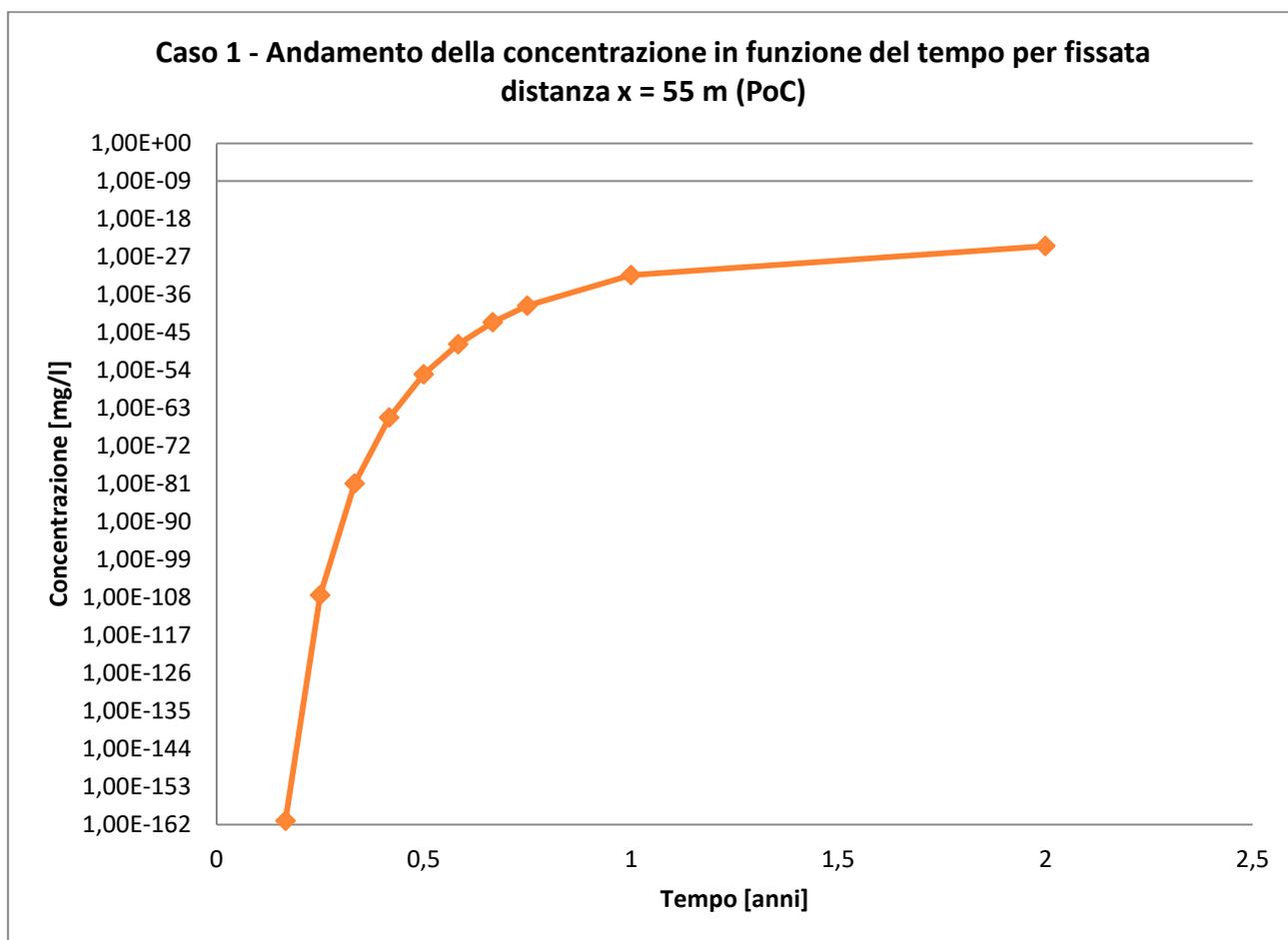


Figura 43: Andamento della concentrazione in funzione del tempo a distanza x = 55m (PoC) – Caso 1.



tempo (anni)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	2
C a 5m (mg/L)	7,78E-27	1,68E-12	4,52E-08	4,13E-06	3,98E-05	1,29E-04	2,37E-04	3,19E-04	3,64E-04	3,95E-04	3,96E-04

Tabella 13: Valori di concentrazione di tensioattivi in funzione del tempo a distanza x = 5m – Caso 1.

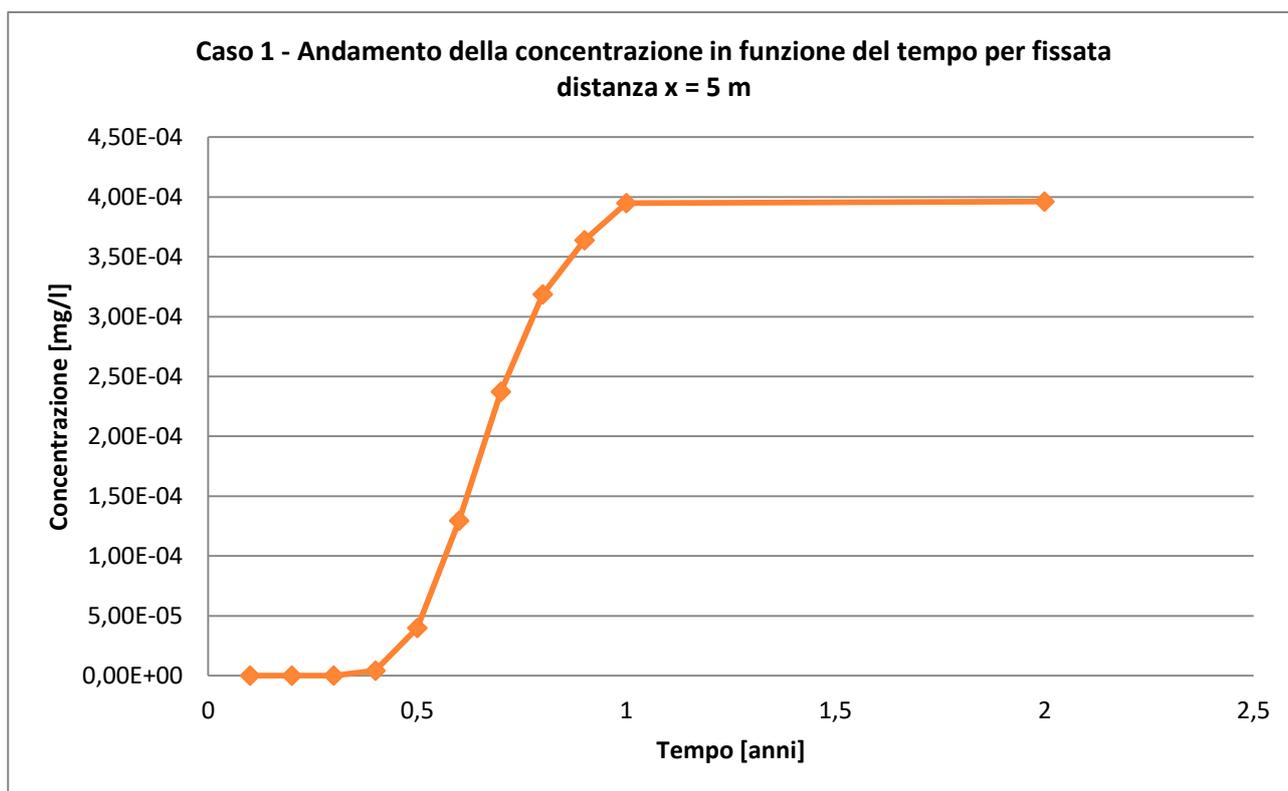


Figura 44: Andamento della concentrazione in funzione del tempo a distanza x = 5m – Caso 1.

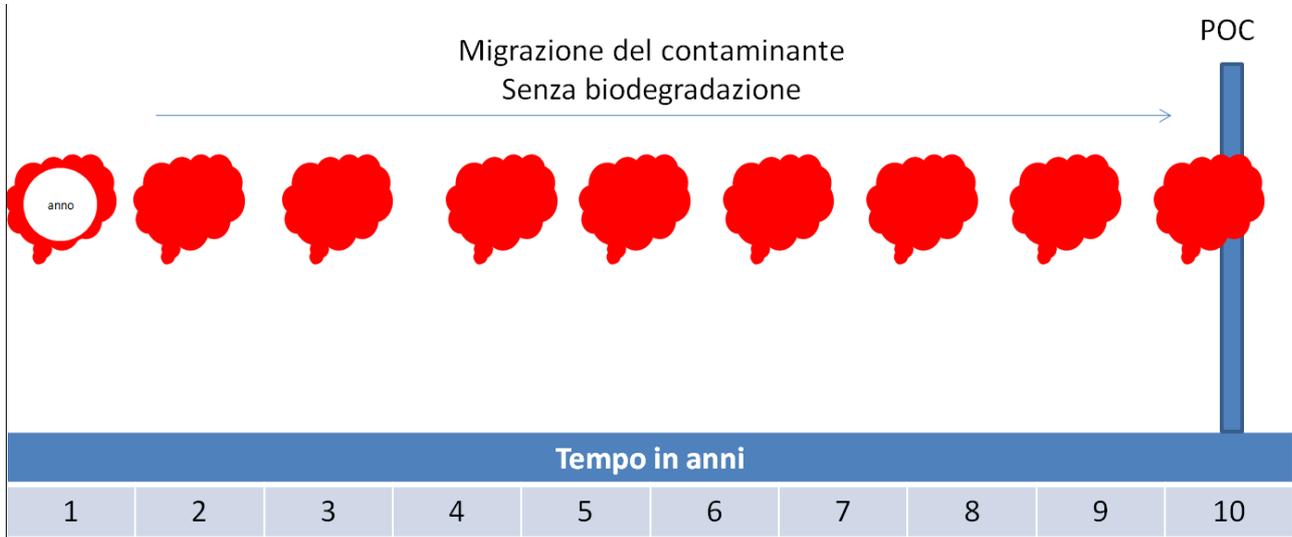


Figura 45. Esempio schematico ed ipotetico del comportamento del potenziale contaminante in falda in caso di biodegradazione nulla. Trasporto in direzione del flusso di falda e raggiungimento del bersaglio

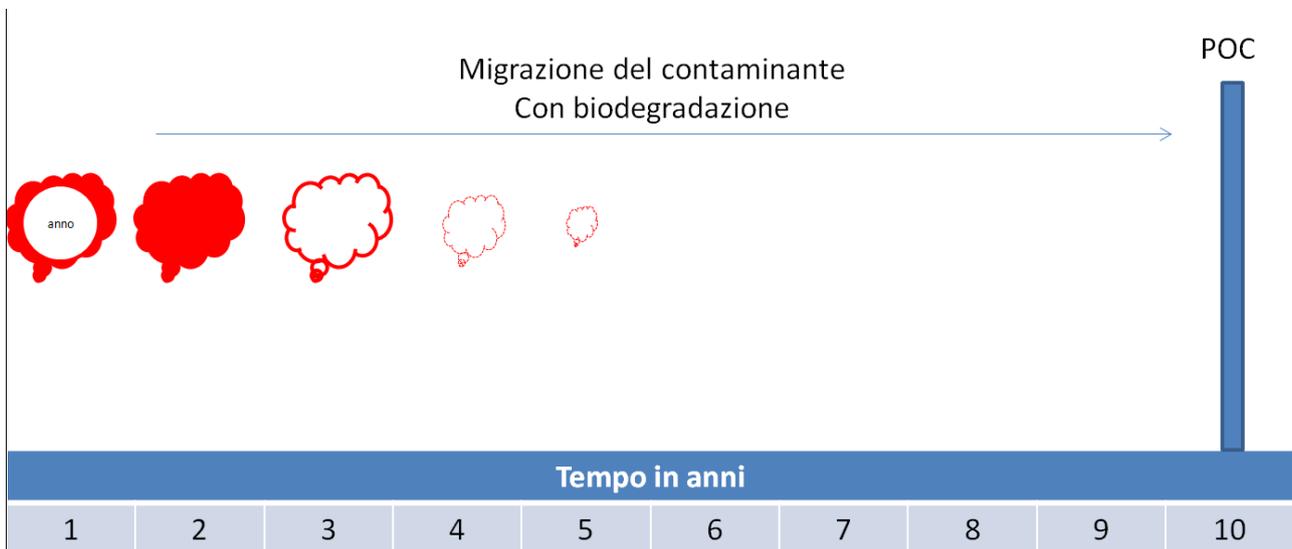


Figura 46. Esempio schematico ed ipotetico del comportamento del potenziale contaminante in falda valutando la specifica biodegradazione a cui è soggetto. Trasporto in direzione del flusso di falda e dissolvimento prima del raggiungimento del bersaglio



## 9. Caso 2: Siti di destinazione finale

### 9.1. Inquadramento territoriale dei siti

Nella tabella seguente sono riportati i siti di destinazione identificati in fase di progetto esecutivo come siti di destinazione finale per il riutilizzo dei materiali da scavo e, pertanto, inseriti nelle previsioni del Piano di Utilizzo.

Tabella 14. Elenco dei siti di destinazione

ID.	PROPRIETÀ	COMUNE	LOCALITÀ	STATO	AREA DI INTERVENTO	COORD E UTM 33S	COORD N UTM 33S	FUNZIONALITÀ
SITO 1	ROCCA SABECO S.r.l.	POLLINA	C/DA ROCCA LUPA	CAVA DISMESSA	49.900 mq	421631.91	4203121.46	Riempimento e riambientalizzazione dell'intera area tramite riutilizzo di terre e rocce da scavo (in col. A Tab. 1 All. 5 D.Lgs. 152/06)
SITO 2	SICILIANA LAMBERTINI S.r.l.	SCIARA	C/DA MURA PREGNE	CAVA DISMESSA	47.140 mq	391377.00	4200544.00	Riempimento e riambientalizzazione dell'area non destinata ad attività di recupero rifiuti in modalità R10, tramite riutilizzo di terre e rocce (in col. A Tab. 1 All. 5 D.Lgs. 152/06)
SITO 3	ROCCA SABECO S.r.l.	CEFALU'	C/DA SAN BIAGIO	CAVA ATTIVA	20.997 mq	412112.34	4206449.08	Riempimento e riambientalizzazione dei lotti dismessi tramite riutilizzo di terre e rocce (in col. A Tab. 1 All. 5 D.Lgs. 152/06)

Il primo sito della tabella, denominato **“Cava Roccalupa”**, è di proprietà della ditta Rocca Sabeco S.r.l. ed è localizzata nel comprensorio comunale di Pollina (PA), in C.da Roccalupa, ad una quota compresa tra 270 e 380 m s.l.m., alla distanza minima di circa 6 Km dalle opere di progetto. Il sito è compreso nella Carta Tecnica Regionale n. 610020.

Il secondo sito della tabella, denominato **“Cava Cerda”**, è di proprietà della ditta Siciliana Lambertini S.r.l. ed è localizzato in C.da Mura Pregne nel comprensorio comunale di Sciara (PA), ad una quota compresa tra 230 e 265 m s.l.m., alla distanza minima di circa 25 Km dalle opere progettuali. Il sito è compreso nelle Carte Tecniche Regionali n. 609060 e 609020.



Il terzo sito della tabella, denominato “**Cava San Biagio**”, è di proprietà della ditta Rocca Sabeco S.r.l. ed è localizzata nel comprensorio comunale di Cefalù (PA), in C.da San Biagio, ad una quota compresa tra 308 e 360 m s.l.m., alla distanza minima di circa 8 Km dalle opere di progetto. Il sito è compreso nelle Carte Tecniche Regionali n. 596160 e 597130. Per il dettaglio della caratterizzazione ambientale si rimanda dal documento n. RS2P20EZZRGIM0000012B.

### 9.1.1. Inquadramento urbanistico dei siti

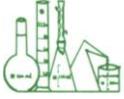
In merito ai tre siti individuati, il loro recupero ambientale ha come finalità ultima la restituzione dell'area oggetto di attività estrattiva ad usi compatibili con quelli preesistenti, sulla base dei progetti che saranno stati predisposti ed approvati.

Allo stato attuale i tre siti, come desunto dai relativi stralci dei vigenti PRG dei comuni di competenza (riportati nelle tavole di inquadramento territoriale allegate al PUT), ricadono all'interno di contesti inquadrati come verde agricolo e/o di interesse paesaggistico/archeologico.

In particolare:

- Sito 1 – Cava Roccalupa: ricadente in Zona E4 “Aree agricole di interesse paesaggistico o archeologico”
- Sito 2 – Cava Cerda: ricadente in “Zona Archeologica” adiacente a “Zona Agricola”;
- Sito 3 – Cava San Biagio: ricadente in Sottozona Q2 con destinazione d'uso “Verde agricolo”

Di conseguenza, le destinazioni d'uso dei siti, una volta completato il riempimento e la rinaturalizzazione, dovranno essere compatibili con quelle delle zone di PRG in cui essi ricadono ed i materiali in essi conferiti devono rispondere ai requisiti di qualità di cui alla Colonna A della Tabella 1 dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006.



## 9.2. Ipotesi di partenza per i casi di studio dei siti di destinazione finale

Nel caso dei siti destinati a recupero ambientale, come anticipato, la sorgente è rappresentata dal materiale da scavo abbancato all'interno delle cave stesse.

Per ogni sito di destinazione le ipotesi prese in considerazione per falda e sorgente, in modo da simularne lo scenario peggiore, sono state le seguenti:

- Tutto il materiale additivato destinato al sito viene conferito nella prima fase di riempimento della cava (materiale stoccato sul fondo, più vicino alla falda);
- Una volta terminato il conferimento di tutto il materiale additivato, il successivo conferimento di materiale non additivato proveniente dallo scavo viene sospeso per un lungo periodo (non viene posto altro materiale al di sopra a "schermare" il sottostante dal dilavamento).

Nel Piano di Utilizzo delle Terre, elaborato facente parte integrante del progetto, sono indicate le quantità complessive di materiale da scavo additivato destinato ad ognuno dei tre siti. A partire da questi dati, insieme alla geometria del sito di destinazione, è stato possibile calcolare la quota raggiungibile, a partire dal fondo, con l'abbancamento del materiale additivato, come indicato nello schema sottostante.

## 9.3. Siti di destinazione finale - Modello Concettuale del Sito

Partendo dai dati a disposizione per il sito oggetto di studio si è proceduto alla costruzione del Modello Concettuale definitivo del Sito (MCS) mediante la definizione dei rapporti tra la sorgente della potenziale contaminazione, le possibili vie di trasporto e i possibili bersagli esposti alla contaminazione.

### 9.3.1. Siti di destinazione finale - Sorgenti

Nella complessiva area oggetto della Valutazione di Rischio l'immissione di additivi per il condizionamento del materiale da scavare si è configurata quale unica **fonte di contaminazione primaria**.



Per quanto concerne le **fonti di contaminazione secondarie** possono essere considerate tali i terreni condizionati con i tensioattivi che saranno oggetto di conferimento presso i tre siti di utilizzo.

A scopo cautelativo si è scelto di condurre tutte le simulazioni prendendo in considerazione lo scenario peggiore.

Nello specifico sono state fatte le seguenti ipotesi:

- il materiale condizionato in uscita dalla TBM viene trasportato “tal quale” presso i siti di utilizzo al tempo zero;
- il materiale conferito presso il sito di utilizzo non ha subito alcun processo di “maturazione”, quindi di biodegradazione naturale;
- il materiale viene “abbancato” direttamente sul fondo della cava senza alcun setto di separazione tra il materiale condizionato e il fondo della cava stessa;
- non è stato considerato alcun fenomeno di biodegradazione naturale anche dopo le fasi di abbancamento.

Poiché queste condizioni rappresentano lo scenario peggiore, a scopo cautelativo, si è scelto di condurre tutte le simulazioni relative ai siti di destinazione finale alle condizioni sopra elencate.

### 9.3.2. Siti di destinazione finale - Vie d'esposizione

La diffusione della contaminazione dalle “ipotetiche” sorgenti primarie e/o secondarie individuate, verso le matrici ambientali circostanti, può avvenire attraverso i seguenti meccanismi:

- rilascio della frazione idrosolubile mediante lisciviazione ad opera delle acque meteoriche che dalla superficie, attraversando i suoli contaminati, si caricano della frazione idrosolubile degli inquinanti presenti e si spostano verticalmente, nella zona non satura, in direzione;
- trasporto della frazione idrosolubile nella parte satura dell'acquifero a causa del deflusso delle acque sotterranee secondo i meccanismi di diffusione molecolare advezione e dispersione meccanica;



- ruscellamento superficiale delle acque meteoriche;

Di fatto, in accordo al **punto 7** della “**Determina**” del MATT trasmessa con nota protocollo DVADEC-2015-0000206 del 22 giugno 2015, essendo presente come bersaglio la sola falda e le acque superficiali, in via del tutto cautelativa si è deciso di attivare anche il percorso di esposizione “**Ingestione di acqua**”

### 9.3.3. Siti di destinazioni finali - Bersagli

Per i siti di destinazione finale il potenziale bersaglio dell'inquinamento è rappresentato dalla falda e dalle acque superficiali. Per ciò che concerne le acque di falda si è scelto di porre il Punto di Conformità (PoC) interno al sito stesso (ipotesi maggiormente cautelativa):

Di seguito è riportata la schematizzazione del Modello Concettuale elaborato per tutti i siti di utilizzo, nello stesso layout di output del software Risk-net 2.0:

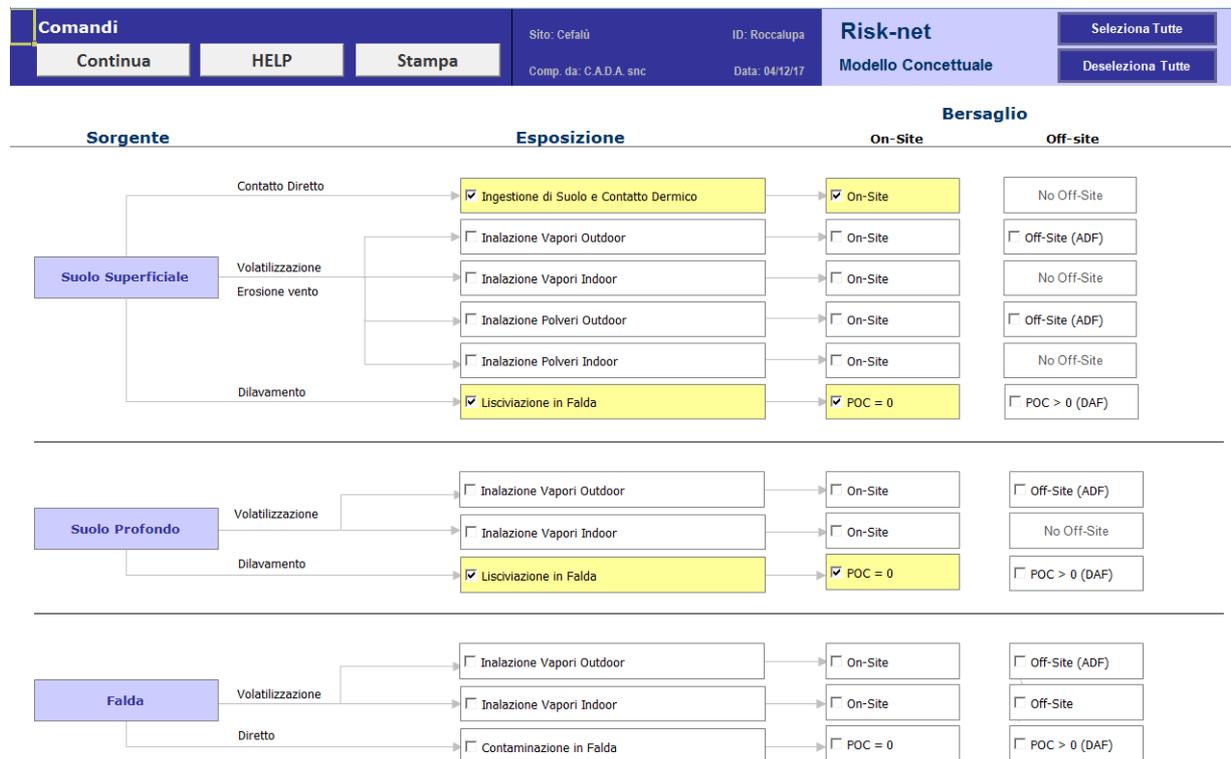


Figura 47. Modello Concettuale generale relativo ai casi di studio attinenti i siti di utilizzo. Tra le vie di esposizione sono stati attivati i percorsi “ingestione di suolo” e “lisciviazione in falda”

#### 9.4. Siti di utilizzo - Selezione dei contaminanti

Anche per i siti di utilizzo i potenziali contaminanti sono rappresentati dai tensioattivi contenuti nei prodotti utilizzati per condizionare il terreno da scavare.

Poiché, come già argomentato in alcune parti del documento, nel “Database di Default” del software in cui è implementata la banca dati ISS-INAIL 2015, non è presente nessuna voce relativa ai contaminanti indicatori degli additivi utilizzati (Tensioattivi), si è all’implementazione manuale del citato database. Si è provveduto quindi all’inserimento del parametro “Tensioattivi” con tutti i dati necessari a simularne, nel modo più verosimile, il comportamento nell’ambiente. I parametri inseriti sono gli stessi già dettagliati al paragrafo 8.4



Il valore della CSC *falda* è stato posto pari a 40 mg/l, ovvero, pari al valore più restrittivo delle concentrazioni soglia di non effetto (NOEC) determinati dalla sperimentazione eseguita dall'Istituto Mario Negri.

Allo stesso modo, anche il valore della CSC *terreni* (32 mg/kg)<sup>1</sup> è stato posto pari al valore più restrittivo delle concentrazioni soglia di non effetto (NOEC) determinati dalla sperimentazione eseguita dall'Istituto Mario Negri.

## 9.5. Siti di utilizzo - Definizione delle CRS

Nel caso dei siti di utilizzo destinati a recupero ambientale la sorgente è rappresentata dal materiale da scavo che verrà depositato all'interno delle cave, a tal riguardo, il valore della concentrazione rappresentativa del sito è stato fissato pari a 118 mg/kg.

La CRS così definita è stata fissata in funzione dello studio del M. Negri sulla base del mix design fornito dal produttore, che rappresenta di fatto la massima concentrazione prevista per il condizionamento del litotipo *Flysch Numidico*.

Anche in questo caso, come per la definizione delle CSC, il valore della CSR (Concentrazione Soglia di Contaminazione) per il terreno è stato calcolato considerando il quantitativo massimo di tensioattivo presente nella concentrazione attesa di agente condizionante. Per i principi di calcolo si rimanda alla nota in calce.

## 9.6. Siti di utilizzo - Recettori

Poiché il software chiede l'inserimento della tipologia di recettori presenti (adulti residenti, bambini residenti, adulti lavoratori), è stata indicata la presenza di lavoratori adulti.

Poiché nel presente lavoro la valutazione del rischio è riferita al bersaglio falda, con il preciso obiettivo di ricondurre lo studio allo scenario più "severo", si è optato per l'attivazione del percorso di esposizione "Ingestione di Acqua" ancorché irrealizzabile per l'assenza di pozzi ad uso idropotabile all'interno delle cave.

<sup>1</sup> Il valore della CSC (Concentrazione Soglia di Contaminazione) per il terreno è stato calcolato considerando il quantitativo massimo di tensioattivo presente nella concentrazione soglia di non effetto più restrittiva (NOEC). Si precisa che la valutazione quantitativa del prodotto condizionante eseguita dallo studio dell'Istituto Mario Negri ha quantificato la concentrazione di tensioattivi nel prodotto condizionante nella misura di circa il 10%. Tuttavia, cautelativamente, per la definizione delle CSC si è preso in considerazione il valore del 20% pari al valore massimo dichiarato nella scheda di sicurezza fornita dal produttore per il prodotto MAPEI ECO100.



Figura 48. Schermate del software Risknet riferite allo scenario di esposizione (recettori)

## 9.7. Siti di destinazione finale - Parametri di esposizione

Per ciò che concerne i parametri d'esposizione (peso corporeo, durata di esposizione sostanze cancerogene e non cancerogene, frequenza di esposizione, etc.) sono stati valutati i lavoratori che possono frequentare il sito durante le fasi di coltivazione della cava.



<b>Comandi</b>	Sito: Cefalù	ID: Roccalupa	<b>Risk-net</b>
Continua	Comp. da: C.A.D.A. snc	Data: 04/12/17	Parametri di Esposizione
HELP			
Stampa			

Parametri di esposizione	Simbolo	Unità di misura	Residenziale (o Ricreativo)		Industriale	Residenziale (o Ricreativo)		Industriale
			Adulto	Bambino	Adulto	Adulto	Bambino	Adulto
<b>Parametri Generali</b>								
			<b>On-Site</b>			<b>Off-Site</b>		
Peso corporeo	BW	kg	70	15	70	70	15	70
Durata di esposizione sostanze cancerogene	ATc	anni	80			70		
Durata di esposizione sostanze non cancerogene	ED	anni	24	6	25	24	6	25
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	125	350	350	250
<b>Ingestione di suolo</b>								
Frazione di suolo ingerita	FI	adim	1,0	1,0	1,0	NA	NA	NA
Tasso di ingestione di suolo	IR	mg/giorno	100,0	200,0	50,0	NA	NA	NA
<b>Contatto dermico con suolo</b>								
Superficie di pelle esposta	SA	cm²	5700,0	2800,0	3300,0	NA	NA	NA
Fattore di aderenza dermica del suolo	AF	mg/cm²/giorno	0,07	0,20	0,20	NA	NA	NA
<b>Inalazione di aria outdoor</b>								
Frequenza giornaliera di esposizione (c)	EFgo	ore/giorno	24	24	8	24	24	8
Inalazione outdoor (a),(b)	Bo	m³/ora	0,9	0,7	2,5	0,9	0,7	2,5
Frazione di particelle di suolo nella polvere	Fsd	adim	1,0			1,0		
<b>Inalazione di aria indoor</b>								
Frequenza giornaliera di esposizione	EFgi	ore/giorno	24	24	8	24	24	8
Inalazione indoor (b)	Bi	m³/ora	0,9	0,7	0,9	0,9	0,7	0,9
Frazione indoor di polvere all'aperto	Fi	adim	1,0			1,0		
<b>Ingestione di acqua potabile</b>								
Tasso di ingestione di acqua	IRw	L/giorno	2,0	1,0	0,3	2,0	1,0	1,0

(a) In caso di intensa attività fisica, in ambienti residenziali outdoor si suggerisce l'utilizzo di un valore maggiormente conservativo, pari a 1,5 m³/ora per gli adulti, e di 1,0 m³/ora per i bambini.

(b) Per l'ambito commerciale/industriale si suggerisce di utilizzare nel caso di dura attività fisica un valore pari a 2,5 m³/ora è da utilizzare mentre, nel caso di attività moderata e sedentaria è più opportuno utilizzare un valore rispettivamente pari a 1,5 e 0,9 m³/ora. Per un ambito ricreativo le linee guida suggeriscono come valori di inalazione outdoor 3,2 m³/ora e 1,9 m³/ora per un adulto e per bambino, rispettivamente.

(c) Per un ambito ricreativo le linee guida ISPRA indicano una frequenza giornaliera di esposizione di 3 ore/giorno.

**Figura 49. Parametri di esposizione**

## 9.8. Siti di destinazione finale caratterizzazione dei siti

Le "Caratteristiche del sito" consentono di tenere conto delle peculiarità sito-specifiche dei comparti ambientali esposti alla potenziale contaminazione.

I parametri richiesti dal software per il calcolo del rischio sono::

- Relativamente al suolo insaturo:
  - pH del terreno;
  - Densità del suolo;
  - Tessitura del terreno;
  - Piovosità;
  - Frazione areale di fratture outdoor.
- Relativamente al suolo insaturo:
  - Profondità del top della sorgente nel Suolo Superficiale (S.S.) rispetto al p.c.;
  - Profondità del top della sorgente nel Suolo Profondo (S.P.) rispetto al p.c.;
  - Spessore della sorgente nel S.S.;



- Spessore della sorgente nel S.P.;
- Profondità del piano di falda;
- Frazione di carbonio organico nel S.S.;
- Frazione di carbonio organico nel S.P.

Per quanto riguarda i **parametri relativi al suolo** (pH, densità, tessitura, frazione di carbonio organico) si è fatto riferimento ai dati provenienti dalle indagini geologiche allegate al progetto; questi dati, evidentemente, possono variare in funzione delle caratteristiche sito-specifiche di ogni area oggetto di studio.

Per ciò che concerne la tessitura, la stessa è stata modificata inserendo, a seconda della formazione geologica, il terreno di riferimento più simile per permeabilità. In via cautelativa si è scelto di adottare come valore di permeabilità di riferimento il limite maggiore tra le formazioni:

- Tm → Loamy sand ( $5 \cdot 10^{-5}$  m/s);
- FNq → Sandy loam ( $10^{-5}$  m/s);
- FNq → Sandy loam ( $10^{-5}$  m/s);
- FNqs → Silty clay loam ( $2 \cdot 10^{-7}$  m/s);

La **piovosità** è quella media annua della zona (fonte: “*Climate-data.org*”), pari a circa 550 mm/anno.

### 9.8.1. Siti di utilizzo - Geometria della sorgente

Per i siti di destinazione finale la geometria della sorgente risulta di più semplice definizione, infatti, l'unico agente che può essere considerato “*potenzialmente contaminante*” è rappresentato dai tensioattivi che compongono gli additivi utilizzati per condizionare i terreni. Gli stessi, iniettati direttamente nel fronte di scavo e successivamente rimossi insieme ai terreni scavati sono trasportati e “abbancati” nei siti di utilizzo.

La presenza di terreni con concentrazioni residue di tensioattivi potrebbero contaminare le acque sotterranee e/o superficiali per dilavamento ad opera delle acque piovane o per percolazione dello stesso contenuto dal terreno condizionato. Per la definizione della



sorgente si è trattato sostanzialmente di definire i quantitativi di materiale conferito in cava, ipotizzare le concentrazioni di tensioattivo residuale dopo il condizionamento e studiarne il comportamento nei confronti delle matrici ambientali potenzialmente coinvolte.

Per ciò che concerne le concentrazioni residuali di tensioattivo nei terreni condizionati e conferiti presso i siti di utilizzo è sempre stato ipotizzato lo scenario più “severo”, a tal proposito, sono state considerate come concentrazioni residuali i valori massimi attesi in fase di scavo. Per formulare tale assunto non è stata considerata nessuna ipotesi di maturazione dei cumuli e quindi di diminuzione delle concentrazioni per biodegradazione naturale.

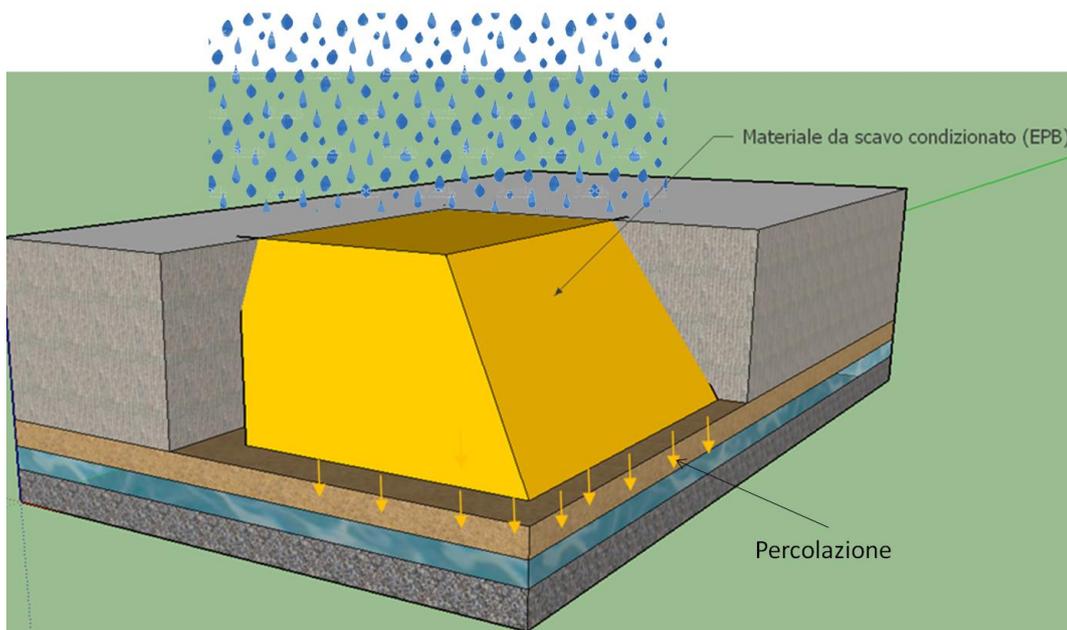
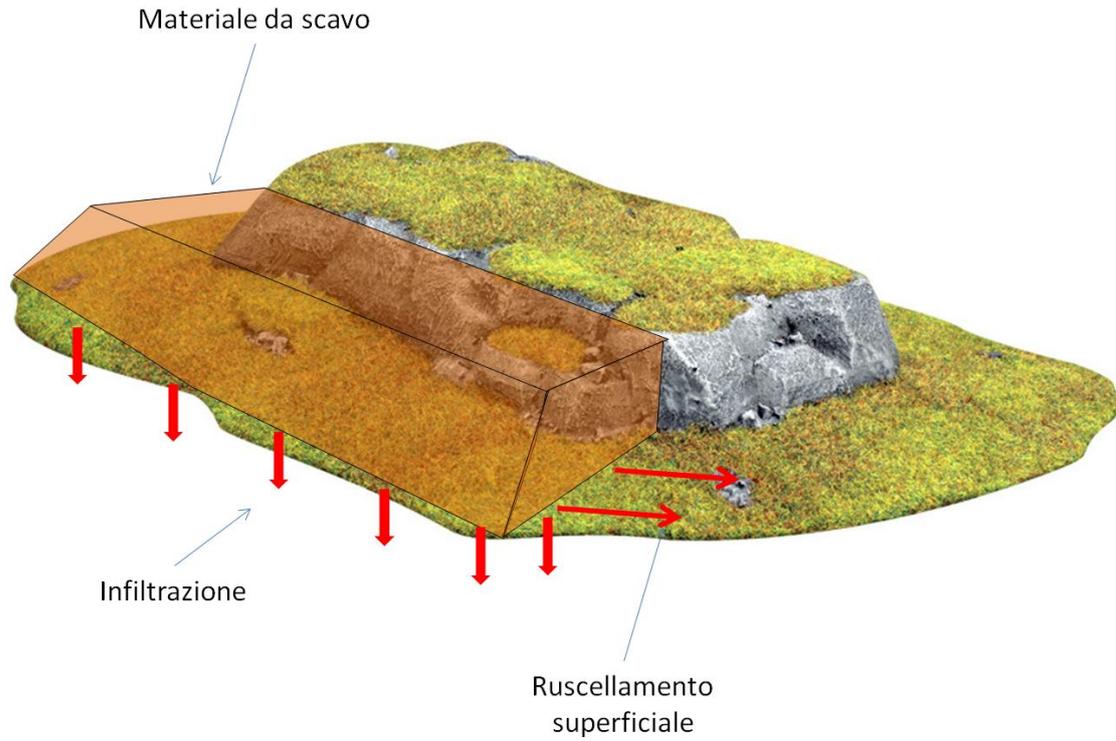


Figura 50. Schema di massima per la definizione della geometria della sorgente



**Figura 51: Schema della potenziale contaminazione dei siti di deposito definitivo**



## 9.9. Dati di input, output e risultanze dell'analisi di rischio per i siti di destinazione finale

Per ragioni di completezza, nelle pagine che seguono sono riportati “*tal quale*” tutti i parametri di input utilizzati per l'elaborazione del rischio sito-specifico e i output.

Gli elaborati riportati in ogni sottosezione per i tre singoli casi di studio inglobano tutti i passaggi di ciascuna elaborazione, dall'inserimento del dato, all'elaborazione dello stesso fino all'ottenimento del risultato finale. Hanno lo scopo di mostrare il passaggio logico-procedurale utilizzato per ciascun caso di studio.

Tuttavia, ciascuna elaborazione riporta alla fine un commento ai risultati ottenuti.



### **9.9.1. Dati di input, output e risultanze dell'analisi di rischio per il sito di utilizzo Cava Roccalupa**



## 9.9.2. Dati di input, output e risultanze dell'analisi di rischio per il sito di utilizzo Cava Cerda



### **9.9.3. Dati di input, output e risultanze dell'analisi di rischio per il sito di utilizzo Cava San Biagio**



## 9.10. CASO 2 - Siti di destinazione finale Risultanze dell'Analisi di Rischio

I risultati dell'analisi di rischio sviluppata tenendo conto:

- delle ipotesi ampiamente descritte e argomentate nel documento;
- della sperimentazione condotta dall'Istituto di Ricerche Farmacologiche Mario Negri sul prodotto da utilizzare per il condizionamento, finalizzata alla valutazione della composizione chimica, dell'ecotossicità e dei parametri di biodegradazione;
- del mix design dichiarato dal produttore, quindi, delle concentrazioni dei possibili contaminanti contenute nel materiale "abbancato" nei siti di destinazione finale;
- dei parametri in ingresso severi e fortemente conservativi ai fini della tutela ambientale;

evidenziano che non vi è l'esistenza di "rischio associato" all'impiego dell'additivo MAPEI ECO100 per i bersagli individuati in fase di analisi di rischio. Tale risultato è stato ottenuto per tutti i siti di destinazione finali indagati.

Nel dettaglio il rischio calcolato per le tre cave individuate come siti di utilizzo è risultato accettabile con i valori riportati in tabella:

Tabella 15. Sintesi dei risultati dell'Analisi di Rischio

Sito	Concentrazione attesa (mg/kg)	CSC <sup>2</sup> (mg/kg)	Suolo superficiale		Suolo profondo	
			Indice di Rischio	Indice di rischio cancerogeno	Indice di Rischio	Indice di rischio cancerogeno
Cava Roccalupa	118	32	4.20E <sup>-04</sup>	3.67E <sup>-08</sup>	6.98E <sup>-04</sup>	7.97E <sup>-08</sup>
Cava Cerda	118	32	1.68E <sup>-04</sup>	1.47E <sup>-08</sup>	3.19E <sup>-03</sup>	2.97E <sup>-07</sup>
Cava San Biagio	118	32	4.61E <sup>-04</sup>	4.30E <sup>-08</sup>	8.39E <sup>-03</sup>	7.34E <sup>-07</sup>

<sup>2</sup> Valore calcolato pari al 20% della Concentrazione Soglia di Non Effetto (NOEC) del prodotto condizionante fornita dall'Istituto Mario Negri. Il valore del 20% rappresenta il valore massimo di tensioattivo presente nel prodotto condizionante



Una volta calcolato il rischio sito-specifico associato a ciascun sito di utilizzo è stato possibile calcolare le **Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR)** per ciascun comparto ambientale. Queste rappresentano livelli di contaminazione delle matrici ambientali, da determinare caso per caso secondo i principi illustrati nell'allegato 1 alla parte quarta del D.Lgs. 152/06, il cui superamento richiede la messa in sicurezza e la bonifica. I livelli di concentrazione così definiti costituiscono i livelli di accettabilità per il sito.

**Tabella 16. Tabella riassuntiva delle CSR calcolate per i tre siti individuati per il conferimento dei materiali condizionati**

Sito	Concentrazione attesa (mg/kg)	CSC (mg/kg)	Suolo superficiale	Suolo profondo
			CSR (mg/kg)	CSR (mg/kg)
Cava Roccalupa	118	32	3020	159
Cava Cerda	118	32	7550	397
Cava San Biagio	118	32	275	151

Tuttavia, in accordo al **punto 4** della “**Determina**” del MATTM trasmessa con nota protocollo DVADEC-2015-0000206 del 22 giugno 2015, è necessario predisporre un piano di monitoraggio di ciascun sito di utilizzo finale che consenta un controllo sulla valutazione del rischio specifico ambientale per quanto riguarda la possibile contaminazione delle acque superficiali e di falda.



## 10. Caso 3: Aree di deposito in attesa di utilizzo

Per area di deposito in attesa di utilizzo dei materiali da scavo si intende quell'area, all'interno del sito di produzione, in cui tale materiale viene depositato in attesa di essere caratterizzato e/o, comunque, una volta caratterizzato, in attesa del suo conferimento al sito di destinazione finale.

Ai fini della presente Analisi di Rischio non è considerato il materiale proveniente dallo scavo in linea delle gallerie che sarà caratterizzato sul fronte di scavo e trasportato direttamente ai siti di destinazione per il riutilizzo, ove vi è, comunque, la possibilità di depositare il materiale in cumuli per effettuare ulteriori caratterizzazioni, in aree specificatamente allestite, laddove vi fosse necessità.

Per quanto riguarda i materiali scavati con TBM in modalità EPB che, per il loro contenuto d'acqua, potrebbero risultare di consistenza tale da non poter essere immediatamente caricati sugli automezzi è previsto uno stoccaggio in apposite aree ben identificate che prendono il nome di "aree di deposito in attesa di utilizzo".

Le aree di deposito in attesa di utilizzo individuate nell'ambito della cantierizzazione e incluse, pertanto, nell'ambito del sito di produzione, ricadono all'interno delle aree progettuali denominate "aree di stoccaggio", aventi la funzione molteplice di:

1. stoccaggio dei cumuli in attesa di caratterizzazione per il riutilizzo interno al cantiere;
2. deposito in attesa di riutilizzo all'interno del cantiere;
3. deposito in attesa di utilizzo nei siti di destinazione esterni al cantiere (con possibilità di caratterizzazione);
4. eventuale deposito temporaneo come rifiuti, separato fisicamente e gestito autonomamente in attesa dello smaltimento presso gli impianti di recupero o le discariche individuate.

Le aree di stoccaggio, all'interno di ognuna delle quali sarà individuata un'area di deposito materiali da scavo in attesa di utilizzo, sono le seguenti:

**AS1:** ubicata in zona Ogliastrillo;

**AS3:** ubicata in zona Carbone;



**AS4:** ubicata in zona Finestra S. Ambrogio;

**AS5:** ubicata in zona Malpertugio.

L'area **AS1**, estesa circa 14.600 mq, ricade in zona "Ogliastrillo" in corrispondenza della parte iniziale del tracciato progettuale a ridosso della S.S. 113. L'area ricade nelle Particelle n. 180, 528, 251, 176, 1052 del Foglio n. 4 del Comune di Cefalù.

L'area **AS3**, estesa 900 mq, è ubicata in zona "Carbone", nei pressi dell'imbocco lato Messina della Galleria Cefalù. L'area ricade nelle Particelle n. 109 e 603 del Foglio n. 20 del Comune di Cefalù.

L'area **AS4**, estesa 6.840 mq, ricade in zona "Finestra S. Ambrogio", nei pressi dell'imbocco della finestra intermedia di accesso alla galleria naturale S. Ambrogio. L'area ricade nelle Particelle n. 705, 706, 707, 708, 84 del Foglio n. 34 del Comune di Cefalù.

Per il dettaglio delle planimetrie, ubicazione, aree a servizio e aree di riserva delle stesse, si rimanda al documento RS2P20EZZRGIM0000008D

### 10.1. Ipotesi di partenza per le aree di deposito in attesa di utilizzo

Nel caso delle aree di deposito in attesa di utilizzo, così come descritto per i siti destinati a recupero ambientale, la sorgente è rappresentata dal materiale da scavo abbancato all'interno delle aree di deposito.

Per ogni sito di destinazione le ipotesi prese in considerazione per falda e sorgente, in modo da simularne lo scenario peggiore, sono state le seguenti:

- Tutto il materiale additivato stoccato nelle aree di deposito in attesa di utilizzo viene conferito tal quale e senza alcun processo di maturazione;
- Una volta terminato il conferimento di tutto il materiale additivato, il successivo conferimento di materiale non additivato proveniente dallo scavo



viene sospeso per un lungo periodo (non viene posto altro materiale al di sopra a "schermare" il sottostante dal dilavamento).

Nel Piano di Utilizzo delle Terre, elaborato facente parte integrante del progetto, sono indicate le quantità complessive di materiale da scavo additivato destinato a ciascuno dei siti individuati per il deposito intermedio in attesa di utilizzo. A partire da questi dati, insieme alla geometria del sito di destinazione, è stato possibile calcolare la quota di ciascun cumulo a partire dal piano campagna

## 10.2. Aree di deposito intermedio - Modello Concettuale del Sito

Partendo dai dati a disposizione per il sito oggetto di studio si è proceduto alla costruzione del Modello Concettuale definitivo del Sito (MCS) mediante la definizione dei rapporti tra la sorgente della potenziale contaminazione, le possibili vie di trasporto e i possibili bersagli esposti alla contaminazione.

### 10.2.1. Aree di deposito intermedio - Sorgenti

Nella complessiva area oggetto della Valutazione di Rischio l'immissione di additivi per il condizionamento del materiale da scavare si è configurata quale unica **fonte di contaminazione primaria**.

Per quanto concerne le **fonti di contaminazione secondarie** possono essere considerate tali i terreni condizionati con i tensioattivi che saranno oggetto di stoccaggio presso i siti individuati a tale finalità.

A scopo cautelativo si è scelto di condurre tutte le simulazioni prendendo in considerazione lo scenario peggiore.

Nello specifico sono state fatte le seguenti ipotesi:

- il materiale condizionato in uscita dalla TBM viene trasportato "tal quale" presso i siti di utilizzo al tempo zero;
- il materiale conferito presso il sito di utilizzo non ha subito alcun processo di "maturazione", quindi di biodegradazione naturale;



- il materiale viene “abbancato” direttamente sul piano campagna senza alcun setto di separazione tra il materiale condizionato e il fondo della cava stessa;
- non è stato considerato alcun fenomeno di biodegradazione naturale anche dopo le fasi di stoccaggio.

Poiché queste condizioni rappresentano lo scenario peggiore, a scopo cautelativo, si è scelto di condurre una unica simulazione relativa al siti di deposito intermedio in attesa di utilizzo alle condizioni sopra elencate.

### 10.2.2. Aree di deposito intermedio - Vie d'esposizione

La diffusione della contaminazione dalle “ipotetiche” sorgenti primarie e/o secondarie individuate, verso le matrici ambientali circostanti, può avvenire attraverso i seguenti meccanismi:

- rilascio della frazione idrosolubile mediante lisciviazione ad opera delle acque meteoriche che dalla superficie, attraversando i suoli contaminati, si caricano della frazione idrosolubile degli inquinanti presenti e si spostano verticalmente, nella zona non satura, in direzione;
- trasporto della frazione idrosolubile nella parte satura dell'acquifero a causa del deflusso delle acque sotterranee secondo i meccanismi di diffusione molecolare advezione e dispersione meccanica;
- ruscellamento superficiale delle acque meteoriche;

Di fatto, in accordo al **punto 7** della “**Determina**” del MATTM trasmessa con nota protocollo DVADEC-2015-0000206 del 22 giugno 2015, essendo presente come bersaglio la sola falda e le acque superficiali, in via del tutto cautelativa si è deciso di attivare anche il percorso di esposizione “**Ingestione di acqua**”



### 10.2.3. Aree di deposito intermedio - Bersagli

Per i siti di destinazione finale il potenziale bersaglio dell'inquinamento è rappresentato dalla falda e dalle acque superficiali. Per ciò che concerne le acque di falda bersaglio delle si è scelto di porre il Punto di Conformità (PoC) interno al sito stesso (ipotesi maggiormente cautelativa):

Di seguito è riportata la schematizzazione del Modello Concettuale elaborato per tutti i siti di utilizzo, nello stesso layout di output del software Risk-net 2.0:

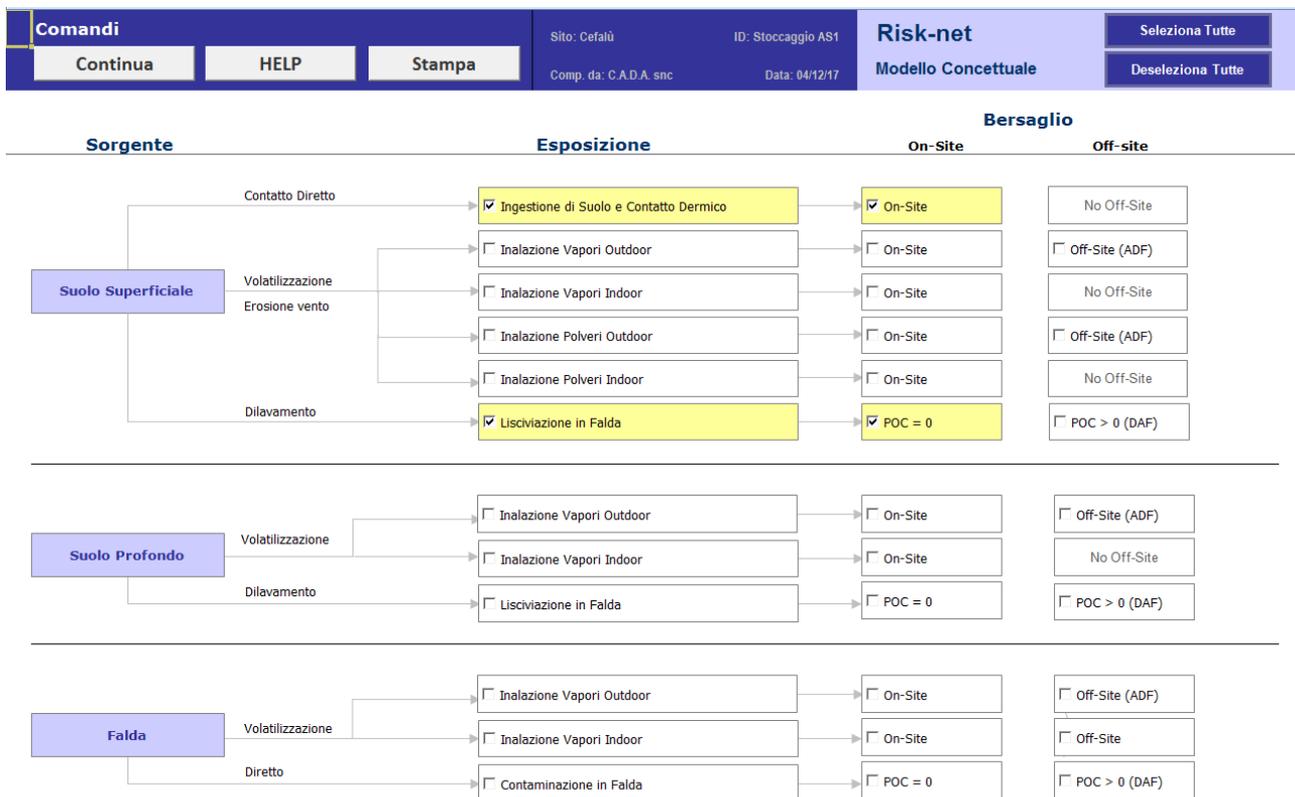


Figura 52. Modello Concettuale generale relativo al caso di studio rappresentativo attinente i siti di deposito intermedio in attesa di utilizzo. Tra le vie di esposizione sono stati attivati i percorsi "ingestione di suolo" e "lisciviazione in falda"



### 10.3. Aree di deposito intermedio - Selezione dei contaminanti

Anche per i siti di deposito intermedio in attesa di utilizzo i potenziali contaminanti sono rappresentati dai tensioattivi contenuti nei prodotti utilizzati per condizionare il terreno scavato.

Poiché, come già argomentato in alcune parti del documento, nel "Database di Default" del software in cui è implementata la banca dati ISS-INAIL 2015, non è presente nessuna voce relativa ai contaminanti indicatori degli additivi utilizzati (Tensioattivi), si è all'implementazione manuale del citato database. Si è provveduto quindi all'inserimento del parametro "Tensioattivi" con tutti i dati necessari a simularne, nel modo più verosimile, il comportamento nell'ambiente. I parametri inseriti sono gli stessi già dettagliati al paragrafo 8.4

Il valore della CSC *falda* è stato posto pari a 40 mg/l, ovvero, pari al valore più restrittivo delle concentrazioni soglia di non effetto (NOEC) determinati dalla sperimentazione eseguita dall'Istituto Mario Negri.

Allo stesso modo, anche il valore della CSC *terreni* (32 mg/kg)<sup>3</sup> è stato posto pari al valore più restrittivo delle concentrazioni soglia di non effetto (NOEC) determinati dalla sperimentazione eseguita dall'Istituto Mario Negri.

### 10.4. Aree di deposito intermedio - Definizione delle CRS

Come nel caso dei siti di utilizzo destinati a recupero ambientale, anche per i siti di deposito intermedio la sorgente è rappresentata dal materiale da scavo che verrà depositato all'interno delle cave, a tal riguardo, il valore della concentrazione rappresentativa del sito è stato fissato pari a 118 mg/kg.

La CRS così definita è stata fissata in funzione dello studio del M. Negri sulla base del mix design fornito dal produttore, che rappresenta di fatto la massima concentrazione prevista per il condizionamento del litotipo *Flysch Numidico*.

<sup>3</sup> Il valore della CSC (Concentrazione Soglia di Contaminazione) per il terreno è stato calcolato considerando il quantitativo massimo di tensioattivo presente nella concentrazione soglia di non effetto più restrittiva (NOEC). Si precisa che la valutazione quantitativa del prodotto condizionate eseguita dallo studio dell'Istituto Mario Negri ha quantificato la concentrazione di tensioattivi nel prodotto condizionate nella misura di circa il 10%. Tuttavia, cautelativamente, per la definizione delle CSC si è preso in considerazione il valore del 20% pari al valore massimo dichiarato nella scheda di sicurezza fornita dal produttore per il prodotto MAPEI ECO100.



Anche in questo caso, come per la definizione delle CSC, Il valore della CSR (Concentrazione Soglia di Contaminazione) per il terreno è stato calcolato considerando il quantitativo massimo di tensioattivo presente nella concentrazione attesa di agente condizionante. Per i principi di calcolo si rimanda alla nota in calce.

## 10.5. Aree di deposito intermedio - Recettori

Poiché il software chiede l'inserimento della tipologia di recettori presenti (adulti residenti, bambini residenti, adulti lavoratori), è stata indicata la presenza di residenti adulti e bambini con la selezione dell'opzione adjusted.

Poiché nel presente lavoro la valutazione del rischio è riferita al bersaglio falda, con il preciso obiettivo di ricondurre lo studio allo scenario più "severo", si è optato per l'attivazione del percorso di esposizione "Ingestione di Acqua".

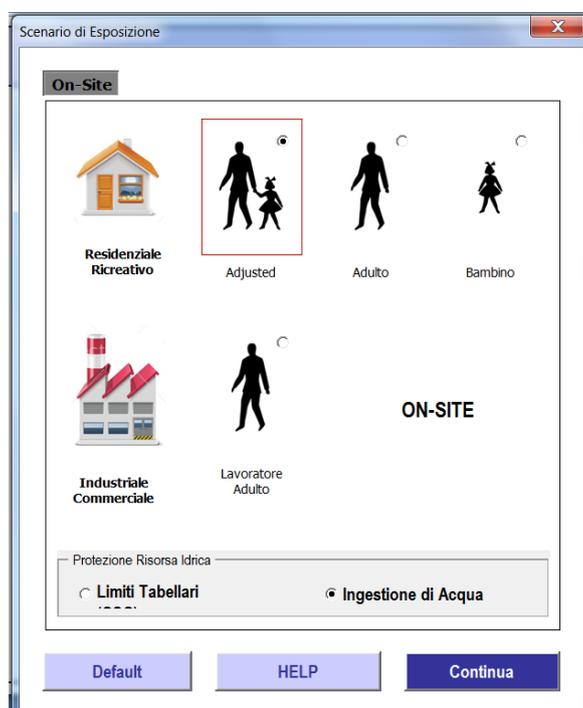


Figura 53. Schermate del software Risknet riferite allo scenario di esposizione (recettori)



## 10.6. Aree di deposito intermedio - caratterizzazione dei siti

Le “Caratteristiche del sito” consentono di tenere conto delle peculiarità sito-specifiche dei comparti ambientali esposti alla potenziale contaminazione.

I parametri richiesti dal software per il calcolo del rischio sono::

- Relativamente al suolo insaturo:
  - pH del terreno;
  - Densità del suolo;
  - Tessitura del terreno;
  - Piovosità;
  - Frazione areale di fratture outdoor.
- Relativamente al suolo insaturo:
  - Profondità del top della sorgente nel Suolo Superficiale (S.S.) rispetto al p.c.;
  - Spessore della sorgente nel S.S.;
  - Profondità del piano di falda;
  - Frazione di carbonio organico nel S.S.;

Per quanto riguarda i **parametri relativi al suolo** (pH, densità, tessitura, frazione di carbonio organico) si è fatto riferimento ai dati provenienti dalle indagini geologiche allegate al progetto; questi dati, evidentemente, possono variare in funzione delle caratteristiche sito-specifiche di ogni area oggetto di studio.

Per ciò che concerne la tessitura, la stessa è stata modificata inserendo, a seconda della formazione geologica, il terreno di riferimento più simile per permeabilità. In via cautelativa si è scelto di adottare come valore di permeabilità di riferimento il limite maggiore tra le formazioni:

- Tm → Loamy sand ( $5 \cdot 10^{-5}$  m/s);
- FNaq → Sandy loam ( $10^{-5}$  m/s);
- FNq → Sandy loam ( $10^{-5}$  m/s);
- FNqs → Silty clay loam ( $2 \cdot 10^{-7}$  m/s);

La **piovosità** è quella media annua della zona (fonte: “*Climate-data.org*”), pari a circa 550 mm/anno.



### 10.6.1. Aree di deposito intermedio - Geometria della sorgente

Per le aree di deposito intermedio in attesa di utilizzo la geometria della sorgente risulta di semplice definizione, infatti, l'unico agente che può essere considerato “*potenzialmente contaminante*” è rappresentato dai tensioattivi che compongono gli additivi utilizzati per condizionare i terreni. Gli stessi, iniettati direttamente nel fronte di scavo e successivamente rimossi insieme ai terreni scavati sono stoccati per determinati tempi di maturazione nelle aree di deposito intermedio in attesa di utilizzo.

La presenza di terreni con concentrazioni residue di tensioattivi potrebbero contaminare le acque sotterranee e/o superficiali per dilavamento ad opera delle acque piovane o per percolazione dello stesso contenuto dal terreno condizionato. Per la definizione della sorgente si è trattato sostanzialmente di definire i quantitativi di materiale stoccato, ipotizzare le concentrazioni di tensioattivo residuale dopo il condizionamento e studiarne il comportamento nei confronti delle matrici ambientali potenzialmente coinvolte.

Per ciò che concerne le concentrazioni residuali di tensioattivo nei terreni condizionati e stoccati presso i siti di deposito intermedio è sempre stato ipotizzato lo scenario più “severo”, a tal proposito, sono state considerate come concentrazioni residuali i valori massimi attesi in fase di scavo. Per formulare tale assunto non è stata considerata nessuna ipotesi di maturazione dei cumuli e quindi di diminuzione delle concentrazioni per biodegradazione naturale.



## **10.7. Dati di input, output e risultanze dell'analisi di rischio per i siti di destinazione finale**

Atteso che il comportamento del potenziale contaminante nelle condizioni più conservative adottate per la valutazione del rischio ambientale non cambia per i diversi siti, per regioni di semplicità, lo studio è stato condotto per un unico sito intermedio in attesa di utilizzo nelle condizioni più severe. Il risultato ottenuto può, quindi, essere esteso a tutti i siti di deposito intermedio, in quanto, gli stessi possono essere considerati analoghi.

Per ragioni di completezza, nelle pagine che seguono sono riportati "tal quale" tutti i parametri di input utilizzati per l'elaborazione del rischio sito-specifico e i output.

Gli elaborati riportati in ogni sottosezione per il singolo caso di studio inglobano tutti i passaggi dell'elaborazione, dall'inserimento del dato, all'elaborazione dello stesso fino all'ottenimento del risultato finale. Tuttavia, l'elaborazione riporta alla fine un commento ai risultati ottenuti.



## 10.8. CASO 3 - Aree di deposito in attesa di utilizzo Risultanze dell'Analisi di Rischio

I risultati dell'analisi di rischio sviluppata tenendo conto:

- delle ipotesi ampiamente descritte e argomentate nel documento;
- della sperimentazione condotta dall'Istituto di Ricerche Farmacologiche Mario Negri sul prodotto da utilizzare per il condizionamento, finalizzata alla valutazione della composizione chimica, dell'ecotossicità e dei parametri di biodegradazione;
- del mix design dichiarato dal produttore, quindi, delle concentrazioni dei possibili contaminanti contenute nel materiale "stoccato" temporaneamente nei siti di deposito intermedio in attesa di utilizzo;
- dei parametri in ingresso severi e fortemente conservativi ai fini della tutela ambientale;

evidenziano che non vi è l'esistenza di "rischio associato" all'impiego dell'additivo MAPEI ECO100 per i bersagli individuati in fase di analisi di rischio. Tale risultato, ottenuto per una sola configurazione sito-specifica, la più conservativa, è estendibile a tutti i siti scelti come siti di deposito intermedio. Se si ipotizza, inoltre, la possibilità di impermeabilizzare il piano campagna su cui sarà stoccato il materiale, si determinerebbe un ulteriore aumento del "fattore di sicurezza" sito-specifico.

Nel dettaglio il rischio calcolato per la configurazione più restrittiva è risultato accettabile con i valori riportati in tabella:

**Tabella 17. Sintesi dei risultati dell'Analisi di Rischio**

Sito	Concentrazione attesa (mg/kg)	CSC <sup>4</sup> (mg/kg)	Suolo superficiale		Suolo profondo	
			Indice di Rischio	Indice di rischio cancerogeno	Indice di Rischio	Indice di rischio cancerogeno
Sito ASx	118	32	//	9.5E <sup>-07</sup>	//	//

<sup>4</sup> Valore calcolato pari al 20% della Concentrazione Soglia di Non Effetto (NOEC) del prodotto condizionante fornita dall'Istituto Mario Negri. Il valore del 20% rappresenta il valore massimo di tensioattivo presente nel prodotto condizionante



Una volta calcolato il rischio sito-specifico associato è stato possibile calcolare le **Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR)** per ciascun comparto ambientale. Queste rappresentano livelli di contaminazione delle matrici ambientali, da determinare caso per caso secondo i principi illustrati nell'allegato 1 alla parte quarta del D.Lgs. 152/06, il cui superamento richiede la messa in sicurezza e la bonifica. I livelli di concentrazione così definiti costituiscono i livelli di accettabilità per il sito.

È stata individuata una CSR pari a **140 mg/kg** a fronte di una Concentrazione Rappresentativa del sito pari a **118 mg/kg** e una CSC di **32 mg/kg**.

Tuttavia, considerato l'elevato contenuto di acqua, di prodotto condizionante e la natura del materiale in uscita dalla TBM, si ritiene opportuno predisporre delle "vasche di accumulo" impermeabilizzate all'interno del quale stoccare il materiale in attesa di essere trasportato verso i siti di destinazione finale. Così facendo il rischio calcolato può essere considerato nullo.



## 11. CONSIDERAZIONI FINALI

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione Generale per le Valutazioni e le Autorizzazioni Ambientali, al **punto 7** della “**Determina**” trasmessa con nota protocollo DVADEC-2015-0000206 del 22 giugno 2015, ha **prescritto** alla ditta **Toto Costruzioni S.p.A.**, esecutrice dei lavori di realizzazione del Raddoppio ferroviario Fiumetorto-Cefalù-Castelbuono Tratta Ogliastrillo-Castelbuono LINEA PALERMO-MESSINA, di doverli eseguire, tra gli altri punti, nel contesto di condizioni operative di produzione tali che [...] ***durante i lavori venga costantemente effettuata una preventiva valutazione del rischio specifico ambientale per quanto riguarda la possibile contaminazione delle acque sotterranee, secondo quanto previsto dalla Tabella 2, Allegato V parte IV del D.Lgs. 152/06 “Concentrazione Soglia di Contaminazione nelle acque sotterranee”, al fine di garantire che le sostanze chimiche utilizzate per lo scavo con TBM non determinino, sia durante gli scavi e depositi temporanei che successivamente all'abbancamento dei materiali scavati, pregiudizio all'ambiente ed alla salute umana e che il fango di risulta possa essere classificato come sottoprodotto e quindi non sia assoggettato alla normativa sui rifiuti.***

Pertanto, in evasione della citata ottemperanza, è stata redatta dalla società *C.A.D.A. snc* e commissionata dalla Società *Toto Costruzioni S.p.A.* la presente relazione che si prefigge l'obiettivo di descrivere il percorso scientifico sviluppato per la redazione della suddetta “**Valutazione del Rischio Specifico Ambientale**”.

Percorso scientifico di valutazione che è stato operato **mutuando** ed **adattando**, al particolare caso in oggetto, il consolidato e validato canovaccio tecnico e logico usualmente sviluppato per la redazione delle “**Analisi di Rischio Sanitario ed Ambientale Sito Specifica**” (AdR), così come essa è puntualmente definita alla *lettera s)* art. 240 del D. Lgs. 152/06: “*analisi sito specifica degli effetti sulla salute umana derivanti dall'esposizione prolungata all'azione delle sostanze presenti nelle matrici ambientali contaminate, condotta con criteri indicati nell'allegato 1 alla parte quarta del presente decreto*”.



Pertanto lo strumento principale che è stato utilizzato nella presente *Valutazione del Rischio Ambientale* è il software Risk-net 2.1. Un software sviluppato nell'ambito della rete su iniziativa del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Roma "Tor Vergata" con l'obiettivo di fornire uno strumento che ricalchi la procedura APAT – ISPRA di **Analisi di Rischio** ("*Criteria metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*"; APAT 2008).

Per tutto quanto sopra,

- Vista la richiesta del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione Generale per le Valutazioni e le Autorizzazioni Ambientali- che con nota protocollo DVADEC-2015-0000206 del 22 giugno 2016, chiedeva che durante i lavori *venga costantemente effettuata una preventiva valutazione del rischio specifico ambientale per quanto riguarda la possibile contaminazione delle acque sotterranee, secondo quanto previsto dalla Tabella 2, Allegato V parte IV del D.Lgs. 152/06 "Concentrazione Soglia di Contaminazione nelle acque sotterranee", al fine di garantire che le sostanze chimiche utilizzate per lo scavo con TBM non determinino, sia durante gli scavi e depositi temporanei che successivamente all'abbancamento dei materiali scavati, pregiudizio all'ambiente ed alla salute umana e che il fango di risulta possa essere classificato come sottoprodotto e quindi non sia assoggettato alla normativa sui rifiuti.*
- Valutato l'esito dello studio sperimentale eseguito dall'Istituto di Ricerche Farmacologiche Mario Negri finalizzato alla definizione dei valori "**soglia di non effetto**" e consequenziali ipotesi di **CSC**, per la specifica matrice ambientale, derivanti dalla presenza di singole specie chimiche, non indicate nelle *tab 1 e 2 dell'Allegato 5 alla Parte IV del D. Lgs. 152/06* ma presenti nel citato *mix-desing* aggiunto in fase di scavo.
- Valutati altresì i tempi di biodegradazione del prodotto impiegato quale agente condizionante dei materiali da scavare in modalità EPB.
- Preso atto delle tecniche di scavo impiegate per la realizzazione dell'opera "**LINEA PALERMO-MESSINA Raddoppio Fiumetorto-Cafalù-Castelbuono Tratta Ogliastrillo-Castelbuono**"



- Stabilite le Concentrazioni Soglia di Contaminazione individuate per il prodotto utilizzato per il condizionamento del materiale scavato;
- Individuati i composti considerati analoghi, per natura chimica e comportamento, al prodotto utilizzato per il condizionamento;
- Assumendo per tutte le simulazioni, sempre, la posizione maggiormente cautelativa nei confronti dell'ambiente, ovvero, considerando che l'immissione del contaminante avviene direttamente in falda senza alcun fenomeno di attenuazione operato dal suolo e dal sottosuolo e che la mobilità dell'inquinante è direttamente connesso con la mobilità della falda.

È possibile concludere che il *mix design* stabilito in fase progettuale per il condizionamento del materiale da scavo, fornito dal produttore, è compatibile con le condizioni di tutela ambientale della falda acquifera.

Quanto detto, confermato dall'esito della Valutazione di rischio che per i quantitativi attesi, i meccanismi di trasporto e le vie di esposizione mostra un rischio accettabile, vale per tutte le fasi operative previste per la realizzazione dell'opera schematizzata in figura.

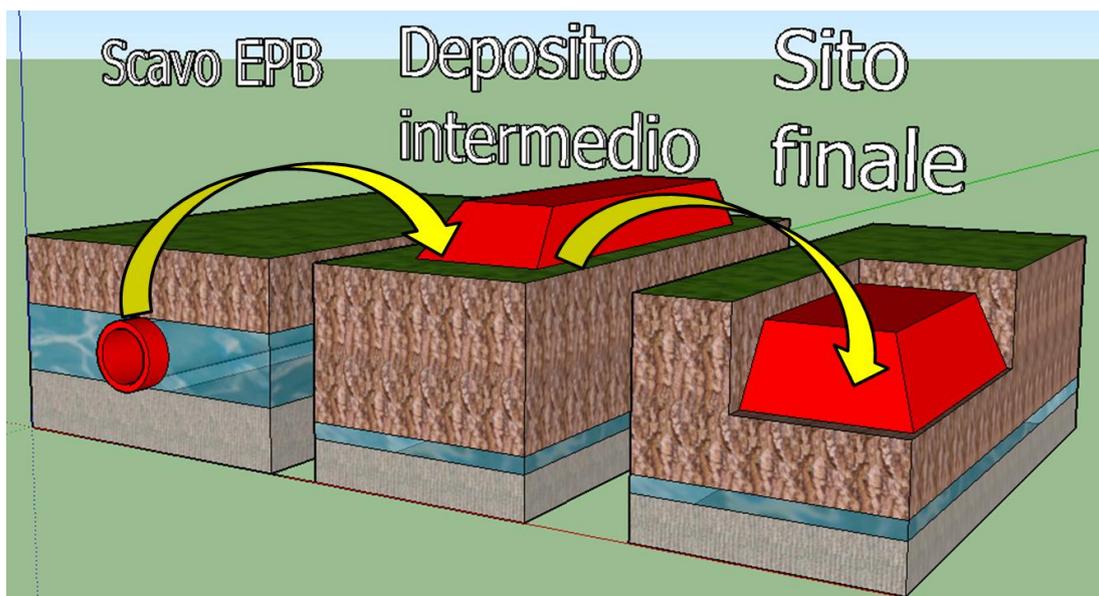


Figura 54. Scavo con TBM in modalità EPB (galleria Cefalù)



## 12. CONCLUSIONI

L'Analisi di Rischio Sanitario ed Ambientale Sito Specifica condotta con le modalità dettagliate nel documento ha evidenziato che il *mix design* stabilito in fase progettuale per il condizionamento del materiale da scavo è compatibile con le condizioni di tutela ambientale della falda acquifera.

Per quanto concerne le acque superficiali, atteso che la procedura di "**Analisi di Rischio Sanitario ed Ambientale Sito Specifica**" (AdR), così come essa è puntualmente definita alla lettera s) art. 240 del D. Lgs. 152/06, non prevede tale matrice quale possibile bersaglio della contaminazione, non è stato possibile valutarne un rischio associato.

Pertanto, la tutela di detta matrice ambientale può essere ragionevolmente garantita soltanto attraverso un'attenta ed adeguata regimentazione delle acque superficiali associata ad un monitoraggio puntuale delle stesse, con particolare riferimento ai possibili contaminanti. Il tutto in accordo con quanto indicato al **punto 4** della "**Determina**" trasmessa con nota protocollo DVADEC-2015-0000206 del 22 giugno 2015, che ha **prescritto** alla ditta **Toto Costruzioni S.p.A.**, esecutrice dei lavori di realizzazione del Raddoppio ferroviario Fiumetorto-Cefalù-Castelbuono Tratta Ogliastrillo-Castelbuono LINEA PALERMO-MESSINA, di doverli eseguire, tra gli altri punti, nel contesto di condizioni operative di produzione tali che "*Venga concordato con ARPA SICILIA e presentato al MATTM prima, durante ed alla fine dei lavori un piano di monitoraggio lungo il tracciato degli scavi della Galleria Cefalù e nei siti di deposito provvisorio che comprenda, mediante l'istallazione di idonee strumentazioni, una costante valutazione del rischio specifica ambientale per quanto riguarda la possibile contaminazione delle acque superficiali [.....], sia durante gli scavi che in fase di deposito provvisorio che in fase di deposito finale garantendo il rispetto dei limiti previsti dall'allegato 2 parte terza del D,Lgs 152/06 [.....]*"



## 13. BIBLIOGRAFIA

1. Asante-Duah D.K. (1993). *Hazardous Waste Risk Assessment*. Lewis Publishers.
2. ASTM (1995), "Standard Guide for Risk Based Corrective Actions Applied at Petroleum Release Sites", Report E-1739-95.
3. ASTM (1998), *Standard Provisional Guide for Risk-Based Corrective Action*, Report PS104-98.
4. Atkinson J. (1997), *Geotecnica, Meccanica delle terre e fondazioni*, McGraw Hill.
5. Beretta G.P., 2004 "IL TRATTAMENTO E L'INTERPRETAZIONE DEI DATI AMBIENTALI " Edizioni Pitagora.
6. Bowles, D. S. (1987). *A comparison of methods for integrated risk assessment of dams, in Engineering Reliability and Risk in Water Resources*, L. Duckstein and E. Plate (eds.). Dordrecht: M. Nijhoff.
7. BP-RISC 4.0 (2001), *Risk-Integrated Software for Clean-up –User's manual*, BP-Amoco Oil, Sunbury UK.
8. Briggs G.A (1973), *Diffusion estimation for small emission, Rapporto tecnico*, ATDL, 79, Oak Ridge, USA.
9. CalEPA (2005), *Guidance for the evaluation and mitigation of subsurface vapour intrusion to indoor air*, Department of Toxic Substances Control, California Environmental Protection Agency, USA.
10. CARACAS (1996), *Risk assessment for contaminated sites in Europe*, LQM Press.
11. Carsel Robert F., Parrish Rudolph S. (1988), "Developing Joint Probability Distributions of Soil Water Retention Characteristics", *Water Resour. Res.* 24: 755-769.
12. Clapp Roger B., Hornberger George M. (1978), "Empirical Equation for Some Soil Hydraulic Properties", *Water Resour. Res.* 14: 601-604.
13. Clarinet (2002), *Variation in calculated human exposure. Comparison of calculations with seven European human exposure models*. RIVM report 711701030/2002.
14. Coleman H.W., Steele G.W. (1988), "Experimentation and uncertainty analysis for engineers", John Wiley and Sons.
15. CONCAWE (1997), *European Oil Industry Guideline for Risk-Based Assessment of Contaminated Sites*, Report no.2/97.



16. CONCAWE (2003), *European Oil Industry Guideline for Risk-Based Assessment of*.
17. Cosby et al. (1984), "A Statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils", *Water Resources Research* 20(6): 682-690.
18. D. Lgs. 31/2001 (2001), *Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano*", G.U. n. 52 del 3 marzo 2001.
19. Domenico P.A. e Schwartz F.W. (1998), *Physical and Chemical Hydrogeology*, John Wiley and Sons, New York.
20. EPA RAGS volume III part A , *EPA 540-R-02-002 OSWER 9285.7-45 PB2002 963302*.
21. EQM (2003), Environmental Quality Management, Inc. "User's Guide for evaluating subsurface vapor intrusion into buildings", prepared for Industrial Economics Incorporated.
22. Farmer et al. (1978,1980) *Vapori outdoor da suolo superficiale*.
23. Florida Dep. E.P.D., (2004), *Guidance for Comparing Site Contaminant Concentration Data with Soil Cleanup Target Levels*, Division of Waste Management Tallahassee, Florida.
24. Gehlar L.W., Mantoglou A., Welty C., Rehfeldt K.R. (1985), *A review of field-scale physical solute transport processes in saturated and unsaturated porous media*, Electric Power Research Institute EPRI-EA 4190 Project 2485-5.
25. Gilbert R.O.,(1987), *Statistical Methods for environmental pollution monitoring*, Van Nostrand Reinhold Company, New York.
26. GIUDITTA 3.0 (2003), *Manuale d'uso / Allegati*, Provincia di Milano-URS Dames and Moore.
27. Gottardi, Venutelli (1993): "Richards: computer program for the numerical simulation of one dimensional infiltration into unsaturated soil".
28. Green W.H. and Ampt G.A. (1911), *Studies on soil physics*, *J. Agric. Sci.* 4(1) 1-24.
29. Gribb M.M. , Bene K.J., Shrader A. (2002), *Sensitivity Analysis of a Soil Leachability Model for Fate and Transport in the Vadose Zone*, *Advances in Environmental Research*.
30. *GUIDING PRINCIPLES FOR MONTE CARLO ANALYSIS [EPA/630/R-97/001 March 1997]*.
31. Hanna S., Briggs G., Hosker R. (1982), *Handbook on Atmospheric Diffusion*, Technical Information Center, US Department of Energy.
32. Hugh W. Coleman, W. Glenn Steele, (1999), *Experimentation and uncertainty analysis for engineers*, John Wiley & Sons, Inc.
33. J. A. Connor, C. J. Newell and M. W. Malander (1996), *Parameter Estimation Guidelines for Risk-Based Corrective Action (RBCA) Modeling*.



34. Johnson, Ettinger (1991) , *Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapors into building*, Environmental Science & technology, 25 (8).
35. Lancellotta (2000): “*Geotecnica*”.
36. Mc Cuen R. H., Rawls W. J., Brakensiek D. L., *Statistical Analysis of the Brooks-Corey and the Green-Ampt Parameters Across Soil Textures*”, Water Resour.Res. 17: 1005-1013, 1981.
37. Menatti J. (1994), *Fate and transport modelling of Diesel Fuel contamination in the vadose*.
38. Meyer P. D., Rockhold M. L., Gee G. W. And Nicholson T. J. (1997), “*Uncertainty Analyses of Infiltration and Subsurface Flow and Transport for SDMP Sites*”, NUREG/CR-6565 PNNL-11705.
39. MTCATPH / MTCASGL (2001) , “*Workbook tool for calculating soil and groundwater cleanup levels under the model Toxics Control Act Cleanup Regulation – User Guide*”, Washington State Department of Ecology, Toxics Cleanup Program, Publication No. 01-09-073.
40. Nazaroff, Lewis (1987) “*Experiments on pollutant transport from soil into residential basement by pressure-driven airflow*”, Environmental Science and technology 21(5).
41. Nofziger, Wu (2003): “*CHEMFLO2000 – Interactive software foe simulating water and chemical movement in unsaturated soils*”.
42. NRC (1993), *Risk-assessment in the federal government: managing the process*, National Research Council, National Academy Press, Washington DC.
43. OTA (1993), *Researching Health Risks, US Congress Office of Technology Assessment*, Report OTA-BBS-570, USA.
44. P. Hsieh, W. Wingle e R. Healy “*VS2DTI - A Graphical User Interface for the Variably Saturated Flow and Transport Computer Program*”.
45. Pagani, Salsa (1999) “*Analisi Matematica, VOLUME 1*”.
46. Park H.S. (1993) , *A method for assessing soil vapor intrusion from petroleum release sites: multi-phase /multi-fraction partitioning*, Global Nest: the international journal, 1(3), 195-204.
47. Park H.S., San Juan C., (2000), *A method for assessing leaching potential for petroleum hydrocarbons release sites: multiphase and multisubstance equilibrium partitioning*, Soil and Sediment Contamination, 9(6), 611-632, 2000.
48. Pickens J.F. and Grisak (1981), *Scale dependent dispersion in a stratified granular aquifer*, Water Resource Research 17(4) 1191-1211 ;



49. *Modelling of scale dependent dispersion in a stratified granular aquifer, Water Resource Research 17(6) 1701-1711.*
50. Pitea, De Cesaris, Marchetti (1998): “*Criteri per la valutazione della qualità dei suoli*”.
51. [pss.okstate.edu/personnel/faculty/nofziger.html](http://pss.okstate.edu/personnel/faculty/nofziger.html).
52. RBCA Tool Kit 1.2, *RBCA Tool Kit for Chemical Releases, Groundwater Services Inc., Texas USA.*
53. ROME 2.1 (2002), *ReasOnable Maximum Exposure, Manuale Operativo, Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e Per i servizi Tecnici.*
54. Rowe, W.D. (1977), *An Anatomy of Risk, Wiley, New York.*
55. Science and Standards Branch Alberta Environment (2003): “*Evaluation of Computer models for predicting the fate and transport of salt in soil and groundwater (PHASE II REPORT)*”.
56. SCRBCA (2001), *South Carolina Risk-Based Corrective Action for Petroleum Release, Bureau of Land and Waste Management, South Carolina.*
57. SPHEM (1986), *Superfund Public Health Evaluation Manual, US Environmental Protection Agency, Office of Emergency and Remedial Response, Washington DC, EPA 540/1-86/060.*
58. T. G. Poulsen, P. Moldrup, B. V. Iversen, and O. H. Jacobsen, (2002), *Three-region Campbell Model for Unsaturated Hydraulic Conductivity in Undisturbed Soils, Soil Sci. Soc. Am. J. 66:744-752.*
59. Tomasko D., Williams G.P., Butler J.P. (2001), *Engineering approach for Tier 2 RBCA Evaluations at +APL-Contaminated Sites*”, *Journal of Water Resources Planning and Management, 127(5).*
60. U.S EPA (2007) *ProUCL Version 4.0 User Guide EPA/600/R-07/038, Aprile 2007.*
61. U.S. EPA (1989) “*Risk Assessment Guidance for Superfund: volume 1; Human Health Evaluation Manual (PART A)*”, EPA/540/1-89/002.
62. U.S. EPA (1991) “*Risk Assessment Guidance for Superfund: (RAGS) PART D-Document Components and Download Area.*”
63. U.S. EPA (1991) “*Risk Assessment Guidance for Superfund: volume 1; Human Health Evaluation Manual (PART B, Development of Risk-Based Preliminary Remediation Goals)*”, EPA/540/R-02/003.



64. U.S. EPA (1991) *“Risk Assessment Guidance for Superfund: volume 1; Human Health Evaluation Manual (PART C, Risk Evaluation of Remedial Alternatives )”*, Publication 9285.7-01C.
65. U.S. EPA (1992), *A Supplemental Guidance to RAGS: Calculating the Concentration Term*.
66. U.S. EPA (1997) *“Exposure Factors Handbook” EPA/600/P-95/002Fa*.
67. U.S. EPA (1998) – *“RBCA fate and transport models: compendium and selection guidance - Technical & professional training in the performance, use and application of ASTM Standards”*.
68. U.S. EPA (2000a). *Data Quality Objectives Process for Hazardous Waste Site Investigations. EPAQA/G-4HW, Final. Office of Environmental Information, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.*
69. U.S. EPA (2000b), *Guidance for Data Quality Assessment: Practical Methods for Data Analysis. EPA QA/G-9, QA00 Update. Office of Environmental Information, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.*
70. U.S. EPA (2001c) *“RAGS: volume 3 PART A-Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment Appendix A )”*.
71. U.S. EPA (2001d) *“Risk Assessment Guidance for Superfund: volume 1; Human Health Evaluation Manual (PART E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment)”*, EPA/540/R/99-005, OSWER9285.7-02EP, PB 99-963312.
72. U.S. EPA (2002b), *“Child-Specific Exposure Factors Handbook (Interim Report)”*. U.S. EPA, Washington, DC, EPA-600-P-00-002B.
73. U.S. EPA (2002c), *Calculating Upper Confidence Limits for exposures point concentrations at hazardous waste sites. Osver 9285.6-10. Office of Emergency and Remedial Response U.S.Environmental Protection Agency, Washington D.C.*
74. U.S. EPA (2004), *ProUCL Version 3.0 User Guide EPA/600/R-04/079, Aprile 2004*.
75. U.S. EPA / REGION 9 (2004), *Users’ guide and background technical document for U.S.EPA Region 9’s Preliminary Remediation Goals (PRG) table U.S. EPA / REGION 3, Risk Based Concentration*.
76. U.S.EPA (1994) *“Soil Screening Guidance: Technical Background Document”*.
77. U.S.EPA (1996) *“Soil Screening Guidance: Fact Sheet”*.
78. U.S.EPA (1996) *“Soil Screening Guidance: User’s Guide”*.



79. U.S.EPA (2002a) *“Calculating Upper Confidence Limits for Exposure Point Concentrations at Hazardous Waste Sites,”* Rapporto OSWER 9285.6-10.
80. U.S.EPA (2002d) *“Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund sites”* - OSWER 9355.4-24.
81. Unichim, Manuale n. 196/1 *“Suoli e falde contaminati, analisi di rischio sito-specifica criteri e parametri”*, edizione 2002.
82. US EPA (2004) *“Risk Assessment Guidance for Superfund: volume 1; Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment, update) .*
83. Van Genuchten M.Th, Wierenga P.J. (1976), *Mass transfer studies in sorbing porous media: I. Analytical solution*, Soil Sci Soc. Am. 40: 473-480.
84. Van Genuchten, M.Th., (1980). *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892-898.
85. Varadhan Ravi, Jeffrey A. Johnson, *“VLEACH: A One-Dimensional Finite Difference.*
86. 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.
87. [www.epa.gov/ada/models/html](http://www.epa.gov/ada/models/html).
88. [www.water.usgs.gov/software](http://www.water.usgs.gov/software).

**C.A.D.A. snc**  
Caratterizzazioni e bonifiche ambientali  
**Responsabile**  
*dott. Giandomenico Nardone*

---

**C.A.D.A. snc**  
Divisione Tecnica  
**Direttore**  
*dott. Filippo Giglio*

---