Allegato 6

AMIU GENOVA s.p.a.

PIANO DI CARATTERIZZAZIONE E DI MESSA IN SICUREZZA DEL SITO DI VIA PIOMBELLI

Relazione di sintesi delle indagini ambientali

a cura di: *dr. geol. Vito LAZZAROTTO*

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DELLA LIGURIA
Dott. Geol. VITO LAZZAROTTO
A.P. n. 215
data iscr. 23-11-1990

Genova, febbraio 2006

Azienda Multiservizi e d'Igiene Urbana SpA - Genova

Committente:

COMUNE DI GENOVA

Sito:

VIA PIOMBELLI (GENOVA - RIVAROLO) - area privata

Documento:

RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA DI EMERGENZA E DELLE INDAGINI PREVISTI DAL PIANO DI CARATTERIZZAZIONE

Rel geologica

ALL. 6

INDICE DEL TESTO

1. PREMESSA 1

2. INTRODUZIONE 2

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO 3

4. STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO 4

4.1 MATERIALE DI RIPORTO (ELEMENTI LAPIDEI, INERTI, RIFIUTI) 4
4.2 MATERIALE DI RIPORTO (SMARINO DELLE GALLERIE AUTOSTRADALI) 4
4.3 COLTRE ELUVIO – COLLUVIALE 4
4.4 SUBSTRATO LAPIDEO 5

5. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL SITO 5

6. INDAGINI GEOFISICHE 6

6.1 PROSPEZIONE ELETTROMAGNETICA 6
6.2 INDAGINE GEOELETTRICA TOMOGRAFICA 7
6.3 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE 8

7. ELABORAZIONE STATISTICA DEI DATI CHIMICI DI SUOLO E SOTTOSUOLO 9

7.1 SUPERAMENTO DEI VALORI LIMITE DI CONCENTRAZIONE 12
7.2 STIMA DEI VALORI MEDI DI CONCENTRAZIONE 13
7.3 ANALISI CHIMICHE DELL'ELUATO 15

8. STIMA DEI VOLUMI DEI MATERIALI CONTAMINATI 17

9. ANALISI DELLE ACQUE 19

10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 21

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1 Localizzazione dei sondaggi e dei piezometri scala 1 : 1.500
Fig. 2 Sezione geologica est - ovest scala 1 : 1.500
Fig. 3 Sezione geologica nord - sud scala 1 : 1.500
Fig. 4 Tetto del substrato lapideo scala 1 : 1.500
Fig. 5 Colonne stratigrafiche (sondaggi campagna 2005)
Fig. 6 Colonne stratigrafiche (sondaggi campagna 2000)
Fig. 7 Suddivisione delle aree di influenza di ciascun sondaggio per il calcolo dei volumi contaminati scala 1 : 1.500
Fig. 8 Campioni di acque superficiali nel rio Maltempo scala 1 : 1.5000

1. PREMESSA

Nel novembre del 2003 Arpal ha predisposto il progetto del Piano di Caratterizzazione del sito di via Piombelli, ai sensi del DM 471/99. Esso prevedeva una serie di indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo) e indirette (prospezioni geofisiche) al fine di investigare l'area nord del sito, non studiata nel corso della prima campagna di indagini condotta nel 2000.

La campagna geognostica per la realizzazione del piano di caratterizzazione, affidata ad Amiu, si è svolta nella primavera del 2005. Amiu mi ha incaricato di redigere una relazione di sintesi dei dati raccolti nel corso delle due campagne di indagini.

Nella relazione che segue viene presentata la ricostruzione geologico - idrogeologica del sito attraverso la caratterizzazione delle principali unità litologiche e la valutazione dei relativi spessori, l'elaborazione di sezioni geologiche, l'elaborazione statistica dei dati geochimici, la valutazione dei volumi di terreno contaminati.

2. INTRODUZIONE

Le indagini geognostiche nel sito di via Piombelli furono eseguite nel corso di due distinte campagne, svoltesi la prima nell'estate del 2000, la seconda nella primavera del 2005.

Durante la prima campagna, condotta su un'area di 2000 m² (area sud), furono eseguite queste indagini:

- esecuzione di 5 sondaggi geognostici, a carotaggio continuo, della lunghezza complessiva di 51 m, e prelievo di campioni di terreno (30) per analisi chimico - ambientali;
- installazione di 5 piezometri a tubo aperto nei 5 fori di sondaggio;
- prospezione geofisica GPR lungo 20 profili (lunghezza totale di circa 500 m).

Nella seconda campagna, condotta sull'intera area del sito, di circa 5500 m² di superficie, le indagini eseguite furono:

- esecuzione di 10 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, per una lunghezza complessiva di 113,35 m, e prelievo di 46 campioni per analisi chimico - ambientali;
- installazione di tre piezometri a tubo aperto in tre fori di sondaggio;
- indagine geoelettrica mediante stendimenti multielettrodici (8 linee di prospezione per una lunghezza totale di 573,5 m) ed elaborazione tomografica dei dati;
- prospezione elettromagnetica con conduttivimetro elettromagnetico, lungo una maglia quadrata di 2,5 m di lato;
- prospezione sismica a rifrazione lungo 3 stendimenti (lunghezza totale di 227 m).

La posizione dei sondaggi eseguiti nelle due campagne è illustrata in fig. 1; per quanto riguarda la localizzazione delle indagini indirette si rimanda alle relazioni specifiche di Terra Srl, ditta esecutrice della prospezione geofisica.

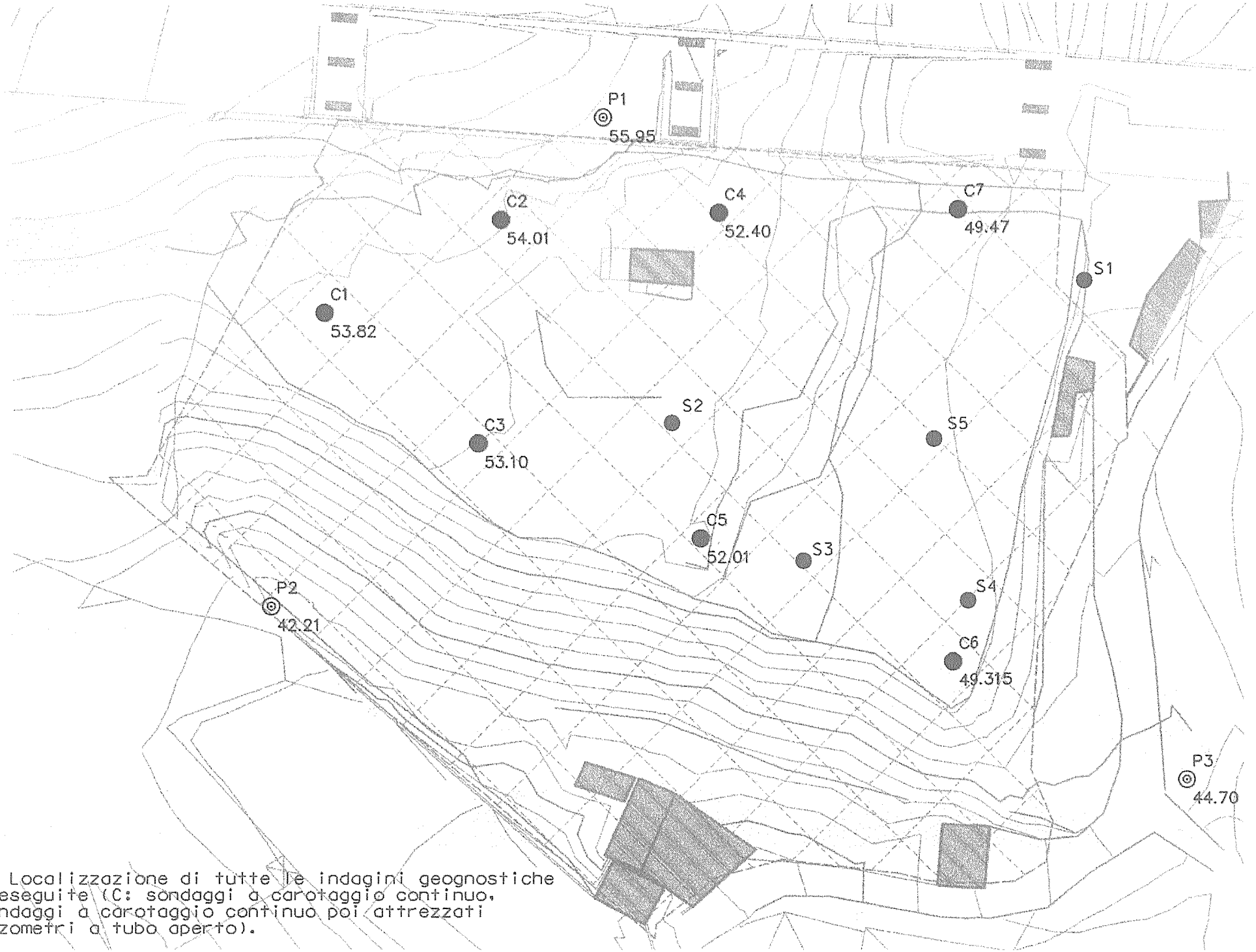


Fig. 1 - Localizzazione di tutte le indagini geognostiche dirette eseguite (C: sondaggi a carotaggio continuo, S e P sondaggi a carotaggio continuo poi attrezzati come piezometri a tubo aperto).

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il sito di via Piombelli occupa la sommità subpianeggiante di un rilevato artificiale, costituito da materiali di riporto di varia origine, addossato ai rilievi collinari del versante destro della valle del rio Maltempo, affluente di sinistra del torrente Polcevera. La quota media della sommità del rilevato è di circa 50 m s.l.m., la base scende a quote di poco superiori ai 40 m s.l.m.
Il rilevato poggia su una dorsale, la cui sommità raggiunge quote intorno ai 130 m s.l.m.(Villa Brusone), che separa un affluente secondario dal collettore principale del rio Maltempo. La testata della valle del rio Maltempo si chiude poi sul crinale spartiacque con la Val Bisagno, a quote superiori ai 300 m s.l.m.
La morfologia dei versanti è moderatamente acclive, con pendenze medie intorno ai 25°. I depositi superficiali sono rappresentati da coltri eluvio – colluviali di spessore da metrico a plurimetrico, più potenti verso la base e negli avvallamenti dei versanti.

Il substrato lapideo è costituito da scisti filladici e argilloscisti (C^{5-4}, Argilliti di Montanesi, del foglio n. 82 (Genova) della Carta geologica d'Italia, *ac* della Carta geologica della zona Sestri – Voltaggio, di Cortesogno e Haccard, 1985).

Gli argilloscisti e gli scisti filladici sono rocce caratterizzate da bassa conducibilità idraulica, e possono essere considerati in prima approssimazione un substrato impermeabile in rapporto alle coltri detritiche che localmente li ricoprono. La circolazione idrica nel sottosuolo è quindi generalmente molto ridotta, limitata a circuiti presenti nelle coltri detritiche o nei livelli superficiali maggiormente fratturati ed alterati del substrato lapideo.

4. STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO

Nel sottosuolo del sito sono state riconosciute e distinte due classi di materiali di riporto e due unità litologiche. I materiali di riporto, attraversati in tutti i sondaggi, formano una copertura continua, di spessore variabile da poco meno di 1 m (P1) ad oltre 12 m (C3). I materiali di riporto di origine mista (elementi lapidei, inerti, rifiuti) sono intercalati a quelli prevalentemente formati da smarino di galleria, in livelli talora ripetuti. La coltre eluvio - colluviale ha uno spessore massimo di circa 10 (in C2) ed è presente nel settore nord del sito. Il substrato è stato attraversato a profondità comprese tra circa 7 m in P1 ad oltre 12 m in C3 (fig. 2 e 3).

4.1 Materiale di riporto (elementi lapidei, inerti, rifiuti)

E' costituito da ghiaie eterometriche con matrice sabbioso – limosa. Nei clasti lapidei si riconoscono argilloscisti e calcari. Nei materiali non lapidei sono frequenti calcestruzzo e laterizi; localmente sono presenti frammenti di legno, materiali plastici, scorie di fonderia e loppe d'altoforno, lana di vetro, limi nerastri probabilmente contaminati da vernici.

4.2 Materiale di riporto (smarino delle gallerie autostradali)

Si tratta di una ghiaia eterometrica di colore grigio marrone, costituita in larga prevalenza da elementi di argilloscisti poco alterati, provenienti dallo scavo delle gallerie autostradali, con subordinate intercalazioni di inerti di origine edilizia e rifiuti.

4.3 Coltre eluvio – colluviale

In alcuni sondaggi (C1, C2, C3, P1), situati al limite del settore nord del sito, il substrato è coperto da una coltre detritica eluvio – colluviale, formata da una ghiaia eterometrica, ad abbondante matrice fine, di colore marrone giallastro, ad elementi lapidei lamellari di argilloscisti. Il grado di alterazione ed ossidazione dei clasti suggerisce l'origine da processi naturali di deposizione. Non si può escludere tuttavia, considerate le forti variazioni di spessore su breve distanza, ed i livelli di contaminazione, che anche tali depositi siano stati rimaneggiati o rappresentino in parte materiali di riporto.

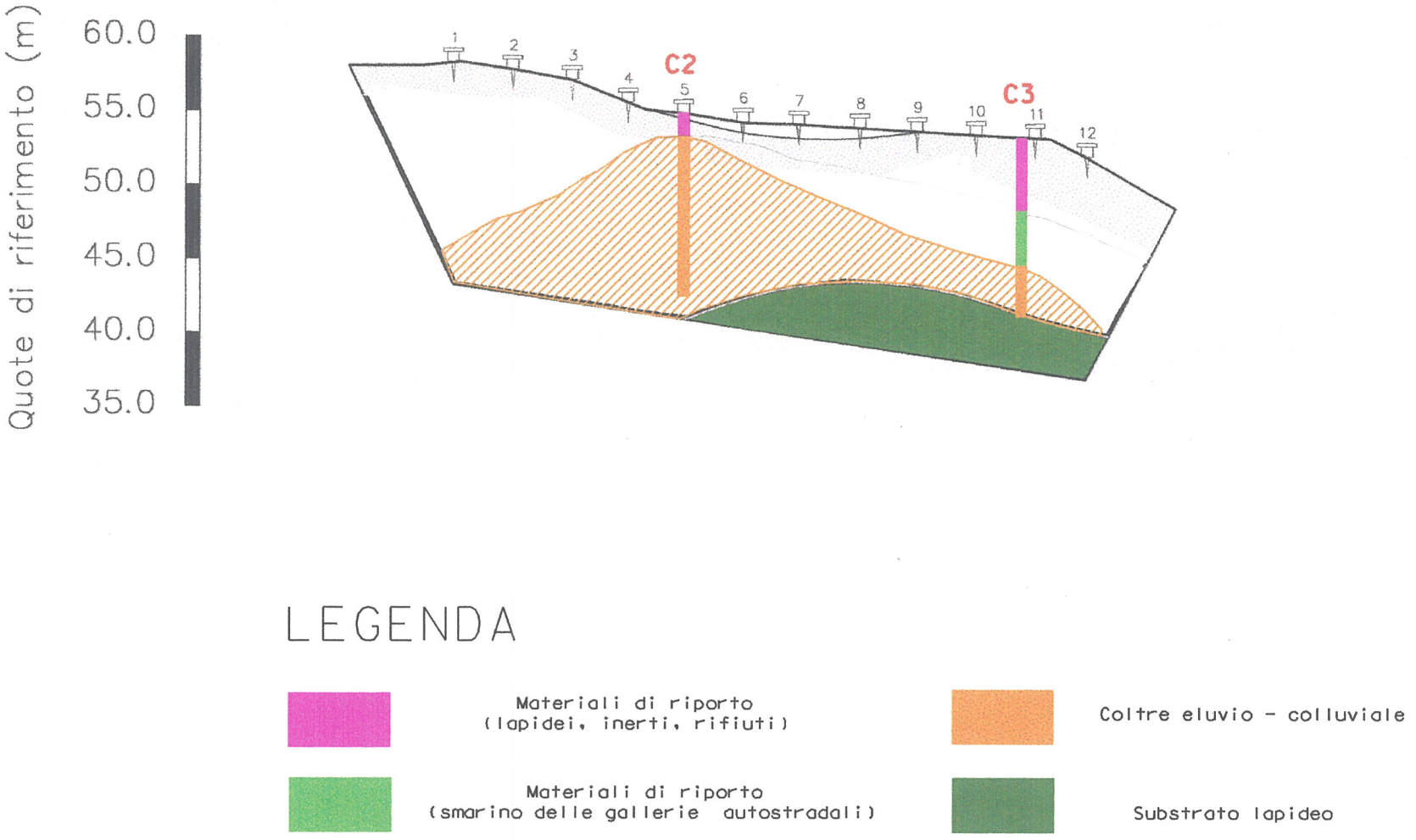


Fig. 2 - Sezione geologica derivata dalla sezione sismostratigrafica 2.
Scala 1:500.

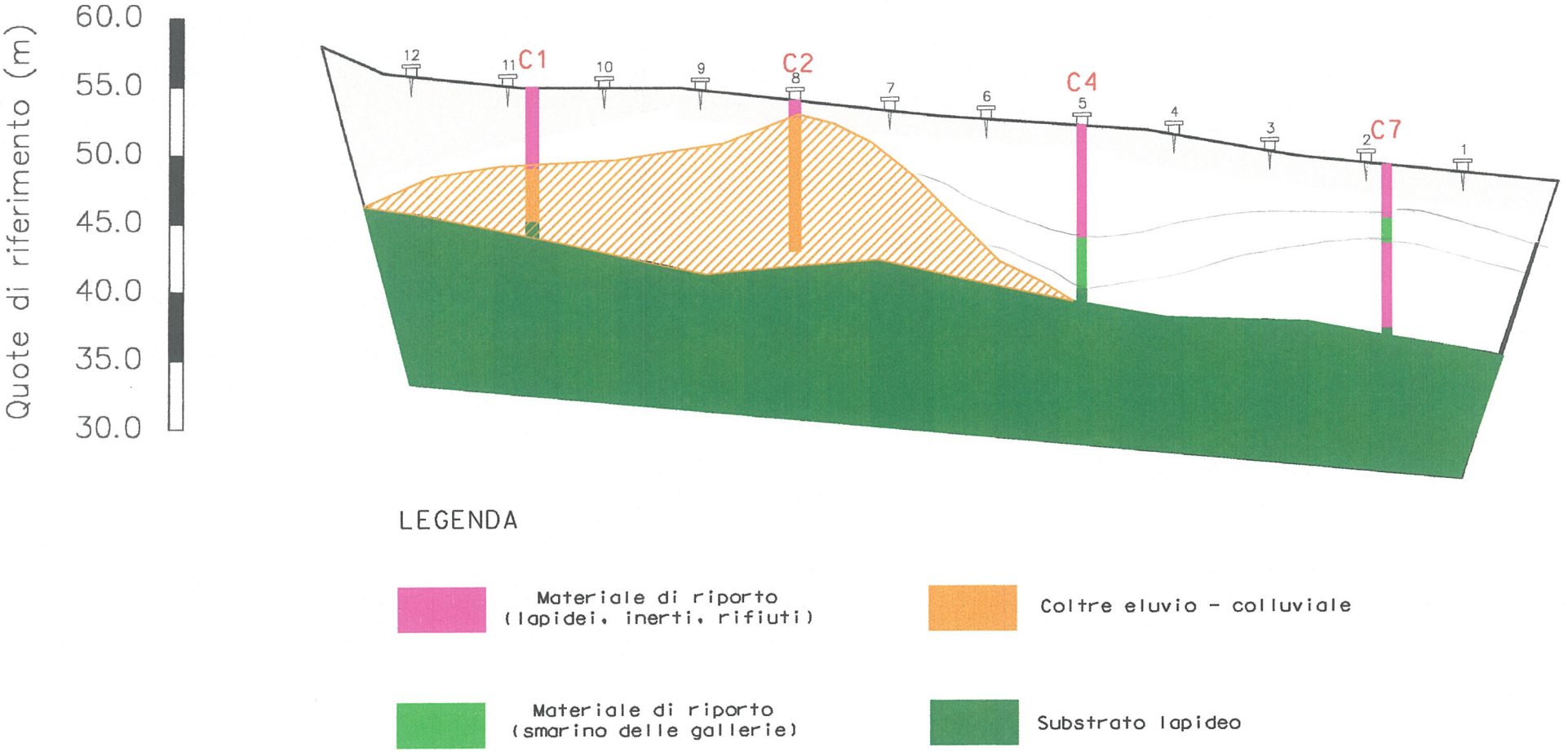


Fig. 3 - Sezione geologica derivata dalla sezione sismostratigrafica 3.
Scala 1:500

4.4 Substrato lapideo

Il substrato lapideo, costituito da argilloscisti di colore nerastro, ad elevata fissilità, è stato attraversato in quasi tutti i sondaggi, fatta eccezione per C2 e per S1, S3 ed S4 delle prima campagna. Va ricordato che, considerato il metodo di avanzamento della perforazione (uso del carotiere semplice) e quindi il forte grado di rimaneggiamento e deformazione della carota, rimane un margine d'incertezza nell'interpretazione del limite tra i materiali di riporto, spesso costituiti in larga parte da frammenti lapidei di argilloscisti, ed il substrato stesso.

5. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL SITO

I dati ricavati dalle prove di permeabilità Lefranc eseguite nel corso della prima campagna di indagini fornirono valori del coefficiente di permeabilità bassi ($2{,}6\ 10^{-6} - 1\ 10^{-8}$ m/s).
Nei piezometri installati nella prima campagna solo in una occasione fu misurato un livello piezometrico non nullo in S2. La prevista serie di misure nei piezometri della seconda campagna geognostica è ancora in corso, ed i primi dati confermano l'assenza di una significativa circolazione idrica all'interno del sito, in accordo con le condizioni idrogeologiche generali del bacino del rio Maltempo.

Va ricordata tuttavia l'esistenza di una piccola emergenza idrica, situata in prossimità di P1, che è stata captata, tombinata e recapitata nella rete naturale durante i lavori effettuati nel 2005.

6. INDAGINI GEOFISICHE

Nei paragrafi che seguono sono stati sintetizzati i risultati principali raggiunti dalle indagini geofisiche. Per riferimenti dettagliati alle modalità esecutive si vedano le relazioni specifiche della ditta esecutrice (Terra srl).
Una delle finalità principali delle prospezioni elettromagnetica e geoelettrica, eseguite prima delle indagini dirette, è stata la conferma della localizzazione dei sondaggi in siti in cui fosse bassa la probabilità di intercettare eventuali fusti sepolti.
L'indagine sismica è stata eseguita invece allo scopo di definire lungo sezioni, integrando i dati puntuali dei sondaggi, l'andamento del limite tra i materiali di riporto e le coltri detritiche ed il substrato roccioso.

6.1 Prospezione elettromagnetica

La prospezione elettromagnetica è stata eseguita con conduttivimetro elettromagnetico, lungo una maglia quadrata di 2,5 m di lato, utilizzando 7 frequenze di acquisizione (da 325 Hz a 8675 Hz). I risultati sono stati rappresentati con 7 carte, una per ciascuna frequenza di indagine, che illustrano la distribuzione dello scostamento, positivo o negativo, della conducibilità rispetto ad un valore medio di riferimento caratteristico del sito.
La variazione di frequenza può essere ricondotta ad una variazione della profondità di indagine, la frequenza più bassa essendo riferibile alla maggiore profondità, la frequenza più alta alle condizioni più superficiali.
Nelle carte prodotte con le indagini a frequenze maggiori (superiori a 1700 Hz) si osserva una trama minuta, sostanzialmente omogenea in tutta l'area, determinata dall'accostamento su distanze metriche di aree ad elevata conducibilità relativa con aree a bassa conducibilità. Ciò può essere messo in relazione con la diffusa presenza nei livelli più superficiali di oggetti metallici di piccole dimensioni. Il risultato dell'indagine ad alta frequenza appare dunque di limitata utilità.
Nelle carte prodotte con l'impiego delle frequenze minori per contro si possono individuare due aree anomale, ad elevata conducibilità

relativa, localizzate a sud del fabbricato presente nel sito e nell'estremo settore nord. Entrambe possono rappresentare volumi di materiali di riporto a maggiore densità di materiali conduttori (tra i quali possono essere compresi fusti sepolti). Il basso contenuto d'acqua dei materiali, l'assenza di fluidi non acquosi, induce a ritenere meno probabile l'interpretazione alternativa, cioè la presenza di fluidi conduttori. Nel log stratigrafico dell'unico sondaggio (C1) perforato all'interno (verso il margine) delle aree a conducibilità relativa elevata, sono state effettivamente osservate scorie di fonderia e materiali ferruginosi in quantità significative.

6.2 Indagine geoelettrica tomografica

Sono state realizzate 8 linee di prospezione, per una lunghezza totale di 573,5 m. I risultati dell'indagine sono stati illustrati attraverso 8 sezioni, che descrivono la distribuzione verticale della resistività nel sottosuolo e 4 rappresentazioni planimetriche che descrivono la distribuzione della resistività nel sottosuolo a differenti profondità dal piano campagna.

In quasi tutte le sezioni verticali non si riconosce il contatto tra i depositi di copertura ed il substrato roccioso: la maggior parte dei limiti tra aree a differente resistività hanno andamento sub verticale.
Nelle sezioni T1, T2, T5 orientate circa E – O la principale anomalia di bassa resistività è situata verso monte (verso E), in parziale sovrapposizione con una delle anomalie profonde individuate dalla prospezione elettromagnetica (area ad elevata conducibilità a sud del fabbricato interno al sito), anche se nelle sezioni geoelettriche essa risulta molto più estesa.

Nelle sezioni T6 e T7, anch'esse orientate circa E – O, può ritrovarsi una discreta corrispondenza tra aree a bassa resistività ed anomalia ad alta conducibilità dell'estremo settore nord del rilievo elettromagnetico.
Le sezioni T3, T4 e T8 ad orientazione circa N – S sono difficilmente correlabili. In T3 predominano aree ad alta resistività nei livelli superficiali; in T4 lo strato superficiale resistivo si riduce considerevolmente e predominano le aree a conducibilità più alta; in

T8 si individua uno strato resistivo profondo il cui limite tende ad avvicinarsi al p.c. procedendo da N verso S.

A riguardo della sezione planimetrica relativa alla profondità di 1 m dal p.c. si possono fare le medesime considerazioni fatte in precedenza per le carte ad alta frequenza del rilievo elettromagnetico: le numerose anomalie osservabili, tenuto conto delle dimensioni e della distribuzione, sono probabilmente da riferire ad oggetti conduttori (metallici) superficiali.
Nella sezione planimetrica relativa alla profondità di 5 m dal p.c. si possono individuare quattro plaghe a bassa resistività, due delle quali (quelle situate a sud del fabbricato interno al sito e nell'estremo settore nord) sono in accordo con i risultati della prospezione elettromagnetica. Nelle due rappresentazioni planimetriche a profondità di 10 m e di 15 m dal p.c. si distingue una sola ampia area a bassa resistività, situata in posizione centrale, di difficile interpretazione (la più profonda risiede all'interno del substrato lapideo).

6.3 Prospezione sismica a rifrazione

Sono stati realizzati 3 stendimenti sismici a rifrazione, per una lunghezza totale di 227 m, uno dei quali orientato in direzione circa N – S, gli altri due in direzione normale, circa E- O. Nelle tre sezioni ottenute sono stati riconosciuti tre sismostrati, i primi due, caratterizzati da velocità comprese tra 0,23 – 061 km/s il primo e 0,94 – 1,42 km/s il secondo, interpretati come materiali di riporto o coltri detritiche, il terzo, con velocità superiori a 1,60-1,85 km/s, rappresentato verosimilmente dal substrato lapideo. Mediando i risultati della prospezione sismica con i dati dei sondaggi, è stata ricostruita la superficie del tetto del substrato lapideo (fig. 4).

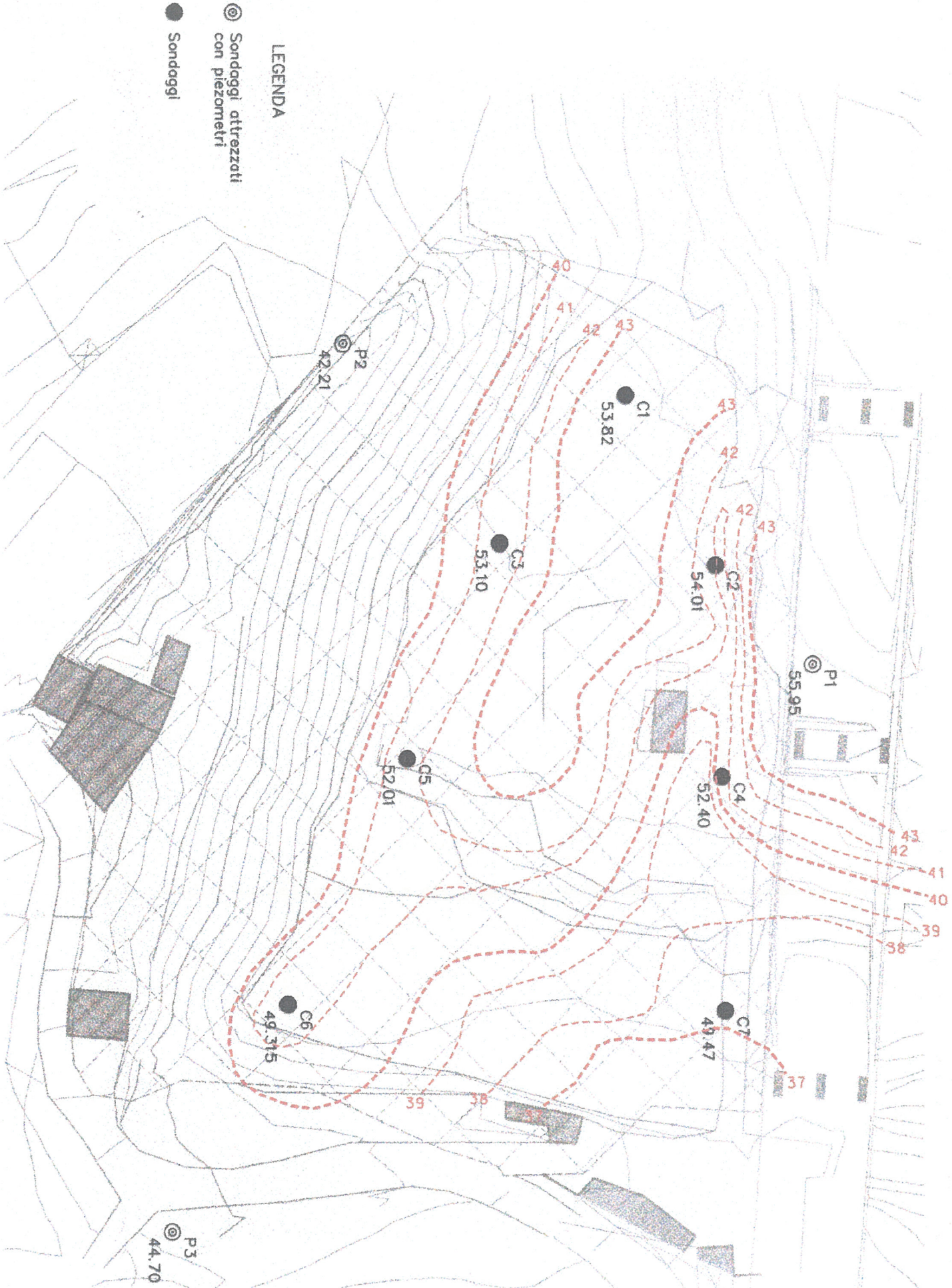


Fig. 4 - Superfiice del tetto del substrato lapideo (quota assoluta in m s.l.m.). Scala 1:500.

7. ELABORAZIONE STATISTICA DEI DATI CHIMICI DI SUOLO E SOTTOSUOLO

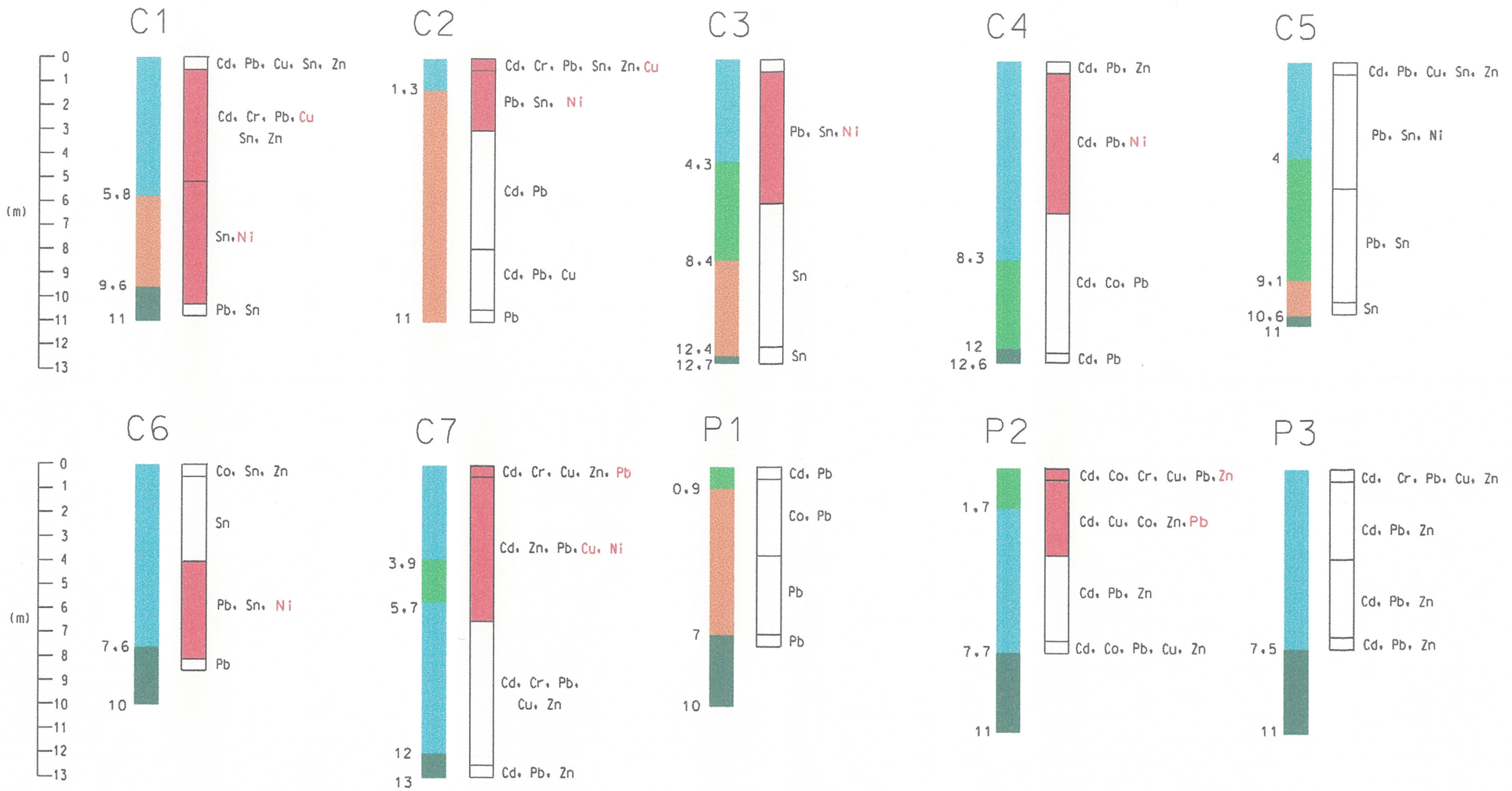
Secondo le specifiche tecniche stabilite dall'Arpal, in ogni sondaggio della campagna del 2005 sono stati prelevati almeno 4 campioni di terreno. Tenuto conto del campione superficiale di terreno nerastro ("cenerino") prelevato in prossimità della vasca, e di alcuni campioni supplementari, le analisi chimiche sono state eseguite su un totale di 46 campioni di terreno.

Il campione superficiale ed il campione di fondo foro sono stati prelevati da uno spezzone di carota di 0,5 m di lunghezza, mentre i due campioni intermedi (tre in C2) sono stati ricavati da spessori di carota compresi tra 2,5 m e 6 m. Vi è pertanto una differenza significativa di rappresentatività tra i campioni estremi e quelli intermedi.
Le analisi chimiche sono state eseguite nella maggior parte dei campioni su 8 metalli pesanti (Cd , Co, Cr_{tot}, Cu, Pb, Sn, V, Zn e su alcuni composti organici (BTX, PCB, IPA, Idrocarburi). In alcuni campioni (circa uno per sondaggio) sono stati determinati anche As, Mn e Ni. Su quattro campioni infine sono stati eseguiti test di cessione in acido acetico, relativi ad 8 analiti (Cd, Co, Cr_{tot}, Cu, Pb, Sn, V, Zn).

Solo in tre campioni sono stati determinate concentrazioni di composti organici superiori ai limiti del DM471/99: C1 (1,7 m), C5 (0,5 m – 5,25 m), C7 (0,5 m - 6,5 m).

Per 8 degli 11 metalli pesanti analizzati (Cd, Co, Cr_{tot}, Cu, Ni, Pb, Sn, Zn, con l'esclusione cioè di As, Mn[1] e V), sono stati determinati valori analitici superiori ai limiti di legge per l'attuale destinazione d'uso (residenziale), con frequenze di superamento che vanno dal 3% per Cr_{tot} all'87,5% per Ni (fig. 5 e 6). Di tali 8 analiti sono stati calcolati i parametri statistici di base, utili per l'interpretazione dei risultati: media, deviazione standard, quartili, comprendenti il

[1] Per Mn il DM471/99 non prevede una concentrazione massima ammissibile.



LEGENDA

Materiali di riporto (elementi lapidei, inerti, rifiuti)

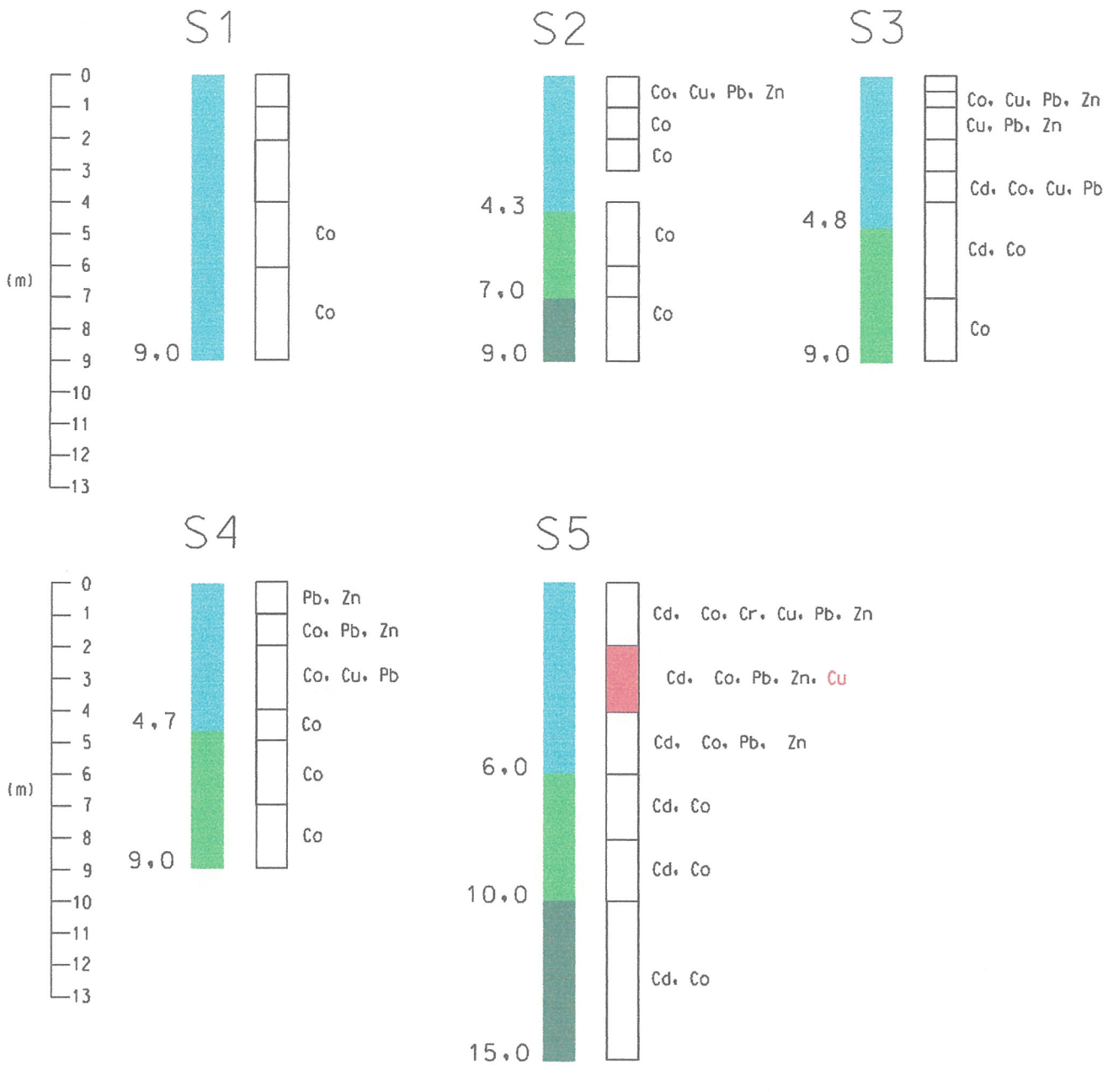
Coltre eluvio - colluviale

Materiali di riporto (smarino delle gallerie autostradali)

Substrato lapideo (argilloscisti)

Le suddivisioni della colonna di destra rappresentano le lunghezze di carota da cui sono stati tratti i singoli campioni di terreno.
Gli elementi i cui tenori sono risultati superiori alla CMA (concentrazione massima accettabile) per destinazione d'uso residenziale sono in colore nero; in colore rosso gli elementi i cui tenori sono risultati superiori anche alla CMA per destinazione d'uso industriale.

Fig. 5 - Stratigrafia semplificata dei sondaggi e risultati delle analisi chimiche dei campioni di terreno prelevati nel sottosuolo (campagna 2005)



LEGENDA: vedi fig. 5

Fig. 6 - Stratigrafia semplificata dei sondaggi e risultati delle analisi chimiche dei campioni di terreno prelevati nel sottosuolo (campagna 2000)

valore minimo (quartile 0) ed il valore massimo (quartile 4), frequenza dei campioni che presentano concentrazioni superiori alla concentrazione massima accettabile (CMA) per l'uso residenziale o industriale, secondo i limiti del citato DM.
Gli indici statistici sono stati calcolati separatamente per l'insieme dei campioni prelevati nel corso delle campagne del 2005 e del 2000, per i campioni del sondaggio S1 (campione del fondo naturale) della campagna 2000 (nei campioni della campagna del 2000 non erano stati analizzati Ni e Sn). Combinando quando possibile i campioni delle due campagne geognostiche, sono stati anche calcolati gli indici statistici relativi alle concentrazioni degli 8 analiti nei materiali di riporto di origine mista, nei materiali di risulta delle gallerie e nella coltre eluvio – colluviale (vedi tabelle 4 ÷ 6), utilizzando i campioni attribuibili ad un solo tipo litologico.

Elemento	Cd	Co	Cr_{tot}	Cu	Ni	Pb	Sn	Zn
Media	3,52	15,8	80,3	203,3	598,5	281,0	6,6	269,1
Deviazione standard	3,3	6,6	58,0	336,0	264,0	306,6	18,0	323,8
Quartile 0 (minimo)	0	4,5	23,3	8,7	112,57	0	0	7,6
Quartile 1 (25%)	1,21	12,4	50,0	67,8	751,3	158,3	0	91,4
Quartile 2 (mediana)	2,1	15,1	56,3	83,7	485,2	176,9	0,4	131,4
Quartile 3 (75%)	4,4	19,2	83,9	145,5	756,2	257,0	1,4	308,9
Quartile 4 (massimo)	12,5	46,9	310,0	1841,8	1012,02	1373,8	69,2	1712,2
Frequenza (c>CMA res)[2]	50%	14%	14%	31%	87,5%	81%	38%	45%
Frequenza (c>CMA ind)[3]	0%	0%	0%	9%	75%	5%	0%	2%

Tabella 1 – Indici statistici dei tenori misurati nei campioni prelevati nella campagna di indagini 2005.

Elemento	Cd	Co	Cr_{tot}	Cu	Pb	Zn
Media	1,70	31,1	36,8	143,6	113,4	183,7
Deviazione standard	0,83	14,1	68,8	305,9	142,7	244,7
Quartile 0 (minimo)	0	0	0	11,7	3,6	40,5
Quartile 1 (25%)	1,32	19,1	1,2	61,8	21,3	90,0
Quartile 2 (mediana)	1,6	31,5	20,4	71,4	79,2	100,6
Quartile 3 (75%)	1,97	42	43,6	85,6	121,45	180,2
Quartile 4 (massimo)	3,8	55,9	376,2	1730,8	592,7	1278,7
Frequenza (c>CMA res)	26%	73%	3%	20%	33%	30%
Frequenza (c>CMA ind)	0%	0%	0%	3%	0%	0%

[2] Concentrazione misurata superiore al valore della concentrazione massima accettabile per aree a destinazione d'uso residenziale

[3] Concentrazione misurata superiore al valore della concentrazione massima accettabile per aree a destinazione d'uso industriale

Tabella 2 - Indici statistici dei tenori misurati nei campioni della campagna di indagini del 2000.

Elemento	Cd	Co	Cr_{tot}	Cu	Pb	Zn
Media	0,68	18,9	38,9	56,9	18,3	89,9
Deviazione standard	0,64	4,89	8,3	9,8	4,8	20,1
Quartile 0 (minimo)	0	14,1	28,8	44,4	12,8	65,6
Quartile 1 (25%)	0	15,8	33,4	51,9	14,9	73,3
Quartile 2 (mediana)	0,9	16,5	37,9	57,4	18,1	97,7
Quartile 3 (75%)	1,1	22,6	45,8	60,4	20,6	98,1
Quartile 4 (massimo)	1,4	25,5	48,6	70,8	25,1	114,9
Frequenza (c>CMA res)	0	40%	0	0	0	0
Frequenza (c>CMA ind)	0	0	0	0	0	0

Tabella 3 - Indici statistici dei tenori misurati nei campioni del sondaggio S1 ("tenore del fondo naturale") della campagna di indagini del 2000.

Elemento	Cd	Co	Cr_{tot}	Cu	Pb	Zn
Media	3,2	22,3	87,3	266,0	332,5	339,7
Deviazione standard	2,6	14,9	89,2	442,6	356,9	314,9
Quartile 0 (minimo)	0	0	0	8,7	0	7,6
Quartile 1 (25%)	1,5	12,4	24,5	67,7	120,4	130,7
Quartile 2 (mediana)	2,7	16,7	64,3	100,1	217,7	246,1
Quartile 3 (75%)	3,8	24,7	106,9	254,5	416,7	357,8
Quartile 4 (massimo)	9,7	55,9	376,2	1841,8	1373,8	1278,7
Frequenza (c>CMA res)	55%	38%	20%	38%	72%	72%
Frequenza (c>CMA ind)	0%	0%	0%	10%	7%	0%

Tabella 4 - Indici statistici dei tenori misurati nei materiali di riporto di origine mista (campioni appartenenti ad entrambe le campagne di indagini, 2000 e 2005)

Elemento	Cd	Co	Cr_{tot}	Cu	Pb	Zn
Media	1,3	18,5	53,9	82	129,8	100,5
Deviazione standard	0,65	2,78	3,28	20,8	76,6	15,24
Quartile 0 (minimo)	0	14,1	48,74	63,1	4,6	77,5
Quartile 1 (25%)	1,21	17,3	52,5	69,0	97,8	90,5
Quartile 2 (mediana)	1,23	19,2	53,5	69,1	174,5	100,3
Quartile 3 (75%)	1,57	19,6	55,9	93,4	176,3	113,7
Quartile 4 (massimo)	2,1	22,4	58,8	120,3	181,4	117,2
Frequenza (c>CMA res)	14%	14%	0%	14%	71%	0%
Frequenza (c>CMA ind)	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabella 5 - Indici statistici dei tenori misurati nei campioni prelevati nella coltre eluvio – colluviale (campioni appartenenti alla campagna di indagini 2005)

Elemento	Cd	Co	Cr_{tot}	Cu	Pb	Zn
Media	1,0	30,2	25,1	70,2	96,3	90,9
Deviazione standard	4,2	15,7	22,5	14,8	55,1	21,3
Quartile 0 (minimo)	2,0	12,4	0	47,2	18,6	63,5
Quartile 1 (25%)	0,96	15,9	3,3	63,3	67,2	85,4
Quartile 2 (mediana)	1,45	28,3	20,7	67,1	90,3	88,1
Quartile 3 (75%)	1,75	42,9	44,4	73,4	143,8	92,5
Quartile 4 (massimo)	2,5	52,3	56,3	103,4	175,4	144,0
Frequenza (c>CMA res)	30%	60%	0%	0%	30%	0%
Frequenza (c>CMA ind)	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabella 6 - Indici statistici dei tenori misurati nei materiali di riporto, costituiti prevalentemente da smarino di galleria (campioni appartenenti ad entrambe le campagne di indagini, 2000 e 2005)

Elemento	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr_{tot} (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Sn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
CMA res	2	20	150	120	120	100	1	150
CMA ind	15	250	800	600	500	1000	350	1500

Tabella 7 – Valori della concentrazione limite accettabile per aree ad uso residenziale o industriale

7.1 Superamento dei valori limite di concentrazione

Se si tiene conto dei valori di concentrazione limite accettabili della colonna A della tabella 1 del DM 471/99, relativa ad aree destinate ad uso verde e residenziale, in 45 dei 46 campioni prelevati nella campagna del 2005 (fa eccezione il campione C3 superficiale) si ha il superamento del valore limite accettabile per almeno un analita, nell' 80% dei casi per due o più analiti.
Nei tre sondaggi attrezzati a piezometri (P1, P2, P3), considerati nel progetto Arpal delle indagini come esterni al sito ("bianchi di riferimento"), in tutti i campioni si è misurato almeno un valore superiore alla soglia.

Per quanto riguarda i campioni raccolti nella campagna del 2000, i risultati sono analoghi: in 22 campioni su 25 si è verificato il

superamento dei valori di concentrazione limite per almeno un analita e nel 50% dei casi per due o più analiti.
Nel sondaggio S1, considerato rappresentativo del fondo naturale, due campioni hanno rivelato concentrazioni di Co leggermente superiori al limite.

Prendendo in considerazione i valori della concentrazione limite accettabile per terreni a destinazione d'uso industriale o commerciale, il superamento dei limiti si verifica solo per quattro elementi (Cu, Ni, Pb, Zn) in relativamente pochi campioni (una decina), distribuiti tuttavia in quasi tutti i sondaggi della seconda campagna (C1, C2, C3, C4, C6, C7, P2) e in S5 della prima campagna (fig. 5 e 6).
La posizione dei campioni con tenori anomali non mette in evidenza una distribuzione concentrata o localizzata preferenzialmente in un'area particolare, ma piuttosto una dispersione su tutta la superficie del sito.

7.2 Stima dei valori medi di concentrazione

Mettendo a confronto i valori medi delle concentrazioni dei 6 metalli pesanti analizzati in entrambe le campagne 2000 e 2005 (Cd, Co, Cr_{tot}, Cu, Pb, Zn), per le tre tipologie di terreni presenti nel sito (materiali di riporto di origine mista, materiali di riporto derivanti dallo smarino delle gallerie autostradali, coltre eluvio – colluviale, tabelle 4, 5, 6), si ottengono differenze significative: le concentrazioni medie degli analiti nei campioni del materiale di riporto di origine mista sono ampiamente superiori alle concentrazioni medie misurate nel materiale di riporto derivante in prevalenza da smarino di galleria o nelle coltri eluvio – colluviali, più o meno rimaneggiate (le concentrazioni medie di questi ultimi due terreni essendo sostanzialmente vicine).

Tuttavia se si tiene conto dei rapporti di sovrapposizione e di giustapposizione laterale dei tre materiali, non semplici, che renderebbero difficile ogni intervento differenziato per tipo di

materiale, della distinzione tra i diversi terreni, spesso difficile, e per ragioni di semplicità, è apparso più appropriato considerare in un'unica classe tutti i terreni di copertura esaminati.

Esaminando i dati della campagna 2005, i valori medi della concentrazione di 6 analiti (Cd, Cu, Ni, Pb, Sn, Zn) risultano superiori ai valori limite accettabili per aree ad uso residenziale.
I dati della campagna del 2000 confermano una distribuzione analoga per Cu, Pb, Zn, i cui tenori medi sono superiori ai valori limite accettabili (Ni e Sn non sono confrontabili perché non analizzati nel 2000), mentre Cd ha una concentrazione media inferiore e Co ha un valore medio superiore alla media dei campioni del 2005.

Per Cu, Pb, Zn la contaminazione non appare legata alla presenza di valori anomali isolati, ma ha un carattere diffuso in tutto il sito.
Gli stessi valori medi appaiono per contro largamente inferiori ai valori delle concentrazioni limite accettabili per aree ad uso industriale per tutti gli analiti esaminati.
Per il Ni valgono le stesse osservazioni riguardo alla distribuzione nel sito, tenendo conto tuttavia del fatto che è stato analizzato un numero molto limitato di campioni (8 in totale).

Il valore migliore di concentrazione da utilizzare per un confronto con i limiti normativi non è tuttavia considerato nella bibliografia specializzata il valore della media aritmetica , ma il limite superiore di confidenza della media (UCL), che tiene conto dell'incertezza nella determinazione del valor medio[4].

Nel caso di Cu, Pb, Zn il valore di UCL è stato calcolato sui dati della campagna del 2005, applicando il metodo di Land per una distribuzione dei dati lognormale, il tipo di distribuzione statistica

[4] Mariotti, Merlo (2003) – La gestione dei siti inquinati, Pitagora editrice, Bologna.

più comune dei dati ambientali[5]. Per Ni il metodo è inapplicabile, essendo il numero di campioni inferiore a 30.

Per ognuno dei tre analiti è stato calcolato il logaritmo naturale dei dati di concentrazione, la media e la deviazione standard relativi, il parametro $H_{1-\alpha}$ utilizzando una tabella che tiene conto del numero di campioni e della deviazione standard, applicando infine l'espressione:

$$UCL_{1-\alpha} = \exp(x + s^2/2 + H_{1-\alpha}\, s/\sqrt{n})$$

in cui x ed s sono la media e la deviazione standard dei valori logaritmici, n il numero di campioni, $UCL_{1-\alpha}$ il limite di confidenza al 95%.

I valori ottenuti, riportati in tabella 8, confermano nei tre casi esaminati la valutazione effettuata con la semplice media aritmetica, per cui i valori della concentrazione media di Cu, Pb, Zn si situano tra i valori limite accettabili per le aree ad uso residenziale ed industriale.

Elemento	x	s	$H_{1-\square}$	UCL (mg/kg)
Cu	4,69	0,98	2,37	252
Pb	4,97	1,52	2,97	720
Zn	5,10	1,00	2,37	387

Tabella 8 – Calcolo dell'UCL per Cu, Pb, Zn

7.3 Analisi chimiche dell'eluato

Su quattro campioni, appartenenti ai sondaggi C2, C5, C7 e P3, sono stati condotti test di cessione in acido acetico 0,5M su 8 metalli pesanti (Cd, Co, Cr_{tot}, Cu, Pb, Sn, V, Zn). I risultati sono riportati in tabella 9.

[5] Beretta (2004) – Il trattamento e l'interpretazione dei dati ambientali, Pitagora editrice, Bologna.

Il test di cessione IRSA con acido acetico è quello comunemente utilizzato per la caratterizzazione dei rifiuti al fine del collocamento in discarica. Qualche indicazione qualitativa può essere tratta a riguardo della mobilità dei metalli pesanti.

Nell'eluato per Cd e Cr_{tot} sono state determinate concentrazioni sempre inferiori ai limiti di rilevabilità; per Pb e V in 3 campioni su 4: questi quattro analiti possono essere considerati quindi i meno mobili tra i metalli pesanti.

Per quanto riguarda i metalli rimanenti, calcolando il rapporto tra le concentrazioni nell'eluato e nel campione tal quale, Cu e Zn risultano i metalli meno lisciviabili perché caratterizzati dai più bassi valori del rapporto (0,4% ÷ 0.09%), mentre per Co e Sn il rapporto raggiunge valori anche di qualche unità percento (0,08% ÷ 3,1%).

	C2		C5		C7		P3	
	Tal quale (mg/kg)	Eluato (µg/l)	Tal quale (mg/kg)	Eluato (µg/l)	Tal quale (mg/kg)	Eluato (µg/l)	Tal quale (mg/kg)	Eluato (µg/l)
Cd	-	<0,01	1,01	<0,01	3,38	<0,01	9,73	<0,01
Co	-	61,38	12,39	9,91	9,97	131,24	19,75	203,65
Cr_{tot}	-	<0,009	56,34	<0,009	206,11	<0,009	115,44	<0,009
Pb	-	<0,2	175,42	<0,2	883,25	<0,2	282,55	23,51
Cu	-	<0,05	66,52	<0,05	296,45	46,12	100,15	142,03
Sn	-	19,25	1,38	44,26	<0,02	37,51	<0,02	40,21
V	-	21,33	37,63	<0,50	15,36	<0,50	66,15	<0,50
Zn	-	184,23	63,51	277,91	486,17	326,15	201,56	179,54

Tabella 9 – Risultati delle analisi sull'eluato dei 4 campioni analizzati

8. STIMA DEI VOLUMI DEI MATERIALI CONTAMINATI

Sulla base dei dati delle indagini dirette e della prospezione sismica a rifrazione è stata ricostruita la superficie del tetto del substrato lapideo (fig. 4).

Tenuto conto dell'attuale destinazione d'uso del sito (residenziale) e considerato che entrambe le tipologie di materiali di riporto sono fortemente contaminati, e che, anche se in misura minore, valori superiori ai limiti normativi sono stati misurati ugualmente nella coltre eluvio – colluviale, il volume del terreno contaminato è assimilabile al volume dei terreni di copertura del substrato.

Il calcolo è stato eseguito sull'area investigata dalle indagini geognostiche, assumendo come limiti a sud la strada di accesso, ad ovest il piede del rilevato, ad est i piloni del viadotto autostradale, a nord la terminazione del rilevato contro il versante naturale.

Il volume è stato calcolato come somma dei volumi parziali compresi tra strati orizzontali individuati dalle aree racchiuse dalle curve di livello della superficie topografica e della superficie del tetto del substrato lapideo. E' stato posto un limite alla quota di 37 m s.l.m., mancando dati sufficienti per scendere oltre nel settore situato alla base del rilevato, in cui il substrato si approfondisce a quote inferiori e sono ancora presenti concentrazioni di contaminanti superiori ai limiti di legge (piezometro P2).

Il volume totale, che è pertanto una stima per difetto, risulta uguale a circa 44.000 m^3.

Se invece si tiene conto della destinazione d'uso commerciale – industriale, come già discusso in precedenza, il numero di valori analitici che superano la soglia di legge diviene significativamente inferiore. Tenendo conto dei diversi spessori stratigrafici di ciascun sondaggio in cui nel sottosuolo è presente terreno contaminato, ed attribuendo una zona d'influenza a ciascun sondaggio, è stato

calcolato il volume di terreno contaminato secondo i valori limite accettabili per la destinazione d'uso commerciale - industriale.

La zona d'influenza intorno ad ogni sondaggio è stata calcolata con uno dei metodi per il calcolo delle riserve in uso nella pratica mineraria (metodo dei poligoni). Tracciate le congiungenti i sondaggi, sono state disegnate le perpendicolari dal punto medio delle congiungenti; le perpendicolari sono state poi unite a formare un reticolo chiuso di poligoni (fig. 7). Nelle aree marginali, in cui la densità di sondaggi era insufficiente, i lati dei poligoni sono stati prolungati fino ai limiti del sito.

Calcolata l'area delle superfici dei poligoni, il volume di terreno contaminato si è ottenuto misurando gli spessori delle colonne stratigrafiche con valori superiori ai limiti accettabili per almeno un analita.

Nei due casi (C3 e C6) in cui le superfici d'influenza non sono sub pianeggianti, ma comprendono una parte della scarpata, sono state apportate opportune riduzioni dei volumi.

Il volume totale di terreno contaminato in questo secondo caso risulta pari a circa 15.000 m^3.



Fig. 7 - Suddivisione delle aree di influenza di ciascun sondaggio per il calcolo dei volumi contaminati

9. ANALISI DELLE ACQUE

Per quanto riguarda le acque sotterranee, ad oggi i piezometri (P1, P2, P3) sono risultati sempre asciutti.

Quattro campionamenti sono per contro stati effettuati nel rio Maltempo, prelevando campioni di acque sia a monte che a valle del sito(fig. 8), ad aprile, luglio e novembre 2005 e a febbraio 2006.

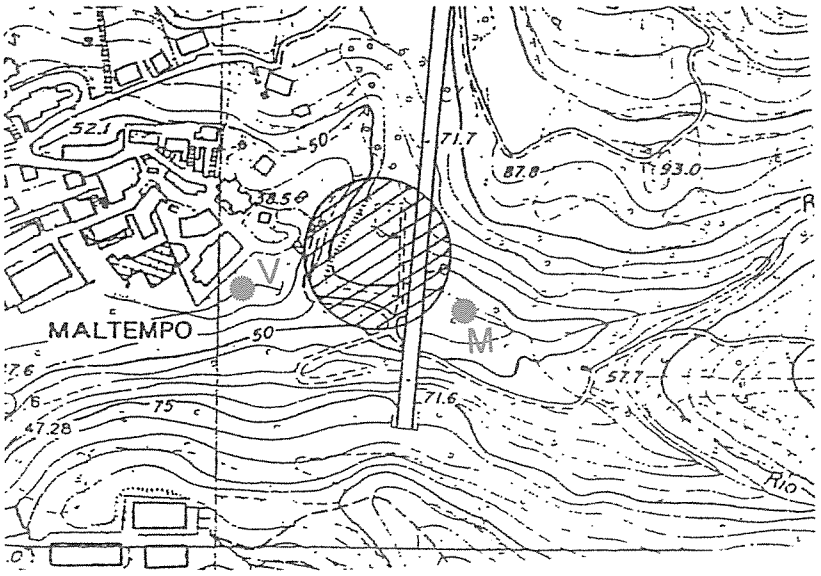


Fig. 8 – Localizzazione dei campioni di acque superficiali prelevati nel rio Maltempo. Con M è indicato il campione di monte, con V il campione di valle. Scala 1:5000.

Nella tabella 10 sono stati riportati i valori di concentrazione significativi, ovvero superiori ai limiti di rilevabilità, degli analiti determinati nei campioni di acque superficiali.

Data	27/04		14/07		
	Monte	Valle	Monte	Valle	CLA (µg/l)[6]
pH	6,9	7,1	7,9	8,4	-
Conducibilità	300	320	1066	943	-
Cr_{tot}	<s	<s	20,1	21,7	50
Mn	8,5 (mg/l)	7,6 (mg/l)	17,4	<s	50
Ni	<s	<s	16,2	16,5	20
Solfati	3,4 (mg/l)	84,7 (mg/l)	84,7 (mg/l)	122,6 (mg/l)	250 (mg/l)
Sn	<s	<s	22,1	18,7	-
V	<s	<s	31,7	25,8	-
Zn	23,5	18,1	40,6	32,6	3000
Cu	<s	<s	<s	10,5	1000

Data	16/11		6/02		
	Monte	Valle	Monte	Valle	CLA (µg/l)[7]
pH	8,4	8,7	8,6	8,8	-
Conducibilità	866	871	893	902	-
Cr_{tot}	<s	<s	<s	<s	50
Mn	<s	<s	<s	<s	50
Ni	<s	<s	<s	<s	20
Solfati	82,1 (mg/l)	105,8 (mg/l)	91,5 (mg/l)	128,4 (mg/l)	250 (mg/l)
Sn	<s	<s	<s	<s	-
V	<s	<s	<s	<s	-
Zn	<s	<s	<s	<s	3000
Cu	<s	<s	<s	<s	1000

Tabella 10 – Risultati delle analisi delle acque superficiali. Valori in µg/l se non specificato altrimenti (<s: valore inferiore al limite analitico).

Due soli valori analitici risultano superiori ai limiti di legge (i tenori di Mn nei campioni prelevati il 27/04). Il fatto che risultino contaminati, con valori di concentrazione analoghi, sia il campione prelevato a monte che quello prelevato a valle del sito indica che la sorgente della contaminazione non è riferibile al sito stesso. I valori anomali in Mn non sono stati peraltro più misurati nelle tre successive campagna di misura. La contaminazione da Mn è stata pertanto un fenomeno temporaneo, di origine probabilmente accidentale.

[6] Valori di concentrazione limite accettabile nella acque sotterranee secondo il DM 471/99.

10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I risultati delle analisi chimiche condotte su campioni di suolo e di sottosuolo prelevati nel sito di via Piombelli indicano che solo in tre campioni sono stati determinate concentrazioni di composti organici superiori ai limiti del DM471/99: C1 (1,7 m), C5 (0,5 m – 5,25 m), C7 (0,5 m - 6,5 m).
Per otto metalli pesanti (Cd, Co, Cr_{tot}, Cu, Ni, Pb, Sn, Zn), degli 11 analizzati nei campioni di suolo e sottosuolo, sono stati determinati valori di concentrazione superiori al valore limite accettabile previsto nel DM 471/99 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. Tale superamento si è verificato in 45 dei 46 campioni prelevati nella campagna del 2005 ed in 22 dei 25 campioni prelevati nel corso della campagna del 2000.

La contaminazione dei metalli pesanti si estende su tutta l'area investigata, ed appare concentrata particolarmente nei materiali di riporto di origine mista, essendo tuttavia presente anche nei materiali di risulta dello scavo delle gallerie autostradali (smarino) e nella coltre eluvio – colluviale. La stima per difetto del volume di materiale contaminato, comprendente le tre tipologie di materiali, risulta pari a 44.000 m^3.

Prendendo in considerazione i valori della concentrazione limite accettabile per terreni a destinazione d'uso industriale o commerciale, il superamento dei limiti si verifica solo per quattro elementi (Cu, Ni, Pb, Zn) in relativamente pochi campioni (una decina), distribuiti tuttavia in quasi tutti i sondaggi della seconda campagna (C1, C2, C3, C4, C6, C7, P2) e in S5 della prima campagna. La posizione dei campioni con tenori anomali in Cu, Pb, Zn non mette in evidenza una distribuzione concentrata o localizzata preferenzialmente in un'area particolare, ma piuttosto dispersa su tutta la superficie del sito, e riguardante anche un'area considerata preliminarmente esterna al sito contaminato (sondaggio P2).

Tenendo conto dei valori della concentrazione limite accettabile per terreni a destinazione d'uso commerciale – industriale, il volume

totale di terreno contaminato, calcolato sulla base dello spessore stratigrafico di ciascun sondaggio in cui sono presenti campioni con tenori superiori a tale soglia, ed attribuendo una zona d'influenza a ciascun sondaggio, risulta pari a circa 15.000 m^3.

In tutti i campioni dei tre sondaggi attrezzati a piezometri (P1, P2, P3), considerati nel progetto Arpal delle indagini del piano di caratterizzazione come esterni al sito ("bianchi di riferimento"), si è misurato almeno un valore superiore alla soglia per siti ad uso residenziale.

Per quanto riguarda il monitoraggio delle acque superficiali, sulla base dei risultati analitici dei campionamenti eseguiti nelle quattro campagne di indagine si possono escludere fenomeni di inquinamento del rio Maltempo che derivino dal sito di via Piombelli.
I due valori anomali di Mn, per i quali si è verificato nella prima campagna di prelievo il superamento dei valori di concentrazione limite stabiliti dal DM 471/99, sono riferibili ad una sorgente di contaminazione esterna al sito.