

NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA

Adeguamento del sistema

A7 – A10 – A12

PROGETTO DEFINITIVO

DOCUMENTAZIONE GENERALE

PARTE GENERALE

Analisi di rischio
per l'impiego dei materiali di smarino
provenienti dall'escavazione delle gallerie per
l'ampliamento a mare del rilevato aeroportuale

IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496 RESPONSABILE UFFICIO APG	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496 RESPONSABILE AREA DI PROGETTO GENOVA	IL DIRETTORE TECNICO Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492 RESPONSABILE FUNZIONE STP
---	---	--

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO				DATA: MAGGIO 2011	REVISIONE	
	DIRETTORIO		FILE			n.	data
	codice commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo			
	11071205	APG0007	--		SCALA: -		

 ingegneria europea	COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO Ing. Ilaria Lavander	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	
		ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	
CONSULENZA A CURA DI :		IL RESPONSABILE UFFICIO/UNITA'	

VISTO DEL COORDINATORE GENERALE SPEA DIREZIONE OPERATIVA PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE LAVORI ASPI Ing. Alberto Selleri	VISTO DEL COMMITTENTE  Ing. Giorgio Fabiani	VISTO DEL CONCEDENTE 
---	---	--

Analisi di Rischio



Nodo Stradale e Autostradale di Genova

Gronda di Ponente

Impiego dei materiali di smarino provenienti dall'escavazione delle gallerie per l'ampliamento a mare del rilevato aeroportuale.

Dott. Alessandro Girelli

Maggio 2011

Premessa

La D.G.R. Liguria n.859 del 18/07/2008, recependo quanto già introdotto dalla precedente D.G.R. n. 878 del 04/08/2006, impone che l'utilizzo di terre e rocce provenienti da siti caratterizzati da uno o più superiori delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC), indicate nella Tabella 1 (colonne A o B a seconda della destinazione d'uso) dell'Allegato 5 al Titolo V della parte quarta del D.Lgs. 152/06 e ss.mm., sia consentito (ai sensi del art. 186 dello stesso Decreto) qualora non superino le soglie di qualità previste dal progetto di utilizzo dei materiali nel sito di destinazione.

Tali soglie vengono stabilite a seguito di una Analisi di Rischio condotta sul sito di destinazione che dimostri che l'utilizzo del materiale non alteri negativamente le condizioni esistenti nel sito, né quelle previste a fine lavori, tenuto conto del suo effettivo utilizzo futuro.

Nell'ambito degli interventi di cui al "*Progetto Definitivo del Nodo Stradale e Autostradale di Genova, adeguamento del sistema A7 - A10 - A12*", i materiali provenienti dall'escavazione delle gallerie autostradali sono destinati ad essere riutilizzati per realizzare un riempimento a mare che consiste nell'allargamento dell'area aeroportuale con conseguente restringimento del canale di calma attualmente esistente tra l'aeroporto e la diga foranea.

Tali materiali sono caratterizzate da valori di concentrazione di alcuni metalli pesanti superiori alle CSC previste dalla normativa sopra menzionata, legati essenzialmente al fondo naturale.

Lo scopo del presente documento è quello di descrivere gli interventi previsti dal progetto e le modalità operative di esecuzione degli stessi e di stimarne il rischio connesso.

Saranno inoltre determinate le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) ossia i valori massimi di concentrazione nei materiali oltre ai quali potrebbe esistere un

rischio sanitario ed ambientale per i futuri fruitori delle aree suddette, tenuto conto dell'effettivo utilizzo delle stesse, sia nella fase di cantierizzazione che ad intervento concluso.

La documentazione utilizzata come riferimento per i dati riportati nel presente studio è stata la seguente:

- *Relazione sulla Caratterizzazione Ambientale, APG006;*
- *Studio di Impatto Ambientale – Progetto Definitivo di Cantierizzazione;*
- *Relazione Descrittiva Generale delle Opere a Mare nel Canale di Calma (Parte Generale).*

Inquadramento degli interventi previsti dal progetto

Per poter definire il Modello Concettuale del Sito (specialmente in fase di cantierizzazione) è necessario analizzare le modalità di realizzazione della conterminazione a mare, nonché le modalità di conferimento dei materiali all'interno delle casse di colmata che verranno realizzate nel Canale di Calma.

La descrizione delle attività previste è riportata negli elaborati progettuali ai quali si rimanda per tutti gli opportuni approfondimenti.

Nel presente capitolo verranno richiamati, in forma semplificata, gli aspetti costruttivi delle opere e le modalità operative di conferimento dei materiali, al fine di meglio identificare le criticità in relazione agli aspetti connessi all'Analisi di Rischio.

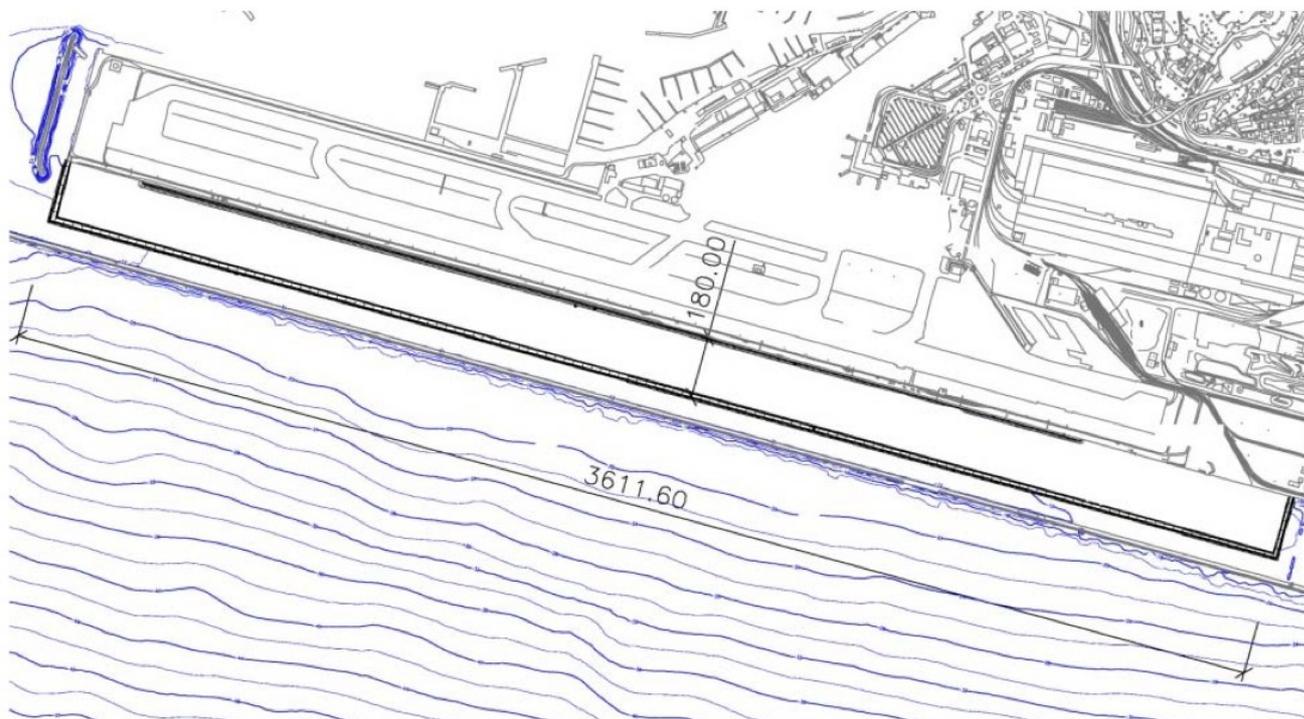
Le opere di conterminazione a mare

La conterminazione dell'opera a mare è costituita da 148 cassoni cellulari in conglomerato cementizio armato, di cui 14 posti nel senso ortogonale all'attuale

marginamento dell'aeroporto ed i rimanenti 134 posti parallelamente all'attuale marginamento.

Al termine dell'intervento la colmata avrà una larghezza di 180,0 m ed una lunghezza di 3.611,60 m, come riportato nella figura seguente.

Figura 1



L'imbasamento dei cassoni verrà realizzato su uno strato di materiale granulare a sua volta posato su un geotessuto di opportuna grammatura allo scopo di garantire la netta separazione dello stesso con il materiale presente sul fondale e di minimizzare la risospensione dei sedimenti di fondo durante le operazioni di versamento del materiale necessario per costruire lo scanno. In questo modo verranno minimizzate sia l'emissione di torbidità sia la diffusione delle sostanze inquinanti presenti nei sedimenti.

Una volta completato lo scanno di imbasamento, i cassoni prefabbricati verranno trasportati, in galleggiamento, fino al canale di calma, dove verranno affondati nelle posizioni previste e riempiti con parte del materiale non amiantifero proveniente dallo scavo delle gallerie.

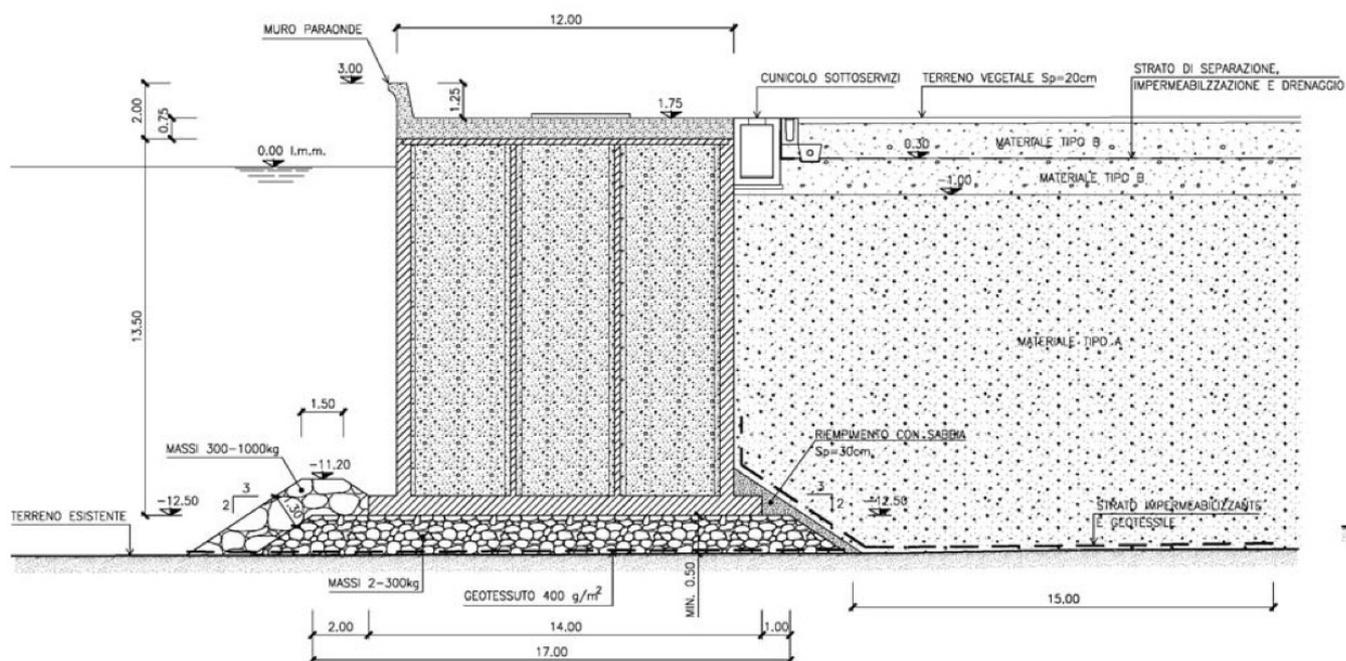
I cassoni prefabbricati emergeranno dalle acque per 1 m s.l.m.m.e saranno completati con una soletta di finitura di spessore 0,75 m (quota finale +1,75 m s.l.m.m.) e da un ulteriore muro paraonde, con sommità alla quota +3,50 m s.l.m.m. (soltanto sui lati sud ed ovest, dove l'altezza delle onde è superiore).

Sulle pareti laterali di ciascun cassone cellulare, ossia sui lati destinati ad essere affiancati dai cassoni adiacenti, saranno presenti due incavi trapezoidali nei quali sarà realizzata una sigillatura con giunti impermeabili costituiti da elementi tubolari (“calza”) composti da un tessuto geosintetico in cui sarà immesso un materiale di riempimento costituito da una miscela di cemento bentonite in grado di garantire un adeguato livello di impermeabilità (dell'ordine di 10^{-6} m/s, ossia paragonabile a quella del calcestruzzo utilizzato per i cassoni).

L'impermeabilizzazione dello scanno di imbasamento sarà garantita dalla posa di un telo impermeabile in HDPE, risvoltato sul cassone, che si estende sul fondale per una lunghezza di circa 15 m.

Secondo quanto riportato nel progetto, l'adozione delle misure citate garantirebbe un coefficiente di permeabilità complessivo dell'intera opera di conterminazione non superiore a 10^{-6} m/s, garantendo di fatto una separazione idraulica tra l'interno e l'esterno dell'opera stessa.

La sezione trasversale dell'opera ad intervento finito è riportata nella figura seguente.

Figura 2


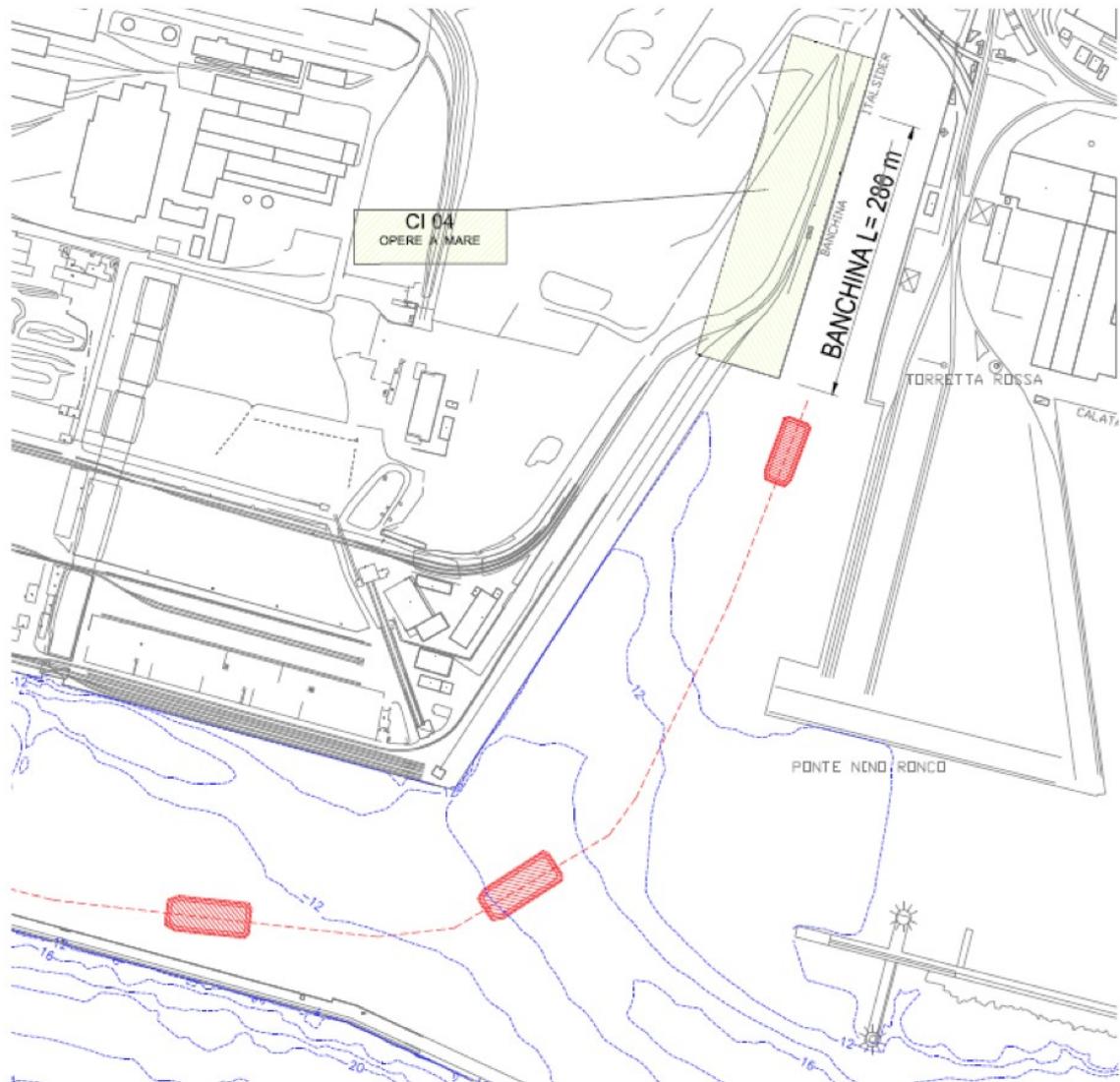
Le modalità di conferimento del materiale

Da quanto riportato nel progetto le modalità operative varieranno a seconda della tipologia di materiale, che viene suddivisa essenzialmente in due categorie:

- 1) materiale di smarino non contenente amianto;
- 2) materiale di smarino con un contenuto di amianto inferiore ai limiti indicati dal D.Lgs. 152/06.

Per il materiale di cui al primo punto è previsto il trasporto su gomma fino all'area di cantiere di Cornigliano, ubicata sulla destra orografica del Torrente Polcevera, da cui viene caricato su idonei mezzi navali (bettoline) e trasportato via mare nell'area dell'intervento nel Canale di Calma, come schematizzato nella figura seguente.

Figura 3



Per quanto riguarda il materiale di cui al secondo punto è prevista la realizzazione di un “circuito slurry”, ossia di una tubazione nella quale il materiale viene immesso insieme ad un adeguato quantitativo di acqua: in tal modo si crea una miscela sufficientemente liquida da poter essere convogliata verso valle attraverso la tubazione, ed al tempo stesso si impedisce

il sollevamento e la dispersione delle fibre libere di amianto eventualmente contenute nel materiale stesso.

Figura 4



Il circuito di slurry previsto da progetto si sviluppa per circa 8,8 km lungo il greto del torrente Polcevera (cfr. Figura 4) e consiste in due linee parallele:

- attraverso la prima linea (di mandata) verrà inviata verso monte (cantiere Polcevera ubicato ad un'altezza di circa 65 m s.l.m.m.) acqua salata prelevata dalla cassa di colmata);
- attraverso la seconda linea il materiale di scavo, stoccato nei silos, sarà convogliato verso valle fino al cantiere di Cornigliano, previa miscelazione con l'acqua di mare fornita con le modalità di cui al punto precedente.

Il riempimento delle vasche di colmata avverrà “in settori” suddivisi a seconda delle due tipologie del materiale sopra indicate e secondo criteri di logistica descritti in maniera approfondita negli elaborati progettuali.

Ai fini del presente studio rivestono particolare importanza i seguenti aspetti:

- durante tutte le operazioni di riempimento delle casse di colmata il livello delle acque sarà mantenuto a livello costante mediante il prelievo delle acque in eccesso (con portata corrispondente al volume di materiale in arrivo dal circuito slurry): parte delle acque sarà inviato verso monte per il successivo reimpiego nel circuito slurry e parte verrà inviata all'impianto di depurazione prima del loro scarico a mare.

In tal modo non si formerà mai un battente d'acqua all'interno della conterminazione (peraltro isolata idraulicamente) tale da generare spinte idrauliche verso l'esterno della stessa;

- tutto il materiale amiantifero utilizzato come riempimento rimarrà sommerso (quota massima -1 m s.l.m.m) e verrà ricoperto fino alla quota di progetto da un sandwich formato da geotessile, geogriglia di captazione dell'acqua e membrana di impermeabilizzazione, e quindi da uno strato di copertura (*capping*), costituito da materiale di scavo proveniente dalle formazioni non amiantifere, che conterrà anche il sistema dei drenaggi superficiali.

In tal modo le eventuali fibre libere presenti nel materiale saranno sempre mantenute in acqua e non potranno disperdersi in aria attraverso alcun percorso di migrazione.

Come si può osservare dalla descrizione delle opere e delle modalità operative d'intervento, sono state prese tutte le precauzioni per impedire ad eventuali contaminanti presenti nei materiali di scavo od alle eventuali fibre libere di diffondere verso l'ambiente, sia in fase di cantierizzazione che nello scenario di post-intervento.

Per tale motivo è più che lecito ritenere che, se l'esecuzione dell'intervento avverrà come descritto, non esistano percorsi significativi di diffusione della contaminazione verso i recettori presenti in fase di caratterizzazione e nello scenario futuro.

Descrizione delle attività ambientali svolte

Per poter stimare gli effetti connessi alla presenza di inquinanti nei materiali che verranno utilizzati per i riempimenti a mare è necessario definire la "sorgente" di contaminazione ossia scegliere quali parametri utilizzare nella modellazione e soprattutto determinare quali concentrazioni assumere nel modello di calcolo.

A tal fine è possibile fare riferimento alle indagini ambientali svolte, che forniscono i dati di concentrazione riscontrati nei diversi materiali campionati e permettono di identificare i valori di "fondo naturale" presenti nelle rocce oggetto di scavo.

I risultati delle caratterizzazioni eseguite sono presentati in maniera molto completa ed esauriente nel documento "Relazione sulla Caratterizzazione Ambientale, APG006", al quale si rimanda per tutti gli approfondimenti che si ritengono necessari.

Verranno qui presentati i risultati in forma semplificata con lo scopo di identificare i parametri che saranno presi come riferimento per la "sorgente" nella fase di definizione del Modello Concettuale del Sito.

Nel complesso sono state effettuate 2 indagini ambientali:

- Indagine legata al Progetto Preliminare e S.I.A. del 2008.
- Indagine legata al Progetto Definitivo del 2011.

Sono state eseguite anche indagini sui sedimenti marini nella zona oggetto dell'intervento i cui risultati non sono tuttavia rilevanti ai fini della presente analisi di rischio, in quanto le aree indagate verranno di fatto ricoperte con i nuovi materiali provenienti dagli scavi delle gallerie.

Indagine ambientale del 2008

Nel corso di questa indagine sono stati prelevati 29 campioni così suddivisi:

- 17 campioni lapidei prelevati da affioramenti;
- 8 campioni lapidei prelevati da sondaggi;
- 2 campioni di terreno prelevati nei sondaggi eseguiti nel Polcevera;
- 2 campioni di terreno nella zona dell'imbocco est della Galleria Borzoli;

I risultati delle analisi chimiche eseguite su tali materiali hanno evidenziato la presenza diffusa di superamenti delle CSC per suoli a destinazione d'uso residenziale per i parametri *cobalto*, *cromo*, *nicel* e *rame*.

Per i parametri *nicel* e *rame* sono stati osservati superamenti anche delle CSC per suoli ad uso commerciale / industriale.

Indagine ambientale del 2011

Nel corso di questa indagine, effettuata su un'area più ampia rispetto a quella di cui al paragrafo precedente, sono stati prelevati 36 campioni così suddivisi:

- 9 campioni lungo i tratti in galleria nelle parte occidentale del progetto a completamento dei rilievi eseguiti nel 2008;
- 17 campioni lungo i tratti in galleria nelle parte orientale del progetto;
- 1 campione in corrispondenza di una pila del viadotto sul Polcevera;
- 9 in corrispondenza delle rampe autostradali.

I risultati delle analisi chimiche eseguite su tali campioni confermano la presenza, come elementi del fondo naturale, dei metalli *arsenico*, *cobalto*, *nicel* e *cromo*, per i quali si osservano, anche in questo caso, superamenti delle CSC per i suoli ad uso residenziale (*cromo* e *nicel* hanno superato in qualche campione anche le CSC per i suoli ad uso commerciale / industriale).

Si può osservare che, a differenza di quanto emerso nel corso dell'indagine del 2008, il *rame* non mostra alcun supero delle CSC.

Considerazioni sui dati ottenuti

L'insieme dei dati raccolti ha permesso di identificare i valori medi di "fondo naturale" associati ai vari litotipi interessati dal progetto, confermando peraltro quanto già riconosciuto a livello scientifico-ambientale e raccolto dalla ricerca bibliografica: alcuni litotipi, soprattutto i serpentini e serpentinoscisti, presentano tenori in alcuni metalli pesanti (essenzialmente *arsenico*, *cobalto*, *nicel*, *cromo* e *rame*) tipici del proprio fondo naturale e generalmente superiori rispetto ai limiti indicati dalla normativa.

Definizione del Modello Concettuale del Sito (MCS)

Una corretta procedura di Analisi di Rischio parte dalla definizione di un Modello Concettuale del Sito che deve tenere conto di tutte le possibili e/o potenziali sorgenti di contaminazione, dei percorsi di esposizione/diffusione e dei recettori (uomo o altri comparti ambientali) presenti nelle zone circostanti il sito in esame.

Una volta individuato il Modello Concettuale si valutano i fenomeni che regolano la diffusione dei contaminanti fino ai recettori assunti come riferimento.

Dall'insieme dei dati raccolti è quindi possibile valutare il rischio, espresso come probabilità di osservare nel recettore un effetto avverso.

La definizione del “Modello Concettuale” ha lo scopo di identificare essenzialmente tre elementi: le *sorgenti di contaminazione* (esistenti o potenziali), i *percorsi* con cui i contaminanti presenti possono diffondere nelle varie matrici ambientali ed i *recettori*, reali o potenziali.

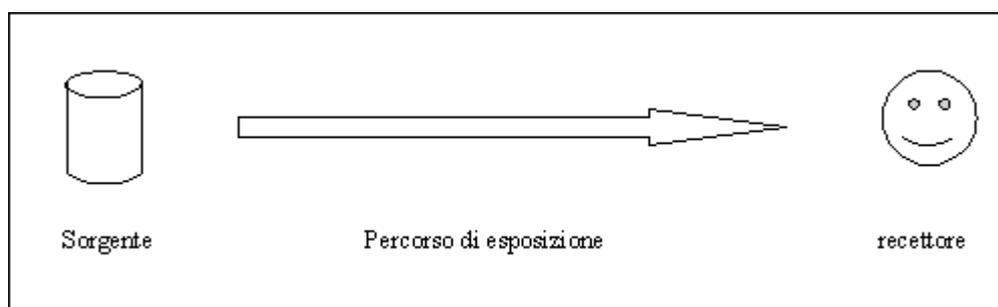
In linea generale (ed applicabile ai siti contaminati) le informazioni necessarie alla definizione di un modello concettuale sono le seguenti:

- caratteristiche della sorgente, comprendente la definizione delle sorgenti primarie (es. serbatoi, impianti, tubazioni, ecc.) e secondarie (matrici ambientali impattate), la stima delle dimensioni della matrice contaminata e la valutazione delle concentrazioni dei contaminanti in corrispondenza della sorgente stessa;
 - caratteristiche dei percorsi di esposizione, comprendente la determinazione dei parametri necessari per il calcolo dei fattori di trasporto dei contaminanti (fattori di volatilizzazione, di eluizione, ecc.) e dei parametri chimico-fisici per la stima della ripartizione di ogni contaminante fra le varie matrici ambientali;
 - caratteristiche dei recettori ossia dei fruitori futuri dell'area, per i quali è necessario tenere conto della destinazione d'uso del sito, dei tempi di
-

esposizione effettivi e delle modalità di fruizione del sito stesso, compreso l'eventuale utilizzo delle risorse idriche superficiali e sotterranee.

Una schematizzazione generica del modello concettuale, che segue procedure ormai standardizzate (US EPA, 1993 e 1996, ASTM-RBCA, 1995), è riportata nella figura seguente.

Figura 5: Schema di modello concettuale



Alla luce di quanto sopra e soprattutto di quanto riportato nei paragrafi precedenti, sia riguardo all'opera nella sua conformazione definitiva, che alle modalità operative con cui è stato progettato l'intervento, risulta evidente come, nel caso in esame, sia estremamente difficile definire un Modello Concettuale del Sito che sia "attivo". Specialmente se si tiene conto di tutte le precauzioni prese per impedire una diffusione incontrollata della contaminazione che dovesse liberarsi dai materiali utilizzati nel riempimento a mare.

Per poter comprendere adeguatamente quanto appena affermato è opportuno che vengano analizzati nel dettaglio i tre elementi (sorgenti, vie di esposizione e recettori) che compongono il Modello Concettuale per il sito oggetto di studio.

Prima di procedere va però precisato che, avendo la fase di cantierizzazione una durata molto prolungata nel tempo, verranno presi in considerazione due scenari specifici:

- 1) Scenario di cantierizzazione, della durata di circa 8 anni;

2) Scenario futuro, ad interventi ultimati.

Per ciascuno dei due scenari sarà definito uno specifico Modello Concettuale del Sito.

Scenario di cantierizzazione

La fase di cantierizzazione costituisce senza dubbio il momento più critico in termini di potenziali effetti sull'ambiente in quanto ci si trova in una situazione "dinamica" e non "statica" come quella che si avrà al termine degli interventi.

Tuttavia vedremo come, anche in questa fase, gli aspetti che potrebbero rendere critici gli impatti sull'ambiente siano stati dettagliatamente studiati e resi del tutto trascurabili.

La *sorgente di contaminazione* in questo caso è rappresentata dai materiali utilizzati per il riempimento a mare ed in particolare dai metalli pesanti presenti nella matrice solida che, una volta a contatto con l'acqua di mare, potrebbero solubilizzarsi e diffondere attraverso le acque del canale di calma.

La solubilizzazione e successiva diffusione in mare della contaminazione è proprio una delle vie di diffusione della contaminazione che, almeno a livello teorico può essere presa in considerazione.

Vale tuttavia la pena di ricordare che la solubilizzazione di sali metallici in acque di mare è solitamente sfavorita dall'elevata salinità delle acque stesse che tendono ad alterare gli equilibri dettati dal prodotto di solubilità. A tale riguardo si rimanda alla descrizione dei test di cessione condotti sui materiali sia con acqua di mare, che con acqua deionizzata (cfr. *Relazione sulla Caratterizzazione Ambientale, APG006*, pag. 39 e seg.) da cui si evince come la cessione in acqua di mare sia inferiore (anche se non di molto) rispetto a quella effettuata con acqua deionizzata.

Inoltre, come già esaurientemente chiarito nei paragrafi precedenti e soprattutto nelle relazioni progettuali, è estremamente difficile che l'eventuale contaminazione rilasciata nelle acque dai materiali sversati possa sfuggire all'esterno della conterminazione a mare, in quanto tutto il perimetro esterno sarà reso impermeabile dalla presenza di:

- cassoni di cemento;
- sigillature presenti tra i cassoni;
- telo impermeabile di copertura dello scanno di imbasamento.

In linea ipotetica e nell'ottica di adottare criteri conservativi non si può escludere che vi siano fessurazioni nel cemento, discontinuità nei giunti presenti tra i cassoni o fessurazioni nel telo in HDPE di protezione dello scanno di imbasamento, ma anche in tale situazione la diffusione verso le acque esterne sarebbe comunque sfavorita dal fatto che il pompaggio delle acque in eccesso per l'invio al depuratore (o alla mandata del circuito slurry) annulla il battente idraulico necessario alle acque interne di sfuggire verso l'esterno.

L'unico percorso che potrebbe avere qualche significato in fase di cantierizzazione è il contatto dermico con le acque presenti all'interno del bacino di colmata da parte dei lavoratori addetti alle varie attività connesse allo scarico del materiale stesso o alla gestione dell'impianto di depurazione.

Per tale motivo gli unici *recettori* significativi sono i lavoratori addetti alle attività previste dal progetto.

Del tutto irrilevanti sono invece i percorsi verso i recettori (usi ricreativi) che potrebbero essere esposti all'inquinamento sfuggito all'esterno della conterminazione.

Essendo vietata la balneazione, la pesca e la navigazione di piccoli natanti nelle acque portuali si può considerare del tutto improbabile il contatto dermico con

acque di mare da parte dei bagnanti o dei fruitori di tali acque (es. proprietari di piccoli natanti o pescatori).

I primi bersagli (viventi) che potrebbero essere colpiti sono i pesci o i mitili che stazionano nelle acque o sui fondali del canali di calma (assumendo specie di pesci particolarmente stanziali). In tal caso la loro esposizione ad acque contaminate potrebbe favorire un bioaccumulo delle sostanze nei tessuti e quindi un ingresso delle stesse nella catena alimentare.

Ma anche in questo caso è evidente l'estrema conservatività adottata: si ricorda infatti che in tutte le aree portuali è vietata la pesca (sebbene siano frequenti le violazioni di tali divieti).

Alla luce di quanto sopra esposto si ritiene assolutamente indiscutibile l'assenza di un Modello Concettuale "attivo" ossia di una percorso realistico che metta in contatto la "*sorgente*" con il "*recettore uomo*".

Si ritiene peraltro che, anche nel caso in cui non fossero adottate tutte le precauzioni previste da progetto, i rischi per l'ambiente esterno nonché per gli ipotetici recettori sarebbero comunque del tutto trascurabili.

Proprio per dimostrare quanto appena detto (rischio trascurabile anche in assenza delle precauzioni riportate nel progetto), oltre che per adempiere alle indicazioni della normativa precedentemente citata, è stato ipotizzato uno scenario in fase di cantierizzazione che preveda l'esistenza di un Modello Concettuale attivo, definito come segue.

Sorgente primaria: materiali utilizzati per il riempimento.

Sorgente secondaria: acque contaminate per eluizione dei suddetti materiali.

Vie di diffusione/esposizione: l'insieme dei seguenti percorsi:

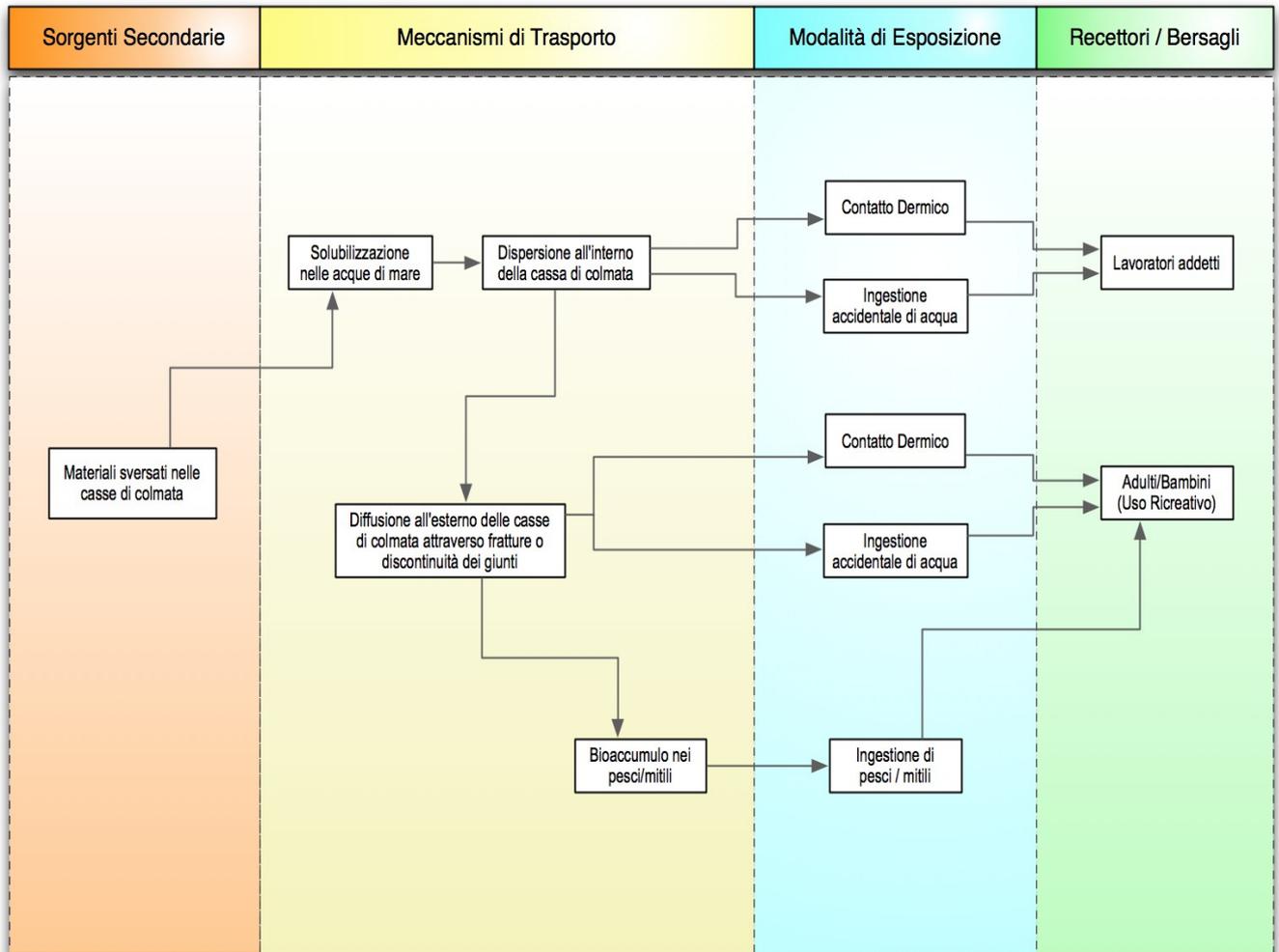
- solubilizzazione dei metalli pesanti considerati nelle acque interne alla conterminazione;
-

- diffusione delle acque inquinate attraverso fratture o discontinuità nei giunti tra i cassoni o attraverso strappi nel telo di protezione dello scanno di imbasamento. Si fa presente che in questo caso si assume che vi sia di fatto un battente idraulico tra l'interno della conterminazione ed il canale di calma, e quindi si ipotizza che il sistema di pompaggio delle acque dall'interno della conterminazione all'impianto di depurazione o al circuito di slurry non operi in maniera efficiente.
- ingestione accidentale / contatto dermico con le acque interne alla cassa di colmata (spruzzi di acqua o contatto diretto) da parte dei lavoratori addetti alle attività di scarico dei materiali o alla gestione dell'impianto di depurazione;
- ingestione accidentale / contatto dermico con le acque del canale di calma (spruzzi di acqua o contatto diretto) da parte di proprietari di natanti o di pescatori che frequentano / stazionano sulla diga foranea;
- bioaccumulo delle sostanze inquinanti nei pesci/mitili ed ingestione degli stessi da parte dell'uomo.

Recettori: lavoratori addetti alle attività previste da progetto, pescatori, proprietari di natanti, consumatori di pesce pescato in prossimità del canale di calma.

Uno schema di tale modello concettuale è riportato nella figura seguente.

Figura 6



È del tutto inutile puntualizzare quanto poco realistico sia il modello concettuale descritto sopra ma si ritiene che i risultati di tale calcolo possano essere interessanti per comprendere quanto conservative siano le misure precauzionali adottate nel progetto.

Scenario futuro

Al termine degli interventi di riempimento, la nuova area potrà essere riutilizzata ad uso assimilabile al commerciale/industriale.

Anche in questo caso le precauzioni prese per il confinamento dei materiali e quindi per l'interruzione dei percorsi verso la superficie sono più che adeguate in termini di rischio potenziale.

Il fatto che i materiali potenzialmente contenenti amianto risulteranno “sommersi” e la presenza della copertura realizzata con il sandwich contenente la geomembrana impermeabile in HDPE a sua volta sovrastata dalla pavimentazione rende praticamente inesistente qualunque percorso di esposizione.

Si ricorda che in tali casi potrebbe avere significato il percorso di inalazione di vapori da fratture esistenti nella pavimentazione superficiale ma il fatto che le sostanze inquinanti presenti siano di natura inorganica (e quindi di fatto involatili) e completamente “sommerse” permette di scartare tale potenziale percorso. Si segnala infatti che per nessuno dei metalli considerati viene indicato dall'ISS un valore per la costante di Henry, che rappresenta la capacità di un composto/elemento di liberarsi da una fase disciolta ad una fase vapore.

Peraltro, anche nel caso in cui vi fossero composti organici, la massa di questi che potrebbe essere soggetta a diffusione verso gli ipotetici recettori sarebbe del tutto trascurabile. Essendo i materiali sommersi il calcolo dovrebbe infatti prevedere:

- la solubilizzazione in acqua dei composti inquinanti;
 - la successiva volatilizzazione (secondo la legge di Henry) dalle acque interstiziali;
 - la diffusione attraverso eventuali lacerazioni del telo e fratture della soletta fino alla superficie (piano campagna).
-

Ed anche in questo caso subirebbe comunque l'effetto della diluizione da parte del vento.

Per quanto riguarda invece l'eventuale rilascio di sostanze inquinanti da parte dei materiali ormai confinati all'interno del rilevato è indubbio che tale percorso possa essere ritenuto assolutamente trascurabile.

Pur ipotizzando la presenza di discontinuità tra l'interno e l'esterno della conterminazione, già assunte per lo scenario di cantierizzazione, la diffusione dei contaminanti in questo caso sarebbe minima per l'assenza del battente idraulico tra interno ed esterno.

Per i motivi sopra esposti questo scenario non sarà oggetto di alcuna modellazione numerica.

A scopo di riferimento verrà comunque preso in considerazione il rischio calcolato per lo scenario di cantierizzazione specificando quali sono le differenze tra i due scenari ed effettuando le opportune considerazioni a riguardo.

La procedura di Analisi del Rischio

L'analisi di rischio può essere definita come un *processo sistematico per la stima di tutti i fattori di rischio significativi che intervengono in uno scenario di esposizione causato dalla presenza di pericoli*. In termini meno tecnici l'analisi di rischio è la stima delle conseguenze di eventi potenzialmente dannosi sulla salute umana e sull'ambiente.

Il rischio rappresenta quindi la probabilità che si verifichi una concomitanza di eventi dannosi e le relative conseguenze. In tal senso il rischio viene definito come il prodotto di un fattore di pericolosità, relativo alla tossicità delle sostanze, e di un fattore di esposizione, definito dall'assorbimento del bersaglio, ovvero:

$$\text{Rischio} = (\text{Fattore di pericolosità}) \times (\text{fattore di esposizione})$$

L'assorbimento da parte del bersaglio (recettore) dipende dalla concentrazione degli inquinanti e dagli scenari di esposizione specifici del sito.

La relazione riportata sopra può essere anche espressa nel modo seguente:

$$\text{Rischio} = (\text{Parametro di tossicità degli inquinanti}) \times (\text{Assorbimento del bersaglio})$$

Le fasi tecniche dell'analisi di rischio, ormai standardizzate (US EPA, 1993 e 1996, ASTM-RBCA, 1995 e succ.) sono le seguenti:

- identificazione delle sorgenti di contaminazione e degli scenari di rischio su cui stimare il fattore di esposizione;
- valutazione del rapporto dose/risposta (valutazione del parametro di tossicità);
- valutazione dell'esposizione (stima dell'assorbimento);
- quantificazione del rischio.

Il primo punto equivale di fatto a definire il modello concettuale del sito, così come elaborato nel capitolo precedente.

Successivamente occorre valutare la potenzialità degli inquinanti di causare un aumento nell'incidenza di effetti nocivi per la salute degli individui esposti e di stimare, dove possibile, la relazione tra entità dell'esposizione e severità degli effetti stessi.

Sulla base delle proprietà tossiche o cancerogene delle sostanze, individuate attraverso studi epidemiologici eseguiti generalmente su animali, viene determinata la relazione dose/risposta da cui è possibile ricavare, per estrapolazione, i valori di tossicità che sono espressi in termini di "*Reference Dose*" (RfD) per le sostanze tossiche e di "*Slope Factor*" (SF) per quelle cancerogene e che vengono riportati nei database riconosciuti a livello internazionale (in Italia si fa riferimento ai valori indicati dall'ISS).

In particolare, la *Reference Dose* rappresenta la dose media giornaliera al di sotto della quale non vi è il rischio di osservare effetti tossici (non cancerogeni) su un organismo, lo *Slope Factor* rappresenta la probabilità di contrarre il cancro in seguito ad esposizione, nel corso della vita, ad una dose giornaliera unitaria.

L'analisi dell'esposizione ha lo scopo di quantificare l'intensità, la frequenza e la durata dell'esposizione e prevede due fasi:

- stima della concentrazione di esposizione, che rappresenta la concentrazione dell'inquinante nella matrice a contatto con il recettore e viene calcolata partendo dalla concentrazione alla sorgente;
- calcolo dell'assorbimento (o assunzione), definito come l'esposizione totale normalizzata per il tempo e per il peso corporeo.

Il calcolo del rischio è definito in modo differente nel caso si tratti di sostanze tossiche (non cancerogene) o di sostanze cancerogene.

Per le sostanze cancerogene il rischio è espresso come probabilità incrementale per ogni individuo di contrarre il cancro durante la vita per effetto di un'esposizione a tali sostanze. Tale rischio viene definito come il prodotto fra l'assorbimento, ossia la massima dose giornaliera (*Maximum Daily Intake*, MDI, espressa in mg/kg d), e lo *Slope Factor* (SF, espresso kg d/mg):

$$\text{Rischio} = \text{MDI} * \text{SF}$$

Per le sostanze che presentano una tossicità cronica il rischio viene invece espresso come indice di pericolo (*Hazard Index*, HI) ed è definito come rapporto tra l'assorbimento, ossia la massima dose giornaliera (*Maximum Daily Intake*, MDI, espressa in mg/kg d) e la *Reference Dose* (RfD, espressa in mg/kg d):

$$\text{HI} = \text{MDI} / \text{RdF}$$

In questo caso i potenziali effetti tossici (non cancerogeni) non sono espressi in termini di probabilità bensì sono valutati comparando un livello di esposizione

(misurato in uno specifico periodo di tempo) con il livello di esposizione RfD sotto il quale si ritiene probabile che anche la popolazione più sensibile non manifesti effetti avversi sulla propria salute. Perciò se il livello di esposizione misurato (MDI) supera questa soglia ($MDI > RfD$ ovvero $HI > 1$), con molta probabilità si avranno degli effetti di tossicità cronica sui bersagli esaminati.

Metodologia di calcolo

L'analisi di rischio è costituita dalla risoluzione di un insieme complesso di equazioni matematiche i cui termini sono i diversi parametri caratteristici *del sito, delle sostanze contaminanti, e dei recettori*. Tale equazioni sono definite in numerose pubblicazioni scientifiche tra cui si possono citare quelle di maggior rilevanza:

- “Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites”, ASTM E 1739 – 95
- “Soil Screening Guidance”, EPA 540/R-96/018, 1996 e relativi allegati (utilizzato nell’ambito dei siti inseriti nell’ambito del “Superfund Act”, corrispondente, in Italia, all’anagrafe dei siti di interesse nazionale).
- “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati” – revisione Marzo 2008, ISPRA-APAT e relativi allegati, che riporta un compendio delle metodologie utilizzate a livello internazionale

Tali pubblicazioni permettono di modellare la maggior parte dei percorsi di esposizione individuati nel modello concettuale del sito. La restante parte è modellabile mediante considerazioni specifiche del percorso di esposizione insieme all’applicazione di leggi fondamentali della chimica-fisica e dall’esecuzione di bilanci di massa.

Esistono software specifici per il calcolo dei valori di rischio basati su ASTM RBCA o su CONCAWE (ad es. RBCA Toolkit 2.5, ROME, Giuditta, ecc.) che

permettono di stimare il rischio nei casi in cui il modello concettuale del sito sia semplice.

In casi più complessi è comunque necessario fare riferimento a pubblicazioni più specifiche, utilizzando, se del caso, anche modelli del tipo *Fate&Transport*, per stimare la diffusione della contaminazione nelle varie matrici ambientali.

Dal momento che il Modello Concettuale del sito si differenzia notevolmente da quello normalmente adottato nei siti contaminati e prevede percorsi di esposizione solitamente non considerati, non è possibile utilizzare i software a disposizione per questo tipo di modellazione.

La metodologia utilizzata nel caso in esame farà pertanto riferimento alle equazioni riportate nella letteratura scientifica (essenzialmente US EPA e ASTM RBCA, in parte presenti nei software menzionati sopra).

Le assunzioni alla base della modellazione si sono basate sui dati analitici reali e/o su dati disponibili sulle banche dati riconosciute a livello nazionale (ISS / ISPRA) ed internazionale.

Per comprendere la metodologia seguita verrà riportata una dettagliata descrizione delle procedure di calcolo facendo riferimento ai percorsi indicati nello schema di modello concettuale riportato in Figura 6.

In particolare si seguirà l'ipotetico percorso del singolo contaminante dalla sua sorgente di emissione fino al potenziale recettore assunto come riferimento.

Risultati della modellazione

Calcolo della concentrazione al recettore

Nel presente capitolo verranno presentati i dati assunti per la modellazione e le formule utilizzate per i calcoli, partendo dalle concentrazioni alla sorgente fino ad arrivare alle concentrazioni stimate ai potenziali recettori, calcolando poi il rischio verso questi ultimi.

Verranno quindi calcolate le CSR, ossia la massime concentrazioni entro cui il rischio verso i recettori considerati risulta accettabile.

Per la definizione delle concentrazioni alla sorgente, data la numerosità dei campioni, sarebbe lecito effettuare una elaborazione statistica per il calcolo dell'UCL95 ossia dell'Upper Confidential Limit al 95%.

Tuttavia, al fine di mantenere le condizioni di massima conservatività, sono state assunte le concentrazioni più alte riscontrate in tutti i campioni prelevati, che risultano quelle riportate nella tabella seguente.

Tabella 1

Parametro	Concentrazione (mg/kg s.s.)
<i>arsenico</i>	49
<i>cobalto</i>	61,3
<i>cromo</i>	1.069
<i>nicel</i>	2.786
<i>rame</i>	1.403

Per calcolare la concentrazione dei metalli nelle acque della cassa di colmata si è assunto che i materiali depositati raggiungano uno stato di equilibrio e si ripartiscano seguendo la definizione del coefficiente di ripartizione solido-liquido, K_s :

$$K_s = \frac{C_{materiale}}{C_{acqua}}$$

da cui

$$C_{acqua} = \frac{C_{materiale}}{K_s}$$

Il coefficiente di ripartizione solido-liquido è un parametro che varia in funzione del pH oltre che delle caratteristiche chimico-fisiche dei terreni/acque in cui lo specifico inquinante si trova (potenziale di ossido riduzione, ossigeno disciolto, salinità delle acque, ecc.).

Il gruppo di lavoro APAT-ARPA-ISS-ISPEL, nel giugno 2008, ha elaborato un documento che inseriva il pH ed il K_s tra i parametri sito-specifici da determinare nella fase di applicazione dell'analisi di rischio (*Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei parametri sito-specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del DLgs 152/06*), indicando come riferimento analitico il metodo elaborato da APAT con nota 11376 del 4 Aprile 2007. In caso di assenza di dati analitici specificava la necessità di utilizzare valori ottenuti applicando criteri conservativi.

Nel caso in esame, non essendo disponibili dati sito-specifici si è fatto riferimento, per ciascun contaminante, ai valori indicati nel database dell'ISS nella sua versione più aggiornata.

Per i parametri *arsenico*, *cromo* e *nicel*, non essendo indicato un valore specifico, sono stati utilizzati i valori riportati nel documento APAT (*Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati – revisione Marzo 2008 – Appendice O*) assumendo un pH pari a 8 (ossia pari al valore minimo rilevato nel corso delle campagne di monitoraggio effettuate in mare). Si fa presente che, nel caso in esame, la scelta del valore minimo è conservativa in quanto la ripartizione in fase liquida dei metalli pesanti tende ad aumentare al diminuire del valore del pH.

I valori assunti, insieme al risultato dei calcoli è riportato nella tabella seguente:

Tabella 2

Parametro	Coefficiente di ripartizione Ks (mg/kg) / (mg/l)	Concentrazione nelle acque all'equilibrio (mg/l)
arsenico	31	1,58
cobalto	54,6	1,12
cromo	4,3E+06	0,00025
nicel	1.900	1,47
rame	35	40,1

Secondo il Modello Concettuale assunto le acque contenute nella cassa di colmata diffondono verso l'esterno attraverso ipotetiche fratture dei cassoni o discontinuità presenti nei giunti e si miscelano con le acque del canale di calma.

Per modellare tale fenomeno è stato necessario ipotizzare l'entità delle discontinuità e quindi calcolare la portata delle acque attraverso tali fratture.

L'area delle fratture è stata assunta facendo riferimento ai criteri statistici riportati nel documento APAT *Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche – revisione Giugno 2005*, dove, a pag 67, nel paragrafo “*Fessure presenti nello strato artificiale di fondo: percentuale ed estensione*”, viene riportata una tabella con l'area stimata dei difetti per ettaro di superficie.

Assumendo il valore più cautelativo riportato, pari a **0,01 m²/ha**, ed applicandolo alla superficie totale di separazione tra le acque interne alla cassa di colmata e quelle esterne (nel canale di calma) ossia la” superficie potenzialmente trasmissiva” si ottiene quanto segue:

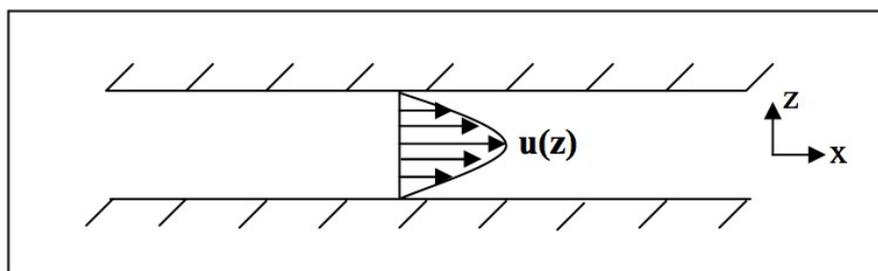
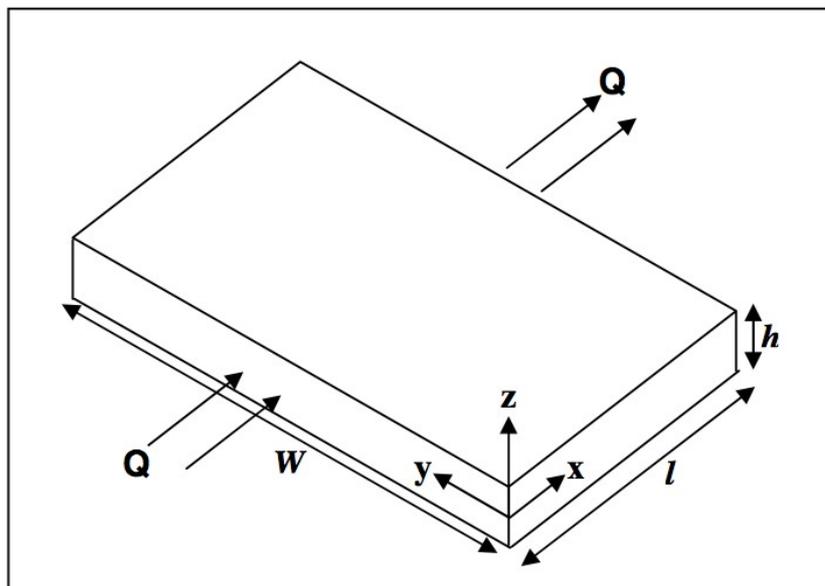
- spessore della colonna d'acqua: ~ **12 m**;
- perimetro cassa di colmata (escluso il rilevato aeroportuale): **3.971 m**;
- Area potenzialmente trasmissiva: $3971 \times 12 = \mathbf{47.650\ m^2}$, pari a **4,76 ha**;

- Superficie totale delle fratture/discontinuità: $0,01 \times 4,74 = \sim 0,05 \text{ m}^2$;

Come si può osservare l'area totale stimata per le fratture è estremamente bassa (5 dm^3), assimilabile ad un rettangolo di $10 \times 5 \text{ cm}$.

Per calcolare il flusso di acqua attraverso le fratture è stato adottato il *parallel plate model* (Huitt, 1955; Snow, 1965), che stima il flusso attraverso fratture immaginando che le stesse siano assimilabili allo spazio compreso tra 2 lastre parallele, come indicato nella figura seguente.

Figura 7



Secondo tale modello la portata attraverso le fratture è calcolabile con la formula seguente:

$$Q_x = \frac{Wh^3 (P_i - P_0)}{12\mu l}$$

Dove i parametri indicati sono quelli indicati nella Figura 7, ossia:

Q_x: Portata attraverso le fratture

W: Lunghezza della frattura

h: Larghezza della frattura

l: profondità della frattura

μ: Viscosità dinamica dell'acqua

P_i – P₀: Differenza di pressione tra i due lati della frattura

Assumendo di distribuire l'area delle discontinuità calcolata sopra (5 dm²) su fratture di larghezza pari a **5 mm**, si ottiene una lunghezza complessiva delle fratture di circa **10 m** (nel calcolo della portata è ininfluente assumere la presenza di un'unica frattura o di n fratture).

Assumendo inoltre una profondità delle fratture (spessore dei manufatti soggetti a fratturazione) pari a **50 cm**, ed un battente ipotetico di **10 cm** di acqua tra l'interno e l'esterno della conterminazione (in realtà si ricorda non esiste alcuna differenza di pressione in quanto le acque in eccesso sono pompate al depuratore o al circuito slurry) si ottiene una portata d'acqua in uscita dalla cassa di colmata (attraverso le fratture) pari a:

$$Q_x = 0,021 \text{ m}^3/\text{s}$$

A questo punto è necessario calcolare l'effetto della diluizione di tale portata da parte delle acque che transitano nel canale di calma, e quindi determinare la concentrazioni finale nelle acque del canale di calma stesso.

A tal fine si fa riferimento al tasso di ricambio peggiore riportato nello Studio di Impatto Ambientale (cfr. *Quadro di Riferimento Ambientale*, paragrafo “3.3.6.2.2 *Il tempo di ricambio*” - pag. 102) che riporta un tempo di ricambio massimo di **68 ore** sull'estremità ovest del canale di calma.

Sempre adottando criteri conservativi si è assunto che tale tempo di ricambio si riferisca a tutte le acque comprese nel canale di calma, una volta “ristretto” dagli interventi in progetto, e quindi vi sia una portata costante delle stesse lungo tutta la lunghezza del canale.

In tal modo è possibile calcolare la velocità lineare delle acque che risulta pari a:

$$v_l = 3.611 \text{ m} / 68 \text{ ore} = \mathbf{57.350 \text{ m/ora}}$$
, corrispondenti a $\sim \mathbf{0,015 \text{ m/s}}$

Conoscendo le dimensioni del canale di calma (profondità assunta di 12 m e larghezza di 60 m) si può calcolare la sezione trasversale attraversata dalla corrente, pari ad $\mathbf{A_{cc} = 720 \text{ m}^2}$ e quindi la portata delle acque, che risulta:

$$\mathbf{Q_{cc} = 720 \times 0,015 = \sim 10,6 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Riepilogando:

- *Portata minima acque del canale di calma: **10,7 m³/s***
- *Portata acqua uscente dalle ipotetiche fratture: **0,021 m³/s***

A questo punto è possibile calcolare, per ciascun inquinante considerato, la concentrazione finale nelle acque del canale di calma, una volta avvenuta la miscelazione.

La formula utilizzata è la seguente:

$$C_{mix} = \frac{C_{acque} Q_{ff} + C_{cc} Q_{cc}}{Q_{ff} + Q_{cc}}$$

Il risultato dei calcoli è riportato nella tabella seguente:

Tabella 3

Parametro	Concentrazione finale nel canale di calma ($\mu\text{g/l}$)
<i>arsenico</i>	3,09
<i>cobalto</i>	2,2
<i>cromo</i>	0,00049
<i>nicel</i>	2,87
<i>rame</i>	78,5

Le concentrazioni riportate nelle Tabelle 1 e 3 saranno utilizzate per il calcolo del rischio da contatto dermico e ingestione accidentale rispettivamente per i lavoratori addetti alle operazioni nella cassa di colmata e per i fruitori delle aree esterne (canale di calma).

Continuando il percorso indicato nel Modello Concettuale del sito (cfr. Figura 6) è necessario calcolare il passaggio dei composti inquinanti nei pesci/mitili che potrebbero stazionare nel canale di calma durante il periodo di cantierizzazione e che di conseguenza potrebbero favorire l'entrata di questi composti nella catena alimentare.

A tal fine si utilizza il fattore di bioconcentrazione, definito come il rapporto tra la concentrazione presente nei tessuti del pesce e la concentrazione nelle acque in cui il pesce staziona:

$$BCF = \frac{C_{fish}}{C_{water}}$$

La ricerca scientifica sulla bioconcentrazione di metalli pesanti nei pesci ha evidenziato che tale fenomeno dipende da una molteplicità di fattori differenti anche se il più importante è ovviamente la concentrazione dei metalli nelle acque. Tuttavia è stato dimostrato che, a parità di concentrazione, il fattore di bioconcentrazione può variare notevolmente da metallo a metallo e non necessariamente varia in maniera lineare con la biodisponibilità degli stessi.

Gli studi effettuati in diverse parti del mondo, sia su acqua dolce che su acqua salata, riportano fattori di bioconcentrazione nei pesci variabili da 0,1 a qualche unità, dimostrando quindi come questo parametro non dipenda soltanto dalla concentrazione dei metalli nelle acque ma anche delle condizioni abiotiche del corpo idrico considerato (pH, potenziale di ossido-riduzione, ossigeno disciolto, salinità, ecc.).

Nel caso in esame, per alcuni parametri (*arsenico*, *nichel* e *rame*), è stato possibile calcolarli sperimentalmente prendendo come riferimento i dati raccolti (valori medi) nel corso degli anni dalle stazioni di rilevamento ubicate in prossimità della diga foranea, sia per le acque che per i mitili (si è assunta la concentrazione nei mitili come rappresentativa anche dei pesci).

Per i restanti parametri il calcolo non è possibile in quanto non sono stati analizzati (*cobalto*) o la concentrazione in acqua è risultata inferiore al limite di rilevabilità analitica (*cromo*). Per quest'ultimo è stato calcolato il valore assumendo una concentrazione nelle acque pari al limite di rilevabilità analitica (1 µg/l) mentre per il *cobalto* si è assunto cautelativamente il valore massimo determinato per tutti gli altri parametri

I valori assunti sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 4

Parametro	Fattore di Bioconcentrazione
<i>arsenico</i>	4,77
<i>cobalto</i>	4,77 (assunto)
<i>cromo</i>	3,87
<i>nichel</i>	1,51
<i>rame</i>	3,76

Applicando la definizione stessa del fattore di bioaccumulo è possibile calcolare la concentrazione dei contaminanti considerati nei pesci che risulta quella riportata nella tabella seguente.

Tabella 5

Parametro	Concentrazione nei pesci (mg/kg)
arsenico	1,48E-02
cobalto	1,05E-02
cromo	1,88E-06
nicel	4,33E-03
rame	2,95E-01

Calcolo della Massima Esposizione Giornaliera (MDI)

La Massima Esposizione Giornaliera (Maximum Daily Intake) definito in precedenza (cfr. paragrafo *La procedura di Analisi di Rischio*) viene calcolata per ciascuno dei percorsi di esposizione a cui il recettore (uomo) è sottoposto.

Nel caso in esame i percorsi sono essenzialmente 3:

- Contatto dermico (sia con acque interne al bacino di colmata che con acque esterne).
- Ingestione accidentale delle acque di cui al punto precedente (es. mani/dita bagnate in bocca).
- Ingestione di pesce pescato nel canale di calma

Il calcolo della MDI varia a seconda del percorso e dipende da fattori che esprimono il tasso di assimilazione della matrice (es. tasso di ingestione o fattore di aderenza) e da fattori temporali (durata dell'esposizione).

Nel caso del contatto dermico la formula è la seguente:

$$MDI_{cd} = \frac{C_m M SA RAF_d FS EF ED}{BW AT 365}$$

Nel caso dell'ingestione la formula è la seguente:

$$MDI_{ing} = \frac{C_m Fi IR RAF_o EF ED}{BW AT 365}$$

dove

Cm: Concentrazione nella matrice a contatto con la pelle (acqua) o ingerita (acqua / pesce);

M: Fattore di aderenza (indicato da ASTM RBCA = 0,5 mg/cm²);

SA: Superficie della pelle esposta (indicato da APAT: 17.938 cm²/giorno);

FS: Frazione della pelle esposta (indicato da APAT = 0,2);

RAFd: Fattore di Assorbimento Dermico (dipendente dalla sostanza – database ISS);

RAFo: Fattore di Assorbimento Gastro Intestinale (dipendente dalla sostanza- database RBCA Toolkit 2.5);

	<i>arsenico</i>	<i>cobalto</i>	<i>cromo</i>	<i>nicel</i>	<i>rame</i>
<i>RAFo</i>	0,95	0,8	0,013	0,04	0,57
<i>RAFd</i>	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01

EF: Frequenza di esposizione (indicato da ASTM RBCA = 350 giorni/anno);

ED: Durata dell'esposizione (durata stimata dell'intervento = 8 anni);

BW: Peso corporeo (indicato da ASTM RBCA = 70 kg, per I bambini si assume solitamente un BW = 15 kg);

AT: Tempo di mediazione (AT = 70 anni per le sostanze cancerogene / AT = ED per le sostanze non cancerogene);

Fi: Frazione di matrice effettivamente ingerita (assunto = 0,75);

IR: Tasso di ingestione (si è utilizzato il valore ricavato da assunzioni ARPAV che indica un tasso medio di ingestione di pesce pari a 40 g/giorno e si è assunto che l'ingestione del pesce pescato dal canale di calma sia pari 10 g/giorno (25%). Per I bambini si assume solitamente un fattore 0,5 rispetto agli adulti: nel caso in esame risulta quindi un'assunzione di 5 g/giorno

Per le acque si è assunta un'ingestione accidentale pari ad 1 g/giorno);

Le Massime Esposizioni Giornaliere vengono riportate nelle tabelle seguenti. Per il percorso relativo all'ingestione (sia di pesce che di acqua) sono state riportate le MDI per i bambini in quanto sono risultate le più cautelative.

Tabella 6: MDI per ingestione (pesce - acqua)

Parametro	MDI canc. Ing. (pesce) [mg/kg _{bw} day]	MDI non canc. Ing. (pesce) [mg/kg _{bw} day]	MDI canc. Ing. (acqua) [mg/kg _{bw} day]	MDI non canc. Ing. (acqua) [mg/kg _{bw} day]
<i>arsenico</i>	3,84E-07	3,36E-06	2,15E-08	1,88E-07
<i>cobalto</i>	2,30E-07	2,01E-06	1,28E-08	1,12E-07
<i>cromo</i>	6,71E-13	5,87E-12	4,62E-14	4,04E-13
<i>nicel</i>	4,75E-09	4,16E-08	8,39E-10	7,34E-09
<i>rame</i>	4,61E-06	4,03E-05	3,27E-07	2,86E-06

Tabella 7: MDI per contatto dermico (acque interne casse di colmata – acque esterne bacino di calma)

Parametro	MDI canc. (casse di colmata) [mg/kg _{bw} day]	MDI non canc. (casse di colmata) [mg/kg _{bw} day]	MDI canc. (canale di calma) [mg/kg _{bw} day]	MDI non canc. (canale di calma) [mg/kg _{bw} day]
<i>arsenico</i>	1,33E-07	1,17E-06	2,61E-10	2,28E-09
<i>cobalto</i>	3,15E-08	2,76E-07	6,17E-11	5,40E-10
<i>cromo</i>	6,98E-12	6,11E-11	1,37E-14	1,20E-13
<i>nicel</i>	4,12E-08	3,60E-07	8,06E-11	7,05E-10
<i>rame</i>	1,13E-06	9,85E-06	2,20E-09	1,93E-08

Calcolo del Rischio

Applicando la definizione del rischio riportata in precedenza ed utilizzando i valori indicati dall'ISS per la Reference Dose e per lo Slope Factor si ottengono i seguenti risultati:

Tabella 8: Rischio per ingestione (pesce - acqua)

Parametro	Rischio canc. Ing. (pesce)	HI Ing. (pesce)	Rischio canc. Ing. (acqua)	HI Ing. (acqua)
<i>Limiti</i>	1,00E-06	1,0	1,00E-06	1,0
arsenico	5,76E-07	1,12E-02	3,22E-08	6,26E-04
cobalto	-	1,01E-04	-	5,62E-06
cromo	-	3,91E-12	-	2,70E-13
nicel	-	2,08E-06	-	3,67E-07
rame	-	1,01E-03	-	7,15E-05

Tabella 9: Rischio per contatto dermico (acque interne casse di colmata – acque esterne bacino di calma)

Parametro	Rischio canc. (casse di colmata)	HI (casse di colmata)	Rischio canc. (canale di calma)	HI (canale di calma)
<i>Limiti</i>	1,00E-06	1,0	1,00E-06	1,0
arsenico	2,00E-07	3,88E-03	3,91E-10	7,60E-06
cobalto	-	1,38E-05	-	2,70E-08
cromo	-	4,07E-11	-	7,97E-14
nicel	-	1,80E-05	-	3,53E-08
rame	-	2,46E-04	-	4,82E-07

Come si può osservare dalle tabelle sopra riportate, il rischio risulta accettabile pur avendo ipotizzato uno scenario del tutto irrealistico ed avendo assunto parametri con criteri conservativi, ossia:

- le concentrazioni massime riscontrate nei materiali come rappresentative di tutta la massa di smarino che verrà utilizzata nel riempimento;
- i tempi massimi di ricambio delle acque stimati nel canale di calma;

- una scarsa efficienza del sistema di pompaggio delle acque dal bacino di colmata, con conseguente formazione di un battente tra interno ed esterno;
- che il lavoratore addetto alle attività previste da progetto entri a contatto con le acque per 350 giorni all'anno;
- che il pescatore vada a pescare ed ingerisca (insieme alla sua famiglia, bambini compresi) 10 g di pesce contaminato al giorno per 350 giorni all'anno (5 g/giorno i bambini);

Pertanto i valori ottenuti hanno un valore puramente indicativo e dimostrano che anche non adottando le cautele previste dal progetto il rischio sarebbe comunque accettabile.

Calcolo delle CSR

Il calcolo delle CSR, nel caso specifico, ha scarso significato in quanto, come già più volte ribadito, non esiste un modello concettuale realistico, essendo interrotti tutti i percorsi di esposizione.

Si ricorda che il calcolo delle CSR ha lo scopo di individuare un obiettivo a cui fare riferimento per stabilire se il materiale possa o non possa essere riutilizzato per il riempimento della cassa di colmata.

Nel caso in esame si ritiene a priori che le CSR relative ai parametri considerati potrebbero essere tranquillamente assunte tutte pari al massimo valore possibile (ossia $1,0E+06$ mg/kg).

Tuttavia per mantenere la stessa filosofia che ha caratterizzato il presente studio si è deciso comunque di calcolare dei valori di riferimento.

Per calcolare le CSR sono stati pertanto variati alcuni parametri in modo da mantenere il modello concettuale “attivo” ma renderlo maggiormente realistico.

In particolare:

- è stato ipotizzato un tempo di ricambio medio del canale di calma di circa 40 ore (anziché 68 ore);
- è stato abbassato il battente delle acque nella cassa di colmata a 2 cm (anziché 10 cm), pur mantenendo le stesse fratture;
- è stata assunta una frequenza di esposizione dei recettori esterni (usi ricreativi del canale di calma) di 52 giorni all'anno (pari ad 1 volta alla settimana, anziché 350 giorni/anno), pur non variando il quantitativo di pesce ingerito (10 g/giorno per gli adulti e 5 g/giorno per i bambini).
- è stata assunta una frequenza di esposizione dei recettori addetti alle lavorazioni nella cassa di colmata (solo per il contatto dermico) di 240 giorni all'anno, in linea con quanto solitamente previsto per le attività commerciali / industriali.

Una volta applicate le modifiche si è proceduto al calcolo delle CSR per tutti i percorsi, scegliendo poi il valore inferiore tra quelli ottenuti.

Le CSR ottenute (massime concentrazioni ammesse nei materiali scaricati nella cassa di colmata) sono risultate le seguenti:

Tabella 10: Concentrazioni Soglia di Rischio

Parametro	CSR (mg/kg)	CSR (mg/kg)	CSR (mg/kg)	CSR (mg/kg)
	Ingestione pesce (bambini)	Ingestione acqua (bambini)	Contatto dermico acque canale di calma	Contatto dermico acque cassa di colmata
<i>arsenico</i>	4.860	86.900	> 1,00E+06	358
<i>cobalto</i>	> 1,00E+06	> 1,00E+06	> 1,00E+06	> 1,00E+06
<i>cromo</i>	> 1,00E+06	> 1,00E+06	> 1,00E+06	> 1,00E+06
<i>nicel</i>	> 1,00E+06	> 1,00E+06	> 1,00E+06	> 1,00E+06
<i>rame</i>	> 1,00E+06	> 1,00E+06	> 1,00E+06	> 1,00E+06

Come si può osservare dalla Tabella 10 per tutti i metalli, ad eccezione dell'*arsenico*, è ammessa la concentrazione massima possibile (corrispondente ad 1 kg/kg) ossia non vi è alcun rischio connesso alla loro presenza nei materiali.

Il parametro *arsenico* presenta Concentrazioni Soglia di Rischio variabili a seconda del percorso di esposizione considerato, con un valore minimo pari a 358 mg/kg legato al percorso relativo al contatto dermico da parte dei lavoratori addetti alle attività previste dal progetto, ammettendo ovviamente che non siano dotati di Dispositivi di Protezione Individuale adeguati (es. guanti) e che entrino in contatto con le acque ogni giorno, per 240 giorni/anno.

Considerazioni sullo scenario futuro

La modellazione eseguita per lo scenario di cantierizzazione ha evidenziato che il rischio presente nella fase di esecuzione delle opere è del tutto trascurabile anche ammettendo un modello concettuale estremamente conservativo.

Lo scenario futuro si differenzia da quello di cantierizzazione appena modellato per i seguenti aspetti:

- non è possibile il contatto dermico diretto con le acque della cassa di colmata in quanto sarà presente la copertura impermeabilizzata;
- non vi sarà alcuna differenza di pressione tra le acque interstiziali presenti tra i materiali contenuti nel nuovo rilevato e quelle del canale di calma e quindi flusso attraverso le fratture sarà del tutto trascurabile.

Questi due aspetti sono sufficienti ad annullare del tutto qualunque percorso di esposizione verso i recettori presenti, confermando che lo scenario più critico rimane quello di cantierizzazione.

Conclusioni

Lo studio condotto ha dimostrato che il rischio associato agli interventi di ampliamento del rilevato aeroportuale con i materiali derivanti dagli scavi connessi alla realizzazione della Gronda di Ponente è assolutamente trascurabile, pur in presenza di concentrazioni di alcuni metalli pesanti superiori ai limiti indicati dalla normativa.

In particolare è stato messo in evidenza come, adottando le modalità operative previste dal progetto e considerando le cautele che verranno adottate durante l'esecuzione delle opere, non esista alcun Modello Concettuale significativo in grado di mettere in comunicazione i contaminanti presenti alla sorgente (anche alle massime concentrazioni riscontrate) con i potenziali recettori considerati.

Per dimostrare che il rischio sarebbe trascurabile anche nel caso in cui venissero completamente disattese le precauzioni operative previste dal progetto è stato introdotto uno scenario di cantierizzazione estremamente cautelativo (molto poco realistico), assumendo parametri molto conservativi ed immaginando che il potenziale recettore violi regolarmente i divieti presenti nelle aree portuali (divieto di balneazione, di pesca e di accesso ai piccoli natanti).

Pur con tali assunzioni il rischio calcolato è sempre risultato accettabile e le CSR largamente superiori ai massimi valori di concentrazione riscontrati nei campioni analizzati (l'unico metallo che ha presentato CSR inferiori ai massimi valori possibili è stato l'*arsenico*).

I risultati della modellazione indicano pertanto che l'intervento di riempimento a mare, con le modalità operative e le precauzioni previste dal progetto, è del tutto compatibile con gli scenari di esposizione previsti (e potenziali) e quindi, per l'esecuzione dello stesso, potranno essere utilizzati i materiali provenienti dagli scavi, qualunque sia il loro tenore dei metalli considerati.

Genova, 13 maggio 2011

I.A. Industria Ambiente S.r.l.

Dott. Alessandro Girelli

