

7. STRUMENTI ADOTTATI NELLE ELABORAZIONI SVOLTE

7.1 STRUMENTI CARTOGRAFICI

Le carte tematiche sono state sviluppate con il software ArcGis (ESRI).

Si è ritenuto utile sfruttare la capacità dello strumento GIS di rappresentare valori associati a punti sul territorio per meglio esprimere l'andamento delle concentrazioni con la profondità, piuttosto che la distribuzione degli inquinanti in rapporto tra loro.

Inoltre, come base topografica sono stati utilizzati i CTR in scala 1:10.000 (squadro 248070 e 248110), forniti dal Sitar della Regione Liguria, e rappresentativi dell'area.

La cartografia prodotta riporta la perimetrazione del sito, così come stabilita dal DM 27.02.2001, fornita in copia conforme dalla Regione Liguria e la delimitazione delle aree private, dei depositi di ceneri e carbonili, delle discariche e delle zone militari, tracciata sia sulla base delle conoscenze del territorio e della documentazione disponibile in Agenzia, sia sulla base di quanto trasmesso dal Comune della Spezia.

La carta geologica è stata realizzata utilizzando l'assetto tettonico e geostrutturale a scala regionale desunto dal Foglio 248 "La Spezia" della Carta Geologica d'Italia (Firenze, 2003), a scala 1:50.000, edito dalla Regione Liguria – Dipartimento Tutela dell'Ambiente ed Edilizia – Settore Assetto del Territorio e Controllo Tecnico; per quanto riguarda gli elementi geomorfologici rilevanti (grandi coperture alluvionali) è stata consultata la cartografia fornita dal Comune della Spezia.

Infine, la carta in cui è indicata la destinazione d'uso delle aree indagate è stata elaborata sulla base della cartografia trasmessa dal Comune della Spezia e delle informazioni fornite dal Comune di Lerici. In particolare, la parte del sito di Pitelli che ricade nel Comune di Lerici, secondo quanto riportato nel Piano Urbanistico Comunale, rientra nella destinazione d'uso "verde" ad eccezione della zona lungo la costa (denominata dal Piano TR1) per la quale non è stato possibile definire una destinazione d'uso specifica, in quanto risulta ad uso turistico-ricettivo, commerciale e residenziale.

I risultati delle analisi eseguite sui campioni relativi ai suoli superficiali ed ai diversi livelli delle carote prelevate sono stati analizzati mediante l'ausilio di due rappresentazioni cartografiche, come di seguito descritte e riportate in allegato alla presente relazione:

1) La prima rappresentazione è stata basata sul numero di superi, rispetto alle due diverse destinazioni d'uso previste per le aree indagate, rilevati nelle varie stazioni sui diversi livelli di profondità analizzati. Pertanto, se il punto ricade in area ad uso verde pubblico, privato e residenziale, i risultati analitici vengono confrontati con la Tabella 1, Col. A del DM 471/99, mentre se il punto ricade in area ad uso commerciale e industriale il confronto viene effettuato con i valori della Col. B. Relativamente al parametro Arsenico è stato stabilito (si veda cap. 8.2.3) un valore di fondo naturale dell'area pari a 50 mg/Kg, peraltro coincidente con il limite di Col. B del DM 471/99, che è diventato pertanto il limite di riferimento adottato nelle rappresentazioni cartografiche.

Sulla base del numero di superi sono stati adottati semafori di diverso colore:

- ✓ *verde* quando nessun parametro supera i valori di intervento;
- ✓ *giallo* per i campioni in cui si riscontra 1 supero;
- ✓ *arancione* nel caso in cui i superi siano da 2 a 3;
- ✓ *rosso* nel caso in cui i superi siano da 4 a 6;
- ✓ *marrone* nel caso in cui i superi siano da 7 a 9;
- ✓ *viola* nel caso in cui i superi siano da 10 a 20;
- ✓ *nero* quando più di 20 parametri superano i valori di intervento.

Tali rappresentazioni sono state prodotte per tutti gli strati superficiali e profondi (Tav. 8.1.1 “Numero di superi, rispetto alla destinazione d’uso delle aree, dei parametri rilevati nei suoli, complessivi di tutte le profondità”) e per ciascuno dei due strati più superficiali C1 (Tav. 8.1.2 “Numero di superi, rispetto alla destinazione d’uso delle aree, dei parametri rilevati nei suoli, nello strato 0-0.1 m”) e C2 (Tav. 8.1.3 “Numero di superi, rispetto alla destinazione d’uso delle aree dei parametri rilevati nei suoli, nello strato 0.1 - 1 m”).

Inoltre, considerato l’elevato numero di superi, la carta complessiva di tutte le profondità è stata prodotta anche separando i parametri inorganici (metalli e amianto) - Tav. 8.1.4 “Numero di superi, rispetto alla destinazione d’uso delle aree, dei parametri inorganici rilevati nei suoli, complessivi di tutte le profondità” da quelli organici (PCB, IPA, solventi aromatici e clorurati, idrocarburi, diossine) - Tav. 8.1.5 “Numero di superi, rispetto alla destinazione d’uso delle aree, dei parametri organici rilevati nei suoli, complessivi di tutte le profondità”.

2) La seconda rappresentazione cartografica è stata basata sui livelli di concentrazione dei principali inquinanti, riscontrati negli strati C1 e C2, adottando semafori di diverso colore in funzione dei livelli riscontrati:

- Per i parametri As, Zn, Pb:
 - ✓ *verde per valori inferiori/uguali* al limite della Tabella 1, Col. A del DM 471/99;
 - ✓ *giallo per valori superiori* al limite della Tabella 1, Col. A del DM 471/99, ma *inferiori/uguali* al limite della Col. B;
 - ✓ *rosso per valori superiori* al limite della Col. B;
 - ✓ *viola per valori 10 volte superiori* al limite della Col. B (utilizzato solo per Pb, considerata la rilevanza dei superi);

Poiché per l'Arsenico è stato individuato un valore di fondo naturale superiore al limite di cui alla Tabella 1, col. A (cfr. cap. 8.2.3), sono state realizzate due carte ulteriori relative a tale parametro per gli strati C1 e C2, utilizzando come limite di riferimento il valore stabilito come fondo naturale (Tav. 8.11.1 e Tav. 8.11.2).

- Per il parametro Hg:
 - ✓ *verde per valori inferiori/uguali* al limite della Tabella 1, Col. A del DM 471/99;
 - ✓ *giallo per valori superiori* al limite della Tabella 1, Col. A del DM 471/99, ma *inferiori/uguali* al limite della Col. B;
 - ✓ *arancio per valori superiori* al limite della Col. B, ma *inferiori/uguali a 10 volte* al limite della Col. B;
 - ✓ *rosso per valori 10 volte superiori* al limite della Col. B.
- Per il parametro PCB:
 - ✓ *verde per valori inferiori/uguali* al limite della Tabella 1, Col. A del DM 471/99;
 - ✓ *giallo per valori superiori* al limite della Tabella 1, Col. A del DM 471/99, ma *minore di 10 volte* al limite della Col. A;
 - ✓ *arancio per valori superiori a 10 volte* il limite della Col. A del DM 471/99, ma *minore di 100 volte* al limite della Col. A;
 - ✓ *rosso per valori superiori a 100 volte* il limite della Col. A, ma *inferiori/uguali* al limite della Col. B;
 - ✓ *viola per valori superiori* al limite della Col. B.

- Per i parametri idrocarburi pesanti (C>12) e per gli IPA più rappresentativi quali benzo(a)pirene e benzo(g,h,i)perilene:
 - ✓ *verde per valori inferiori/uguali* al limite della Tabella 1, Col. A del DM 471/99;
 - ✓ *giallo per valori superiori* al limite della Col. A del DM 471/99, ma *inferiori/uguali* di 10 volte al limite della Col. A;
 - ✓ *arancio per valori superiori a 10 volte* al limite della Col. A, ma *inferiori/uguali* al limite della Col. B;
 - ✓ *rosso per valori superiori* al limite della Col. B.

Per quanto riguarda le acque superficiali sono state elaborate delle carte contenenti i seguenti tematismi specifici:

- punti di prelievo;
- istogrammi con valori medi e massimi di concentrazione, riferiti ad ogni singolo punto di prelievo.

Sono stati rappresentati esclusivamente i parametri che si sono rivelati maggiormente critici sui tre bacini monitorati (BOD5, COD, solfati, ammoniaca totale, nitriti, nitrati, materiali in sospensione).

7.2 STRUMENTI STATISTICI E DI ELABORAZIONE

7.2.1 Elaborazione stratigrafie

L'elaborazione dei dati geolitologici, acquisiti in situ durante l'effettuazione dei sondaggi, è avvenuta tramite l'utilizzo del Sistema Informativo delle Bonifiche (S.I.B.), che a questo scopo genera un database completo di elementi stratigrafico - geotecnici, necessari per una classificazione del materiale sondato come le caratteristiche litologiche, la granulometria, la coesione, la plasticità, l'addensamento integrati da riscontri visivi e olfattivi effettuati in campo su eventuali anomalie di determinati intervalli stratigrafici, relativamente all'eventuale presenza di contaminazioni.

Il passaggio successivo ha riguardato l'utilizzo del software **Strater** che implementa i dati fondamentali presenti sul S.I.B. per quanto riguarda le caratteristiche geologiche.

Strater consente di produrre un allegato grafico comprensivo di colonna stratigrafica con la definizione degli intervalli geolitologici e la relativa descrizione delle classi di materiali riscontrati. La litologia è stata successivamente affiancata da campi comprensivi degli intervalli di campionamento (campioni prelevati e relativo codice) e da campi relativi agli elementi organici e inorganici che eccedono il limite di riferimento assunto. Seguendo tale procedura, è stata ottenuta una stratigrafia comprensiva di elementi geotecnici e analitici in funzione della profondità (All. 8.3).

7.2.2 Elaborazioni statistiche

Per l'elaborazione grafica dei dati analitici è stato utilizzato diffusamente il software **S-Plus** che permette di visualizzare, aggregare e disaggregare le matrici di valori scaricate dal S. I. B..

Per quanto riguarda, nello specifico, le elaborazioni statistiche, il modulo "Environmental Stats" permette di operare rapidamente test statistici sulla bontà di adattamento (GOF test) dei campioni selezionati ad una funzione di probabilità e di stimare i quantili della distribuzione ipotizzata.

7.2.3 Modello tridimensionale del terreno

Per permettere di visualizzare ed analizzare la distribuzione areale dell'inquinamento nei suoli superficiali relativamente ai parametri più critici, è stato predisposto il modello tridimensionale del terreno relativo all'area in oggetto.

L'area presa in esame è compresa entro i seguenti limiti:

- Estremo NE Long 1568341.6, Lat 4884900.3;
- Estremo NW Long 1570831.6, Lat 4884930.3;
- Estremo SE Long 1568301.6, Lat 4882450.3;
- Estremo SW Long 1570901.6, Lat 4882450.3.

Per la costruzione del modello sono stati presi in considerazione i seguenti strati cartografici:

- le curve di livello e i punti quotati estrapolati dalla Carta Tecnica Regionale vettoriale in scala 1:5000 (squadri 248072, 248073, 248074) fornita dalla Regione Liguria;

- le curve di livello estratte dalla cartografia vettoriale in scala 1:2000 fornita dal Comune di La Spezia;
- il DEM (con risoluzione 40m x40m) associato all'ortofotocarta (squadri 248070, 248110) fornita dalla Regione Liguria.

Alcuni degli elementi sopra considerati sono stati corretti in quanto sono state rilevate delle discrepanze di quota.

Analizzando la CTR 1:5000 è stato riscontrato che ad alcune isoipse non era stata attribuita la quota, di conseguenza il primo passo per la costruzione del modello è stato quello di attribuirle manualmente.

Per quanto riguarda il DEM dell'ortofoto, sono stati considerati i punti ricadenti in mare ai quali è stata attribuita quota zero.

Inoltre, la linea di costa è stata digitalizzata a partire dall'ortofotocarta.

Il passo successivo all'analisi e alla correzione degli strati sopra elencati, è stato quello di creare, attraverso algoritmi presenti all'interno del software ArcView, il TIN (Triangulated Irregular Network) dell'area in oggetto.

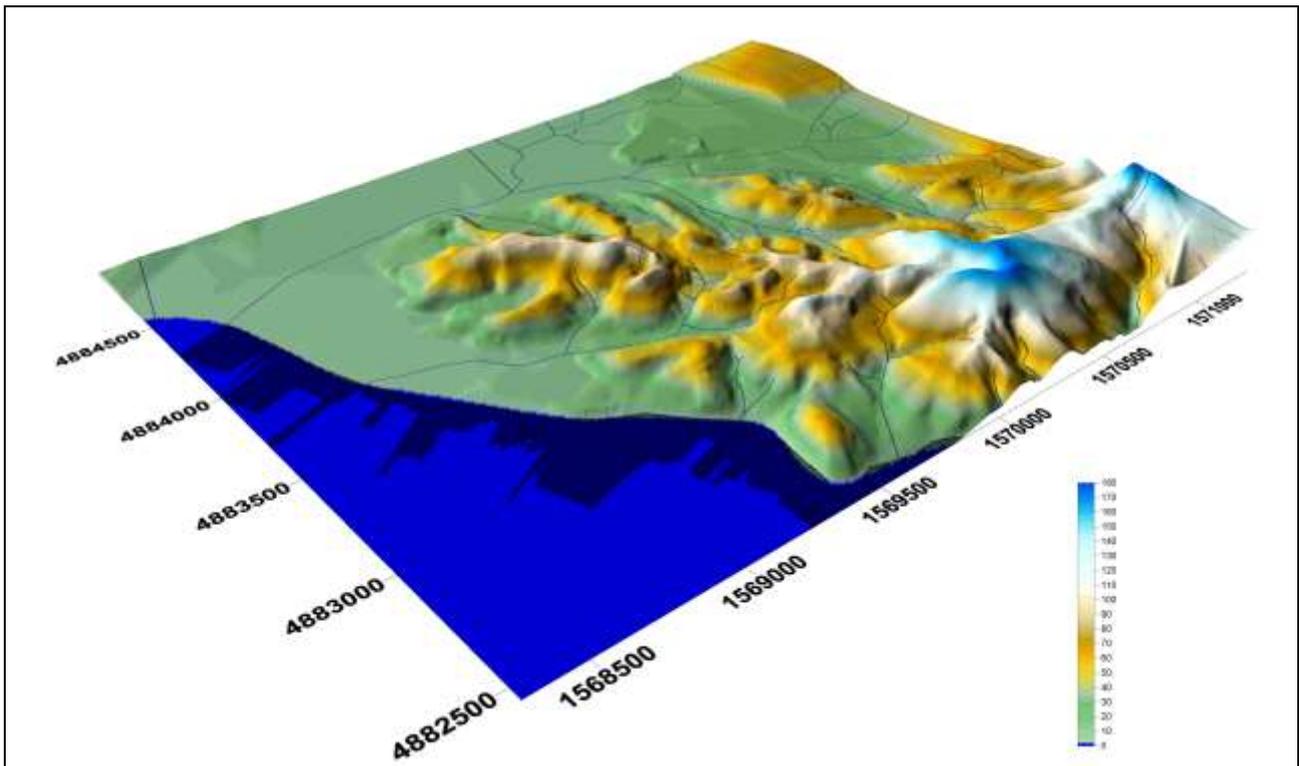


Fig. 7.1 – Modello Tridimensionale del terreno

Dal TIN creato è stato prodotto un DEM (Digital Elevation Model), con risoluzione 10m x 10m che è stato utilizzato per le successive elaborazioni descritte nel paragrafo 8.2.5.1.

7.2.4 Carte interpretative multiparametriche per la valutazione complessiva dello stato di inquinamento degli strati superficiali

Per valutare nel suo insieme lo stato di inquinamento della parte superficiale dei suoli sono state elaborate due rappresentazioni cartografiche relative a profondità differenti, nelle quali l'area di indagine è stata suddivisa in celle elementari a comportamento omogeneo.

L'area di indagine è stata discretizzata sul piano orizzontale utilizzando una cella elementare di lato 100 m. Questo reticolo è stato fatto coincidere con quello previsto dal Piano di Caratterizzazione.

Verticalmente sono stati considerati lo strato di suolo superficiale, compreso tra 0-0.3 m e quello subsuperficiale, compreso tra il letto dello strato superiore e la profondità di

1 m. In particolare, nello strato C1 sono stati considerati i campioni relativi alla presente caratterizzazione (SUP e S), quindi prelevati fino a 10 cm da p.c., e quelli relativi alle aree private, prelevati nello stesso intervallo o al massimo fino a 30 cm di profondità. Nello strato C2 sono stati considerati i campioni prelevati nello strato sottostante, fino alla profondità al massimo di 1 m.

E' stato utilizzato il colore rosso o verde rispettivamente per indicare uno "stato complessivo" di inquinamento o di naturalità dell'intera area occupata da una cella elementare. Il criterio di valutazione dello stato ambientale è basato sull'informazione analitica di tipo puntuale: preliminarmente sono state discriminate solo quelle celle all'interno delle quali, sono stati effettuati uno o più campionamenti.

Negli elaborati cartografici in colore rosso e contrassegnate con il simbolo H sono evidenziate le celle o parti di cella per le quali si è riscontrato almeno in uno dei punti di indagine¹ e per almeno un parametro un superamento del valore soglia, riferito alla destinazione d'uso prevista per l'area rappresentata dalla cella stessa; in verde le celle per le quali non si è riscontrato alcun superamento. Per l'attribuzione del colore sono stati considerati sia i parametri organici che inorganici. Il numero di parametri eccedenti i limiti di legge e l'entità del/i superamento/i, non sono evidenziati in questo tipo di rappresentazione che indica la compromissione certa o lo stato di naturalità della maglia o parte di maglia indagata.

In una prima fase è stata prodotta una cartografia di base, non riportata in alcun allegato, che ha previsto la colorazione delle celle elementari indagate rispetto al limite di Col. A, Tab.1, DM 471/99. Le aree a destinazione d'uso industriale, vista la loro ridotta estensione, non sono approssimate con sufficiente precisione dalla discretizzazione orizzontale utilizzata. Pertanto, una stessa cella può risultare suddivisa in aree a differente destinazione d'uso, non trascurabili ai fini degli interventi.

Partendo dal concetto che lo stato "pulito/sporco", è stato calcolato a partire da valori numerici di concentrazione per ottenere un dato di tipo multiparametrico da associare all'intera cella, è lecito riconsiderare le frazioni di cella secondo i limiti previsti per le diverse destinazioni d'uso. Quindi, non si è variata l'informazione associata alla cella che rimane costante, ma si sono usati due differenti classificazioni per ottenere delle sub-aree all'interno di una stessa cella.

¹ In una cella possono essere presenti uno o più punti di campionamento, derivanti da caratterizzazione aree pubbliche o private.

La seconda fase ha avuto come obiettivo quello di estrapolare le informazioni ottenute per le celle indagate a zone di territorio non campionate, mantenendo la suddivisione in celle elementari. Si è deciso di utilizzare come strumento di indagine probabilistica l' "indicator kriging", poiché il dato multiparametrico utilizzato per la colorazione delle celle note è immediatamente esprimibile in forma binaria (0, 1) ed interpolabile attraverso il kriging ordinario.

Il valore 1 è associato al centroide di una cella dove si è riscontrato almeno in uno dei punti di indagine e per almeno un parametro, un superamento di un limite normativo e il valore 0 quando nessuno parametro sorpassa lo stesso limite.

Di conseguenza, nel presente lavoro l' "indicator kriging" è un metodo finalizzato, non a stimare il valore atteso di una data concentrazione in una data area, quanto a determinare la distribuzione spaziale dell'incertezza o probabilità.

Questo metodo, che considera, anziché la variabile originaria (concentrazione), la variabile indicatrice (trasformazione binaria 0-1 della variabile originaria) in base ad un valore soglia, stima un valore compreso tra 0 e 1 per ogni centroide delle celle non indagate (0% - 100% di probabilità che una cella sia inquinata o meno).

Per ottenere gli elaborati cartografici finali si è usato, come limite di assegnazione del valore 0 o 1, sia il valore di riferimento di Col. A sia quello di Col. B.

Con i risultati della prima interpolazione (limite Col. A) sono state interpretate in termini di probabilità le celle o frazioni di celle ricadenti in aree a destinazione d'uso residenziale, con la seconda (limite Col. B) quelle localizzate in aree industriali.

Infine, tali dati sono stati riportati in un'unica carta, dove sono state riportate anche le informazioni di tipo puntuale rappresentanti la variabile multiparametrica dedotta dai valori soglia della Col. A.

Nell'elaborazione delle tavole sotto riportate sono stati utilizzati i dati puntuali relativi alle caratterizzazioni delle aree private, ma le estrapolazioni sono riferite alle sole aree pubbliche oggetto del presente Piano di Caratterizzazione.

Sulla base dei criteri sopra esposti, sono state realizzate le seguenti quattro carte:

- ✓ TAV. 9.1: relativa allo strato più superficiale dei suoli (C1);
- ✓ TAV. 9.2: relativa allo strato più superficiale dei suoli (C1) e con limite di riferimento, per il parametro PCB, modificato rispetto a quello di Col. A (vedi Cap. 8.2.4), pari a 0,06 mg/kg;
- ✓ TAV. 9.3: relativa allo strato subsuperficiale (C2) dei suoli;

- ✓ TAV. 9.4: relativa allo strato subsuperficiale (C2) dei suoli e con limite di riferimento, per il parametro PCB, modificato rispetto a quello di Col. A (vedi Cap. 8.2.4), pari a 0,06 mg/kg.

7.2.5 Modello di dispersione atmosferica degli inquinanti

Il modello, utilizzato al fine di valutare la dispersione atmosferica e la distribuzione delle concentrazioni al suolo prodotte dalle emissioni gassose industriali, i cui risultati sono descritti al Cap. 8.2.5.2, è il modello I.S.C. 3 (Industrial Source Complex versione 3) approvato dall'E.P.A (Environmental Protection Agency, l'Agenzia di Protezione Ambientale degli Stati Uniti).

E' un modello gaussiano di tipo stazionario, che richiede come dati di input informazioni relative alle sorgenti inquinanti, sia di tipo geometrico (altezza e diametro del camino) che di tipo fisico (temperatura dei fumi, velocità di uscita, quantità di inquinante emesso) e relative alla meteorologia.

Dal punto di vista delle informazioni di tipo meteorologico, occorre distinguere tra la versione short term e la versione long term. Per la versione long term (utilizzata nel presente lavoro) è necessario fornire al modello la distribuzione, per ogni classe di stabilità atmosferica (classificazione di Pasquill), delle altezze di mescolamento e delle temperature, nonché delle frequenze di direzione e velocità del vento. Come output si ottiene la distribuzione delle concentrazioni al suolo di inquinante, calcolate lungo una griglia di punti recettori. Nel caso specifico la statistica meteorologica utilizzata fa riferimento all'anno solare.