



**NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE
CUP C11J05000030001**

**Chantier Opérationnel 10 – Cantiere Operativo 10
CIG Z2727BDB1C**

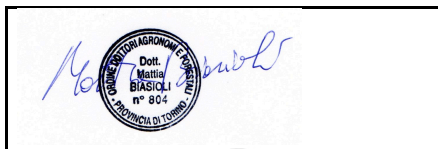
**LOT 2: TRAVAUX DE VALORISATION DES TERRES ET ROCES D'EXCAVATION COTÉ ITALIE – CHANTIER
OPERATIONNEL 10 (CO10) – LOTTO 2: LAVORI DI VALORIZZAZIONE TERRE E ROCCE DA SCAVO LATO
ITALIA – CANTIERE OPERATIVO 10 (CO10)**

**DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES - DOSSIER A – DOSSIER DI CONSULTAZIONE DELLE
IMPRESE - DOSSIER A DOSSIER DE PLANS - ELABORATI TECNICI**

**PLAN D'UTILISATION DES MATÉRIAUX D'EXCAVATION – PIANO DI UTILIZZO TERRE E ROCCE DA SCAVO
ANN. SEC. B - ETUDE DES VALEURS NATURELLES DU TUNNEL DE BASE / ALL. SEZ. B - STUDIO SUI
VALORI DI FONDO SITO-SPECIFICI TUNNEL DI BASE**

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérfifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	15/09/2020	Première diffusion / Prima emissione	M. Biasioli	C. Ognibene	A. Mordasini A. Malaguti
A	05/07/2021	Révision suite commentaires ARPA, Revisione seguito commenti ARPA,	M. Biasioli	C. Ognibene	A. Mordasini A. Malaguti

1	0	0	C	1	8	0	3	5	1	0	0	-	-	0	0	G	R	E	G	E	3	0	8	1	A
Cantiere Operativo Chantier Opérationnel		Contratto Contrat				Opera Ouvrage		Tratta Section	Parte Partie	Fase Phase	Tipo documento Type de document	Objet Objet	Numero documento Numéro de document			Indice									



L'appaltatore / L'entrepreneur

-

Scala / Echelle

A	P
Stato / Statut	
Indirizzo / Adresse GED	

Il Direttore dei Lavori / Le Maître d'Oeuvre



SOMMAIRE / INDICE

1	PREMESSA.....	4
1.1	I valori di fondo naturale nell'ambito di studio	5
2	DESCRIZIONE INDAGINI ESEGUITE – PROGETTO DEFINITIVO	8
3	DESCRIZIONE INDAGINI ESEGUITE – LA MADDALENA	11
4	DESCRIZIONE INDAGINI ESEGUITE – INDAGINI INTEGRATIVE 2019.....	12
5	DEFINIZIONE DEL DATASET CAMPIONARIO	14
5.1	Trattamento dei valori <LOD, <LOQ	15
5.2	Identificazione dei sub-set campionari in funzioni di fattori che controllano la distribuzione dei parametri di studio	15
6	ELABORAZIONI STATISTICHE EFFETTUATE	16
6.1	Statistica descrittiva e distribuzione delle popolazioni	16
6.2	Individuazione dei dati anomali (outliers)	29
6.3	Considerazioni sulla natura degli outlier identificati su base statistica e loro gestione	35
7	IDENTIFICAZIONE DEI VALORI DI FONDO SITO SPECIFICI E CONCLUSIONI OPERATIVE	36
7.1	Definizione dei valori di fondo sito specifici	36
7.2	Confronto Valori di fondo proposti con le CSC di riferimento	37
7.3	Conclusioni e indicazioni operative	38

ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Studio valori di fondo Arpa Piemonte
- ALLEGATO 2 – Esiti analisi caratterizzazione cumuli cunicolo Maddalena
- ALLEGATO 3 – Planimetria indagini integrative 2019
- ALLEGATO 4 – Stratigrafie indagini
- ALLEGATO 5 – Esiti analisi caratterizzazione terreni indagini integrative 2019
- ALLEGATO 6 – Rapporti di prova indagini integrative 2019
- ALLEGATO 7 - Dataset campionario (formato editabile)

RESUME / RIASSUNTO

Il presente documento costituisce lo studio per la determinazione dei valori di fondo naturale del sito di produzione dei materiali di scavo Tunnel di Base, realizzato a partire dalle indagini ambientali eseguite in fase di Progettazione Definitiva, delle indagini integrative svolte nel corso del 2019 da parte di TELT, e del ritorno di esperienza derivante dallo scavo del cunicolo geognostico de La Maddalena.

Il presente documento recepisce inoltre le istruttorie specifiche ARPA di cui al parere tecnico 11792 del 08/02/2021 e le indicazioni emerse in sede di tavolo tecnico del 08/06/2021

1 PREMESSA

Nell'ambito della gestione dei materiali di scavo della nuova linea Torino-Lione, in fase di Variante al Progetto Definitivo, è stato definito l'approccio metodologico per l'esecuzione del Piano di accertamento dei valori di fondo naturale ai sensi dell'art. 5 comma 4 del DM 161/12, in relazione ai siti di produzione e di destinazione dei materiali di risulta derivanti dalla realizzazione delle opere previste. Tale approccio metodologico, descritto nel documento *"Piano di accertamento per la determinazione dei valori di fondo naturale – approccio metodologico"* (PRV-C3B-LOM-6809A) è stato condiviso, in fase istruttoria, con Arpa Piemonte così come richiesto dalla Commissione Tecnica VIA VAS del MATTM (paragrafo k del parere tecnico prot. CTVA/3958 del 24/11/2017).

Successivamente, con l'approvazione della variante al Progetto Definitivo, avvenuta con (Delibere CIPE n. 30/2018 del 21/03/2018 e n. 39/2018 del 26/04/2018), sono state introdotte alcune prescrizioni, le quali sono state recepite tramite la redazione di una versione integrata ed aggiornata del suddetto approccio *"Piano di accertamento per la determinazione dei valori di fondo naturale: Approccio metodologico"* (4-100-181207-SP02-O-0-ERE-AM-0001-A del 18/02/2019). Anche quest'ultimo elaborato è stato condiviso con ARPA Piemonte.

Nel corso del 2019 TELT ha quindi eseguito le indagini ambientali finalizzate all'accertamento dei valori di fondo naturale descritte negli elaborati sopracitati e in ottemperanza alle prescrizioni delle delibere CIPE.

La necessità di approfondimenti circa il fondo naturale dei siti di produzione/destinazione del materiale da scavo deriva dal fatto che le indagini ambientali eseguite in fase di Progettazione Preliminare e Definitiva hanno evidenziato presenza di superamenti delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) di cui alla Col. A e B della Tab. 1, all. 5 parte IV del D.Lgs. 152/05 e s.m.i. per alcuni parametri riconducibili a fenomeni di fondo naturale

In funzione di tali superamenti, ed in ottemperanza a quanto previsto dalla normativa ambientale vigente, è stato sviluppato il presente studio per la determinazione dei valori di fondo naturale sito-specifici del Sito di produzione del Tunnel di Base, con la finalità di:

- definire il valore di fondo naturale di alcuni parametri per l'area, da assumersi come riferimento in caso questi risultassero superiori alle CSC di riferimento per il Sito;
- verificare la compatibilità dei materiali estratti dallo scavo delle opere della Torino-Lione con il sito in oggetto.

Le elaborazioni statistiche effettuate per il presente studio sono quelle descritte dalle *"Linee guida per la determinazione dei valori di fondo per i suoli e per le acque sotterranee"*, documento tecnico preparato dall'SNPA/ISPRA (adottate il 01/08/2017), nonché le metodiche previste dalla nuova norma UNI ISO 19258:2018 (*Soil quality -- Guidance on the determination of background values*).

Si specifica che il parametro amianto non è stato oggetto di definizione di valore di fondo in quanto dalla Delibera ISPRA n. 54/2019 viene dichiarato *"non quantificabile, in termini numerici, il fondo naturale relativamente al parametro amianto, in quanto tale elemento si presenta all'interno degli ammassi rocciosi con concentrazioni variabili in modo estremo da punto a punto, tali da produrre set di dati con un'elevata percentuale di "non-detect" e punte isolate di concentrazioni molto elevate"*.

Le elaborazioni statistiche effettuate per il presente studio sono quelle descritte dalle *"Linee guida per la determinazione dei valori di fondo per i suoli e per le acque sotterranee"*, documento tecnico preparato dall'SNPA/ISPRA (adottate il 01/08/2017), nonché adottano le metodiche previste dalla norma UNI ISO 19258:2018 (*Soil quality -- Guidance on the determination of background values*).

Infine, le elaborazioni statistiche condotte nel presente documento fanno riferimento, unicamente a scopo bibliografico e non per confronto diretto, con quelle sviluppate da ARPA Piemonte nel proprio documento *“Parametri statistici e valori di fondo di Cromo, Nichel, Arsenico per le aree omogenee di concentrazione dei suoli nei comuni di Caprie, Bussoleno, Susa e Torrazza Piemonte”*, riportato in **Allegato 1**.

Il presente documento è stato oggetto di istruttoria tecnica ARPA in ottemperanza a quanto previsto dall’art. 5 del DM 161/12 e la presente versione recepisce le istruttorie specifiche ARPA di cui al parere tecnico 11792 del 08/02/2021 nonchè le indicazioni emerse in sede di tavolo tecnico tra ARPA e TELT del 08/09/2021.

Nel succitato parere, in merito al calcolo dei valori di fondo sviluppati per il Tunnel di Base, ARPA riporta quanto segue:

Tunnel di base

Dato l’obiettivo della definizione del VFN ed essendo la profondità stessa dello scavo tale da escludere l’impatto antropico, si ritiene condivisibile la proposta di scegliere come VFN le concentrazioni massime per ogni parametro.

ARPA Piemonte **ha pertanto condiviso i Valori di Fondo Naturale** proposti da TELT (sintetizzati al **Paragrafo 7**) per il Tunnel di Base, definiti a seguito delle elaborazioni statistiche descritte nel seguito.

1.1 I valori di fondo naturale nell’ambito di studio

Nella figura seguente vengono riportati alcune elaborazioni cartografiche di ARPA Piemonte relative alla contaminazione diffusa da metalli pesanti/metalloidi, con particolare riferimento a Cr, Ni e As, nel sottosuolo dell’areale in oggetto. I dati fanno riferimento alla rete di monitoraggio della qualità dei suoli gestita da ARPA Piemonte. I risultati della rete evidenziano la presenza sul territorio piemontese di **aree critiche caratterizzate da probabilità elevate di superamento dei limiti di legge** (DLgs 152/06 - Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A) attribuibili in prevalenza “a caratteristiche naturali del terreno” per: Cromo (Cr), Nichel (Ni) e Arsenico (As). Di questi elementi, Cr e Ni fanno parte del presente studio.

Le aree critiche di concentrazione di questi metalli sono comparabili, con le dovute considerazioni attinenti alla scala di dettaglio con la quale sono presentate, alla definizione di “ambito territoriale con fondo naturale”: riportata da Dpr, n. 120/2017 nell’articolo 2 (lettera h): **“ambito territoriale con fondo naturale”**: porzione di territorio geograficamente individuabile in cui può essere dimostrato che un valore di concentrazione di una o più sostanze nel suolo, superiore alle concentrazioni soglia di contaminazione di cui alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, sia ascrivibile a fenomeni naturali legati alla specifica pedogenesi del territorio stesso, alle sue caratteristiche litologiche e alle condizioni chimico-fisiche presenti.

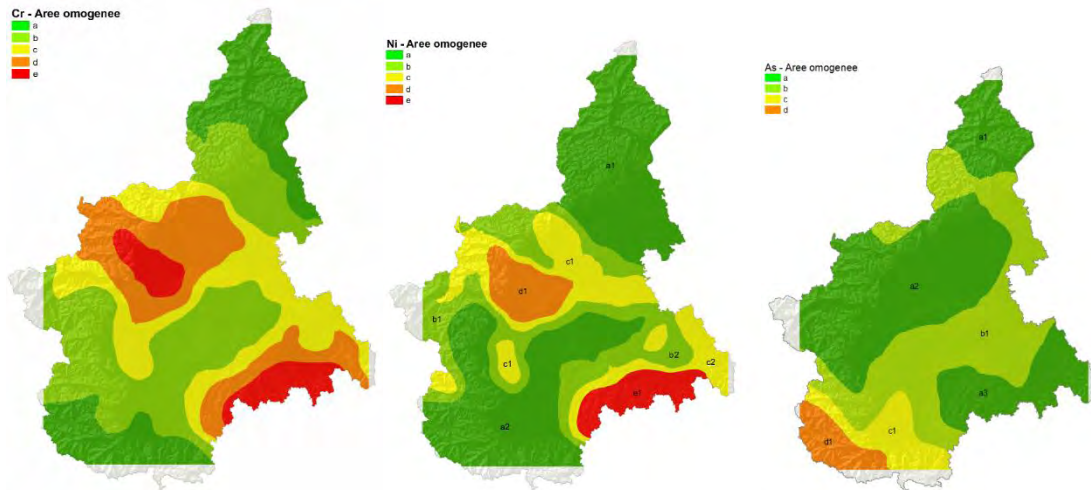


Figura 1: Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) e aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge (parametri Cromo, a sx. Nichel, in centro e Arsenico, a dx.). Fonte: Parametri statistici e valori di fondo di Cromo, Nichel e Arsenico per le aree omogenee di concentrazione dei suoli dei comuni di Caprie, Bussoleno, Susa e Torrazza Piemonte, ARPA Piemonte, 2017.

La tabella seguente riporta un estratto dei dati elaborati da ARPA Piemonte e relativi ai parametri Cr, Ni e As nell'area di interesse. Nello specifico si riporta la statistica descrittiva, i percentili, i valori di fondo (1) e conteggio di campioni analizzati del Cromo (Cr), Nichel (Ni) e As (Arsenico) nei suoli (3) nell'areale in oggetto.

Aree omogenee		Cromo_c1	Nichel_c1	Arsenico_a2
Media	mg/kg	137	115	7
Mediana	mg/kg	113	100	6
Dev. St	mg/kg	139	79	3
CV	-	1,0	0,7	0,5
Min	mg/kg	15	19	1
Max	mg/kg	1300	600	18
25° percentile (Q1)	mg/kg	77	73	4
50° percentile	mg/kg	113	100	6
75° percentile (Q3)	mg/kg	160	136	9
90° percentile	mg/kg	210	170	11
95° percentile	mg/kg	237	182	13
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	284	230	16
Numero outliers	n	2	3	1
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	209	160	10
Campioni ⁽³⁾	n	85	85	

¹⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾, ⁽⁵⁾= $Q3+1,5*IQR$, $IQR=Q3-Q1$ Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati al 2016).

Si specifica che le concentrazioni fornite dalle elaborazioni statistiche di ARPA Piemonte, si riferiscono alla totalità dei materiali secchi della sola frazione inferiore a 2 mm, senza includere

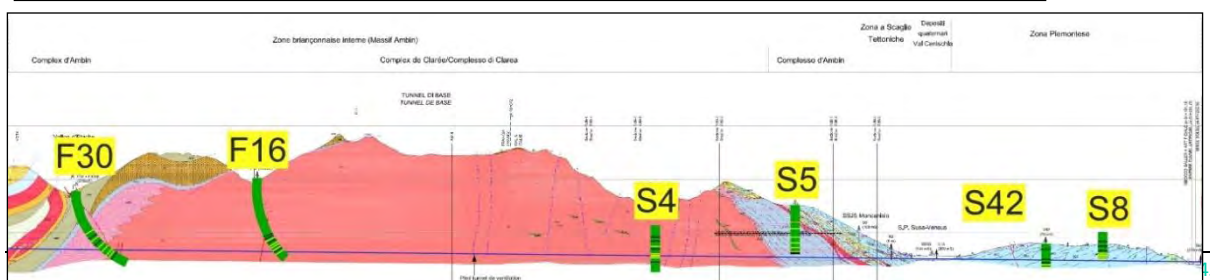
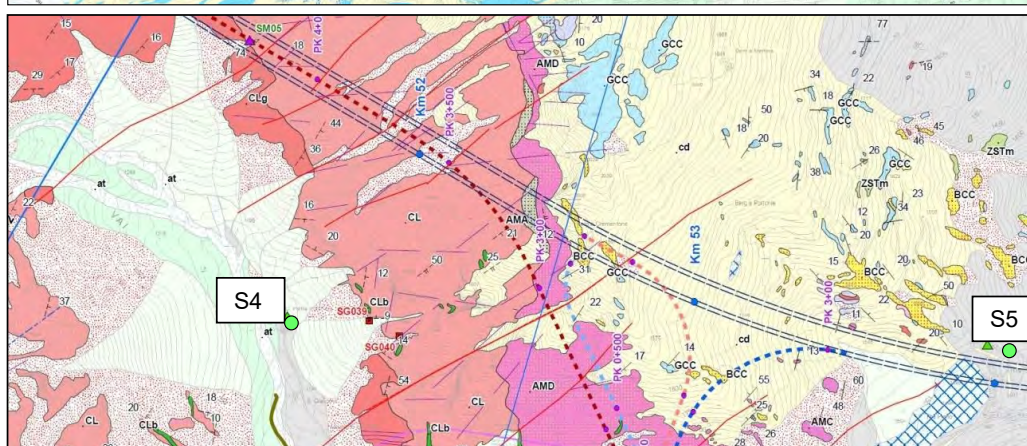
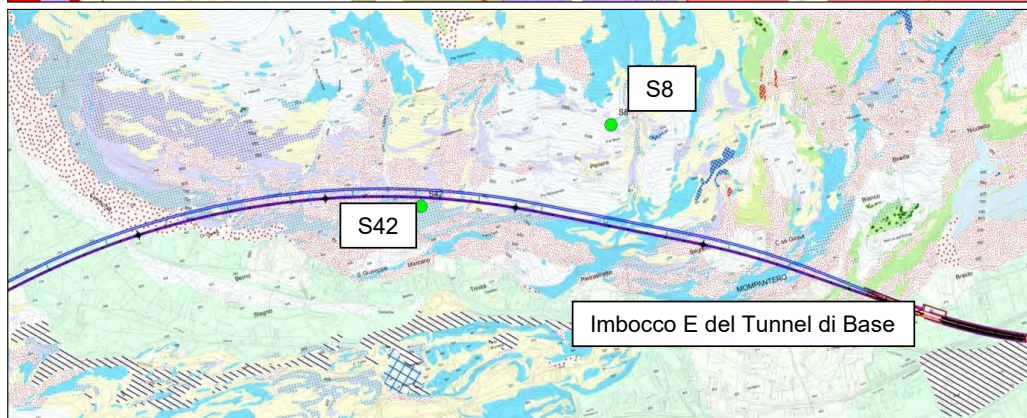
la frazione di scheletro 2 cm - 2 mm. I dati forniti dalla rete di monitoraggio non sono pertanto direttamente confrontabili con valori di concentrazione relativi a campioni riferiti alla totalità dei materiali secchi (comprensiva dello scheletro frazione 2 cm - 2 mm in base alle modalità previste dal D.Lgs. 152/06).

Come richiesto da ARPA Piemonte nel proprio parere tecnico 11792 del 08/02/2021 in merito ai contenuti del presente documento, i dati prodotti da ARPA si ritengono citati a mero titolo di fonte bibliografica ma non saranno adottati per il Tunnel di Base in quanto riferibili unicamente a campioni provenienti dagli orizzonti più superficiali del suolo e quindi poco confrontabili con le litologie interessate dagli scavi oggetto del presente documento.

2 DESCRIZIONE INDAGINI ESEGUITE – PROGETTO DEFINITIVO

In sede di Progettazione Definitiva dell'intervento sono state realizzate da TELT una serie di indagini ambientali nell'area del Tunnel di Base, a partire dal materiale estratto dai sondaggi realizzati in prossimità del tracciato.

Le figure seguenti riportano uno stralcio delle ubicazioni delle indagini eseguite (si veda per dettagli il documento "Piano di accertamento per la determinazione dei valori di fondo naturale: Approccio metodologico" (4-100-181207-SP02-O-0-ERE-AM-0001-A del 18/02/2019)



Gli esiti delle indagini ambientali eseguite sono riassunti nella tabella seguente.

In sintesi le indagini hanno evidenziato:

- superamenti delle CSC di cui alla Col. A, Tab. 1, all. 5 per i parametri Be, Co, Cr, Hg, Ni, Tl, V e Zn;
- superamenti puntuali delle CSC di cui alla Col. B, Tab. 1 per As e Sb;
- superamenti puntuali dei limiti stabiliti dalla Banca Dati ISS per il Ba.

Campione	Sb	As	Ba	Be	Cd	Co	CrVI	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Tl	V	Zn
F16-C1 20	< 5,0	< 2,0	391,4	1,9	< 0,5	18,1	< 0,2	62,1	< 0,5	30,2	8,5	16,1	< 1	< 1	40,2	34,2
F16-C2 28	< 5,0	7,4	283,2	1,5	< 0,5	7,5	< 0,2	144	< 0,5	71	9	5,4	< 1	< 1	49,2	21,7
F16-C3 40	< 5,0	14,2	244,1	2	< 0,5	32,2	< 0,2	33,4	< 0,5	22,4	11,2	36,5	< 1	< 1	70,1	21
F16-C4 52	< 5,0	2,4	481	< 1,0	< 0,5	< 2,0	< 0,2	102	< 0,5	42,8	2,7	< 5,0	< 1	< 1	45,5	16
F16-C5 62	< 5,0	19	285	1,8	< 0,5	< 2,0	< 0,2	61,7	< 0,5	61,4	11	7,1	< 1	< 1	84,2	58
F16-C6 72	< 5,0	< 2,0	73,7	2,7	< 0,5	4,5	< 0,2	90,5	< 0,5	79,7	7,9	< 5,0	< 1	< 1	93,7	28,1
F16-C7 81	< 5,0	3,2	175	1,8	< 0,5	2,7	< 0,2	24,5	< 0,5	28	2,8	15,1	1,1	< 1	41,5	58
F16-C8 90	< 5,0	3	< 50	1,1	< 0,5	3,1	< 0,2	129,4	< 0,5	83,6	8	13,7	< 1	< 1	67,2	33,7
F16-C9 99	< 5,0	2,5	< 50	1,9	< 0,5	12,5	< 0,2	550,8	< 0,5	360	13,9	21,1	< 1	< 1	67,2	98,3
F30b-C1 149	< 5,0	< 2,0	< 50	2,2	< 0,5	11,6	< 0,2	33,4	< 0,5	17,3	4,3	12,7	< 1	< 1	44	22,9
F30b-C2 179	< 5,0	< 2,0	< 50	1,8	< 0,5	13,9	< 0,2	43,2	< 0,5	24,6	8,4	31,2	< 1	< 1	42,4	23,3
F30b-C3 197	< 5,0	< 2,0	< 50	2,5	< 0,5	12,1	< 0,2	31,2	< 0,5	16,4	12,4	< 5,0	< 1	< 1	46,8	16,2
F30b-C4 219	< 5,0	< 2,0	97,5	1,7	< 0,5	10,8	< 0,2	33,1	< 0,5	21,6	12,4	< 5,0	< 1	< 1	35,6	20
F30b-C5 236	< 5,0	< 2,0	647	1,8	< 0,5	7,5	< 0,2	90,5	< 0,5	76	23,2	73	< 1	< 1	37	214,4
F30b-C6 252	< 5,0	< 2,0	62,6	1,5	< 0,5	6,6	< 0,2	57	< 0,5	36,3	15,6	27,2	< 1	< 1	94,2	123,5
F30b-C7 275	< 5,0	< 2,0	< 50	1,1	< 0,5	7,5	< 0,2	66,6	< 0,5	64,2	17,1	8,1	< 1	< 1	59,6	21,3
F30b-C8 287	< 5,0	< 2,0	< 50	2	< 0,5	7,3	< 0,2	48,4	< 0,5	34	< 2,0	44,5	< 1	< 1	75	21,9
F30b-C9 299	9	< 2,0	< 50	1,4	< 0,5	9,6	< 0,2	131,2	< 0,5	75,1	14,1	20,4	< 1	< 1	63,4	46,7
S42-C1 19	< 5,0	< 2,0	< 50	1,5	< 0,5	14,7	< 0,2	32,3	< 0,5	23	6,3	6,8	< 1	< 1	54,3	39,2
S42-C2 46	< 5,0	8,1	< 50	< 1,0	< 0,5	16,1	< 0,2	67,6	< 0,5	50,8	7,3	13,6	< 1	< 1	20,1	12,4
S42-C3 54	< 5,0	5,3	228,7	< 1,0	< 0,5	14,2	< 0,2	22,3	< 0,5	18,6	5,9	12,6	< 1	< 1	21,6	20
S42-C4 60	< 5,0	< 2,0	< 50	1,8	< 0,5	< 2,0	< 0,2	195	< 0,5	155,4	11,6	11,6	< 1	< 1	60,4	36,8
S42-C5 65	< 5,0	< 2,0	< 50	< 1,0	< 0,5	15,1	< 0,2	120,2	< 0,5	95,6	53	33,3	< 1	< 1	85,2	70,8
S4-C1 34	< 5,0	< 2,0	< 50	1,7	< 0,5	7	< 0,2	49,3	< 0,5	41,3	5,7	< 5,0	< 1	< 1	40,2	19,6
S4-C2 56	< 5,0	< 2,0	216,7	1,5	< 0,5	8,2	< 0,2	48,3	< 0,5	29,6	8,5	< 5,0	< 1	< 1	43,1	10,3
S4-C3 86	< 5,0	2,9	722,1	< 1,0	< 0,5	8,5	< 0,2	360	< 0,5	222	11,6	11,2	< 1	< 1	14,3	13,4
S4-C4 122	5,4	17,8	< 50	1,8	< 0,5	4,7	< 0,2	54,6	< 0,5	21,2	8,9	5,8	< 1	< 1	100,5	13,5
S4-C5 144	< 5,0	3,4	470	1,4	< 0,5	6,2	< 0,2	53,1	< 0,5	31,1	54	47	< 1	< 1	80,5	103
S4-C6 164	< 5,0	< 2,0	66,1	1,2	< 0,5	< 2,0	< 0,2	84,6	< 0,5	41,9	7,6	< 5,0	< 1	< 1	69,2	21,3
S4-C7 170	< 5,0	11,3	56,1	1,4	< 0,5	17	< 0,2	55,7	< 0,5	47,6	13,4	10,3	< 1	< 1	25,3	13,4
S4-C8 174	< 5,0	< 2,0	59,6	< 1,0	< 0,5	< 2,0	< 0,2	56,7	< 0,5	90,6	15,8	21,3	< 1	< 1	52,2	31,2
S4-C9 186	< 5,0	14	108	1,9	< 0,5	13,4	< 0,2	250,2	1,42	265,1	12,5	19,1	< 1	< 1	94,2	56,5
S4-C10 204	< 5,0	2,9	< 50	2	< 0,5	4	< 0,2	165,5	< 0,5	129,6	14,4	9,4	< 1	< 1	103,3	24,7
S5-C1 3	61	180	130	1,5	< 0,5	9	< 0,2	13	< 0,5	13,4	6,5	39,5	< 1	1,4	13,5	26
S5-C2 50	5,6	73	116	2,8	< 0,5	< 2,0	< 0,2	17	< 0,5	8,1	14,5	< 5,0	1,1	< 1	11	32
S5-C3 94	6,4	27	151,7	2,4	< 0,5	2	< 0,2	42,3	< 0,5	16,6	9,1	< 5,0	< 1	< 1	13,1	12,4
S5-C4 123	5,4	19,1	2561	2,9	< 0,5	< 2,0	< 0,2	210	< 0,5	91	14,3	7,4	< 1	< 1	41,2	44,4
S5-C5 136	< 5,0	< 2,0	158	1,9	< 0,5	< 2,0	< 0,2	83,9	< 0,5	43,2	7,4	< 5,0	< 1	< 1	8,5	34,5
S5-C6 146	< 5,0	4	< 50	2	< 0,5	< 2,0	< 0,2	73,5	< 0,5	67,5	10,5	< 5,0	< 1	< 1	16,2	39,7
S5-C7 156	< 5,0	< 2,0	< 50	1,2	< 0,5	< 2,0	< 0,2	46,3	< 0,5	46,6	6,3	< 5,0	< 1	< 1	16	24
S5-C8 163	< 5,0	14,6	54,7	1,7	< 0,5	< 2,0	< 0,2	132,9	< 0,5	64,7	15,8	< 5,0	< 1	< 1	13,5	37,3
S5-C9 166	< 5,0	14,8	< 50	1,7	< 0,5	< 2,0	< 0,2	32,4	< 0,5	32,9	2,7	< 5,0	< 1	< 1	19,9	39,9
S8-C1 37	< 5,0	< 2,0	231,1	< 1,0	< 0,5	13,3	< 0,2	54,9	< 0,5	33,6	4,5	8,3	< 1	< 1	39,6	28,2
S8-C2 50	< 5,0	4,7	< 50	1,2	< 0,5	14,9	< 0,2	38,6	< 0,5	22,6	9	9,7	< 1	< 1	64,2	32,3
S8-C3 68	< 5,0	< 2,0	80,9	1,8	< 0,5	14,6	< 0,2	49,3	< 0,5	25,6	12,7	16,7	< 1	< 1	58,2	37,3
S8-C4 78	< 5,0	5,8	125,5	2,1	< 0,5	7,1	< 0,2	38,6	< 0,5	22,3	14,2	21,4	< 1	< 1	16,8	12,2
S8-C5 84	< 5,0	< 2,0	< 50	< 1,0	< 0,5	7,3	< 0,2	338,9	< 0,5	192,4	2,7	14,9	< 1	< 1	47,2	31,1
S8-C6 88	< 5,0	< 2,0	< 50	< 1,0	< 0,5	6,3	< 0,2	61,3	1,23	32,3	9,7	< 5,0	< 1	< 1	65,2	25,9
S8-C7 93	< 5,0	< 2,0	< 50	1,2	< 0,5	9,8	< 0,2	39,9	< 0,5	52,8	16,6	< 5,0	< 1	< 1	114	46,7
S8-C8 96	< 5,0	< 2,0	77,8	2,5	< 0,5	25,4	< 0,2	81,6	< 0,5	101,4	13,4	30,7	< 1	< 1	145,2	120,7
CSC - Col. A (mg/kg)	10	20	150**	2	2	20	2	150	1	120	100	120	3	1	90	150
CSC - Col. B (mg/kg)	30	50	1900**	10	15	250	15	800	5	500	1000	600	15	10	250	1500

Tabella 1: Esiti indagini Progettazione Definitiva

3 DESCRIZIONE INDAGINI ESEGUITE – LA MADDALENA

Al fine della corretta valutazione dei Valori di Fondo Naturale per il sito di Produzione del Tunnel di Base, sono stati raccolti e analizzati gli esiti delle analisi effettuate in fase di scavo del cunicolo geognostico de La Maddalena, al fine di valorizzare il ritorno di esperienza ottenibile da tale opera.

Si specifica che tali analisi sono relative a campioni prelevati sui cumuli realizzati dall'Appaltatore degli interventi di scavo su piazzola, a valle di un prelievo di campioni medio-compositi ai sensi della norma UNI 10802:2013 e del D.Lgs. 152/06. Tali risultati risultano pertanto sicuramente maggiormente rappresentativi della qualità ambientale del materiale estratto (relativamente alle litologie intercettate in fase di scavo del cunicolo) rispetto ai dati puntuali ottenibili dai campioni prelevati direttamente dai sondaggi.

Complessivamente dal materiale di scavo del cunicolo La Maddalena sono stati prelevati 136 campioni, riferibili alle unità litologiche A e CL (Complesso dell'Ambin e Complesso del Clarea). Il set analitico utilizzato per la caratterizzazione ambientale ha visto la determinazione dei seguenti parametri:

- Scheletro;
- Arsenico (As);
- Berillio (Be);
- Cadmio (Cd);
- Cobalto (Co);
- Cromo (Cr);
- Rame (Cu);
- Mercurio (Hg);
- Nichel (Ni);
- Selenio (Se);
- Zinco (Zn).

Gli esiti delle indagini ambientali eseguite sono riportati integralmente in **Allegato 2** al presente documento.

Come mostrato dai dati riportati in Allegato, **tutti i campioni prelevati hanno mostrato la totale conformità alle CSC di Col. A, a meno di 2 superamenti puntuali delle CSC per il parametro As** (campioni prelevati nell'unità degli gneiss aplitici).

4 DESCRIZIONE INDAGINI ESEGUITE – INDAGINI INTEGRATIVE 2019

Su richiesta e per conto di TELT, lo studio “COSTRUZIONI TECNO ELETTRICHE S.p.A” ha provveduto nel periodo compreso tra il 03/12/2019 e il 04/12/2019 al campionamento ex-novo di materiale proveniente da carote di sondaggi custoditi nella caroteca TELT.

Nel dettaglio i campioni sono stati prelevati da carote rappresentative delle seguenti litologie:

- depositi alluvionali di fondovalle e depositi di conoide alluvionale, per un totale di **30 campioni** all’interno dei sondaggi S18-S20;
- unità tettono-metamorfica Puys-Venaus, per un totale di **25 campioni** all’interno dei sondaggi S8, S20, S42, SG8 e SG10;
- zona a scaglie, per un totale di **21 campioni** all’interno dei sondaggi S2, S6 e S12.

In totale, sono stati prelevati e sottoposti a caratterizzazione ambientale 76 campioni.

Si rimanda all’**Allegato 3** per i dettagli sull’ubicazione delle indagini eseguite ed all’**Allegato 4** per le stratigrafie di dettaglio.

I campioni prelevati sono stati sottoposti ad analisi chimiche presso il Laboratorio Eurolab S.r.l. (IT), con set analitico differente in funzione della tipologia di materiale, come nel seguito descritto:

- Materiale lapideo “unità tettono-metamorfica Puys-Venaus” e “zona a scaglie”:
 - Residuo secco a 105°C;
 - Scheletro;
 - Composti inorganici (Cianuri liberi, Fluoruri e Cr VI);
 - Metalli (Sn, Zn, Ag, Ba, As, V, Tl, Se, Be, Sb, Cd, Co, Cr, Hg, Ni e Cu);
 - Amianto.
- Materiale sciolto “depositi alluvionali di fondovalle e depositi di conoide alluvionale”:
 - Residuo secco a 105°C;
 - Scheletro;
 - Composti inorganici (Cianuri liberi, Fluoruri e Cr VI);
 - Metalli (Sn, Zn, Ag, Ba, As, V, Tl, Se, Be, Sb, Cd, Co, Cr, Hg, Ni e Cu);
 - Amianto;
 - BTEX;
 - IPA;
 - Composti alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni;
 - Composti alifatici alogenati cancerogeni;
 - Nitrobenzeni;
 - Clorobenzeni;
 - Fenoli e clorofenoli;
 - Fitofarmaci;
 - Diossine e furani;
 - PCB e PCT;
 - Idrocarburi C>12.

Gli esiti analitici sono stati confrontati con le Concentrazioni Soglia di Contaminazione della Tab. 1, All. 5 Parte IV del D.Lgs. 152/06 e s.m.i. Per il parametro bario (Ba), per cui il D. Lgs 152/06 non prevede delle CSC di riferimento, i risultati sono stati comparati con i limiti previsti dalla Banca Dati dell’Istituto Superiore di Sanità (Col. A=150 mg/kg e Col. B=1900 mg/kg)

Gli esiti delle analisi integrative effettuate sono riportati nell’**Allegato 5**.

Dall'analisi degli esiti delle indagini integrative svolte nel 2019 si può osservare quanto segue:

- è stato riscontrato un solo superamento delle CSC di cui alla Col. A per il parametro **Bario** sul campione S2CH con una concentrazione pari a 200 mg/kg a fronte di una CSC pari a 150 mg/kg;
- superamenti delle CSC di cui alla Col. A per il parametro **Selenio** sui campioni S8CG e S42CA, con concentrazioni rispettivamente pari a 3,5 e 3,8 mg/kg a fronte di una CSC pari a 3 mg/kg;
- superamenti delle CSC di cui alla Col. A per il parametro **Zinco** sui campioni S19CA, S19CB, S19CC, S19CE, S19CG, S19CI, S20CE, S20CF, S20CG, S20CH e S20CI, con concentrazioni variabili tra 200 e 500 mg/kg a fronte di una CSC pari a 150 mg/kg.

I restanti parametri presi in esame hanno mostrato conformità alle CSC di cui alla Col. A.

Si rimanda all'**Allegato 6** per i Rapporti di Prova delle analisi eseguite.

5 DEFINIZIONE DEL DATASET CAMPIONARIO

Al fine della costituzione del Dataset campionario sono stati utilizzati:

- gli esiti delle indagini ambientali svolte in sede di Progettazione Definitiva degli interventi descritte precedentemente nel **Capitolo 2**;
- gli esiti delle analisi effettuate sui cumuli in fase di scavo del Cunicolo de La Maddalena descritte precedentemente nel **Capitolo 3**;
- gli esiti delle indagini integrative ambientali svolte nel 2019 e descritte precedentemente nel **Capitolo 4**.

Nello specifico i parametri utilizzati nel dataset campionario sono stati i seguenti:

- Antimonio (Sb);
- Arsenico (As);
- Bario (Ba);
- Berillio (Be);
- Cobalto (Co);
- Cromo (Cr);
- Mercurio (Hg);
- Nichel (Ni);
- Selenio (Se);
- Tallio (Tl);
- Vanadio (V);
- Zinco (Zn).

E' importante richiamare come non tutti i parametri siano sempre presenti nel dataset campionario utilizzato, in quanto talvolta non inclusi nel protocollo analitico (ad es. per la caratterizzazione del materiale estratto dagli scavi del cunicolo de La Maddalena).

Nella tabella in formato editabile (**Allegato 7**) si riporta il dataset campionario utilizzato per le elaborazioni statistiche finalizzate alla determinazione dei Valori di Fondo naturali del Sito.

La tabella riporta le seguenti informazioni (colonne):

- Nome campione;
- Profondità di prelievo da-a (m da piano campagna);
- Scheletro (%);
- Concentrazioni di Sb, As, Ba, Co, Cr, Hg, Ni, Se, Tl, V e Zn;
- Unità litologica di appartenenza del campione prelevato.

Nello specifico, la relazione descrittiva delle analisi integrative effettuate, permette di ricondurre i materiali di scavo alle seguenti **cinque unità litologiche**, a cui corrispondono altrettanti sub-set campionari:

- Complesso di Clarea (**CL**): micascisti polimetamorfici e gneiss minuti a glaucofane, albitizzati, con locali lenti di metabasiti anfibolitiche;
- Complesso d'Ambin (**A**): gneiss aplitici (AMC) e gneiss albitici passanti a micascisti quarzosi (AMD);
- Zona a scaglie (**ZS**): scisti carbonatici filladici (GCC) con scaglie tettoniche e livelli lenticolari di estensione chilometrica di gneiss albitici (GCK), carniolate e cataclasiti carbonatiche (BCC), marmi dolomitici (DGA) e quarziti (QSE);

- Unità tettonometamorfica Puys – Venaus (**PV**): calcescisti con associati livelli marmorei (GCC) e locali intercalazioni di gness albitici (GCK);
- Depositi alluvionali di fondovalle (**af**) e depositi di conoide alluvionale (**ac**).

Il dataset campionario è complessivamente costituito da 256 campioni. Di questi è possibile suddividerli in unità geologiche sulla base dei dati stratigrafici in possesso:

- 130 sono riconducibili all'unità Complesso di Clarea (CL);
- 37 sono riconducibili all'unità Complesso d'Ambin (A);
- 21 sono riconducibili all'unità Zona a scaglie (ZS);
- 38 sono riconducibili all'unità Unità tettonometamorfica Puys – Venaus (PV);
- 30 sono riconducibili all'unità depositi alluvionali di fondovalle e di conoide alluvionale (af-ac).

5.1 Trattamento dei valori <LOD, <LOQ

I campioni presentanti risultati inferiori al rispettivo LOD (Limit of Detection) o LOQ (Limit of Quantification) sono stati trattati a fini statistici ponendo il risultato pari alla metà del LOD o LOQ.

5.2 Identificazione dei sub-set campionari in funzioni di fattori che controllano la distribuzione dei parametri di studio

Le Linee Guida ISPRA riportano quanto segue, *“Qualora un parametro di cui si vuole determinare il VF mostri evidenti correlazioni con le caratteristiche litologiche dei terreni [...] sarà opportuno suddividere le osservazioni inerenti quel parametro in dataset distinti da elaborare separatamente e all'interno dei quali dette caratteristiche siano sostanzialmente omogenee”*.

Nel caso specifico, la distribuzione dei metalli oggetto di studio dei valori di fondo è legata all'assetto geologico locale. Sulla base di queste considerazioni e di uno screening statistico preliminare (si veda il Capitolo seguente per dettagli), è stato suddiviso il dataset campionario in cinque sub-set:

- campioni riconducibili all'unità litologica CL (micascisti e gneiss minuti);
- campioni riconducibili all'unità litologica A (gneiss e micascisti quarzosi);
- campioni riconducibili all'unità litologica ZS (calcescisti, marmi dolomitici, brecce residuali a matrice carbonatica);
- campioni riconducibili all'unità litologica PV (calcescisti e gneiss albitici);
- campioni riconducibili all'unità litologica af-ac (ghiaie e sabbie limose).

6 ELABORAZIONI STATISTICHE EFFETTUATE

A seguito della costituzione del dataset campionario, come descritto al Capitolo precedente, sono state effettuate una serie di elaborazioni statistiche volte a:

- identificare la distribuzione di riferimento per le popolazioni campionarie oggetto di studio;
- identificare potenziali outliers;
- verificare l'eventuale presenza di popolazioni multiple.

6.1 Statistica descrittiva e distribuzione delle popolazioni

Una volta individuato il set o il "subset" di osservazioni considerato rappresentativo della popolazione di valori legata ad un determinato contributo/fenomeno, è opportuno individuare una funzione di probabilità che approssimi meglio l'insieme dei dati disponibili (es. gaussiana, log-normale). L'individuazione del tipo di distribuzione che meglio approssima il campione di dati serve a definire i descrittori statistici più appropriati per calcolare il valore del fondo. Questa operazione è tipicamente condotta applicando test statistici (Shapiro e Wilk, D'Agostino, Lilliefors).

Nel caso di specie si è proceduto ad effettuare un'analisi dati finalizzati alla definizione della statistica descrittiva dei cinque dataset precedentemente citati.

Si specifica che si è anche provveduto al trattamento dei dati secondo quanto segue:

- utilizzo delle concentrazioni di riferimento "pure", ricavate in base all'analisi dei terreni sulla frazione inferiore ai 2 cm (come da D.Lgs. 152/06);
- normalizzare le concentrazioni di riferimento prendendo in considerazione la sola frazione inferiore a 2 mm, senza includere la frazione di scheletro 2 cm - 2 mm (come da ex DM 471/99).

In relazione ai campioni di materiale litoide, ossia le unità CL, A, ZS e PV si è proceduto allo studio statistico utilizzando le concentrazioni di riferimento "pure".

Le Tabelle seguenti riportano gli esiti della statistica descrittiva applicata ai cinque dataset campionari identificati (unità litologica CL, A, ZS, PV e af-ac) confrontando i dati secondo le modalità precedentemente descritte che, per semplicità di lettura, saranno identificate come "152" e "471".

CL (Complesso di Clarea)	As 152	Ba 152	Be 152	Co 152	Cr 152	Ni 152	V 152	Zn 152
Massimo	19	722,1	2,7	32,2	550,8	360	103,3	103
Minimo	1	25	0,1	0,1	1	1	14,3	5
Media	3,8	174,2	0,3	4,3	24,3	19,6	62,7	19,4
Mediana	2	69,9	0,1	3,3	4	5,5	65,3	14,5
Deviazione standard	3,8	194,1	0,6	3,6	66,2	46,2	24,2	16,2
Curtosi	5,7	1,6	3,7	28,5	36,4	30,8	-0,6	10,3
Asimmetria	2,4	1,4	2,2	4,6	5,5	5,2	-0,1	2,9
Conteggio	94	22	130	130	130	130	22	130

Tabella 2: Statistica descrittiva - Unità CL (D.Lgs. 152/06)

A (Complesso d'Ambin)	Sb 152	As 152	Ba 152	Be 152	Co 152	Cr 152	Hg 152	Ni 152	V 152	Zn 152
Massimo	61	180	2561	2,9	13,9	210	0,5	91	94,2	214,4

Minimo	2,5	0,5	25,0	0,1	0,3	0,5	0,1	1	8,5	2,5
Media	7,1	12,9	275,2	0,9	3,8	26,8	0,2	22,7	30,2	23,5
Mediana	2,5	1,0	62,6	0,2	1,6	4	0,1	13,4	19,9	12,4
Deviazione standard	15,0	32	651,3	1,0	4,2	44	0,1	25,0	22,5	38,8
Curtosi	14,7	21,7	12,9	-1,1	0,1	8,0	2,6	1,1	3,8	17,4
Asimmetria	3,8	4,4	3,5	0,7	1,2	2,6	1,8	1,4	1,7	3,9
Conteggio	15	37	15	37	28	37	13	29	15	37

Tabella 3: Statistica descrittiva - Unità A (D.Lgs. 152/06)

ZS (zona a scaglie)	Sb 152	As 152	Ba 152	Be 152	Co 152	Cr 152	Hg 152	Ni 152	Se 152	Tl 152	V 152	Zn 152
Massimo	2,1	13	200	0,4	14,0	26	0,1	40	2,9	0,1	33	66
Minimo	0,1	0,9	9,7	0,0	0,6	1,1	0,0	1,9	1	0,0	1	0
Media	0,3	5,2	44,2	0,2	6,8	11,0	0,0	18,6	1,9	0,0	11,4	33,8
Mediana	0,2	3,7	31,0	0,2	4,8	7,1	0,0	11,0	2,0	0,0	10,0	32,0
Deviazione standard	0,4	4,2	46,3	0,1	4,9	8,5	0,0	13,9	0,7	0,0	8,2	23,9
Curtosi	14	-0,6	5,9	-1,2	-1,4	-1,5	-1,2	-1,4	-1,8	-1,1	0,7	-1,7
Asimmetria	3,6	1,0	2,3	0,3	0,4	0,4	-0,1	0,5	0,0	-0,2	0,9	0,1
Conteggio	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

Tabella 4: Statistica descrittiva - Unità ZS (D.Lgs. 152/06)

PV (unità tettonica Puys-Venaus)	Sb 152	As 152	Ba 152	Be 152	Co 152	Cr 152	Hg 152	Ni 152	Se 152	Tl 152	V 152	Zn 152
Massimo	0,3	13,0	231,1	2,5	25,4	338,9	1,2	192,4	3,8	0,1	145,2	120,7
Minimo	0,0	0,1	1,1	0,0	0,7	1,4	0,0	1,8	0,3	0,0	1,5	5,4
Media	0,1	3,2	37,9	0,5	11,9	47,0	0,1	43,6	1,4	0,0	29,6	40,1
Mediana	0,2	3,4	25,0	0,3	12,0	24,7	0,0	33,8	1,1	0,0	15,0	38,3
Deviazione standard	0,1	2,9	52,6	0,6	4,6	60,8	0,2	37,0	1,1	0,0	31,5	25,0
Curtosi	-1,3	3,6	8,4	2,5	2,0	14,8	21,1	8,2	-1,2	-0,2	4,7	2,7
Asimmetria	0,1	1,5	2,8	1,8	-0,1	3,5	4,1	2,7	0,5	0,9	2,1	1,4
Conteggio	25	29	38	38	38	38	38	38	38	25	38	38

Tabella 5: Statistica descrittiva - Unità PV (D.Lgs. 152/06)

af-ac (depositi fluviali e di conoide)	Sb 152	As 152	Ba 152	Be 152	Co 152	Cr 152	Hg 152	Ni 152	Se 152	Tl 152	V 152	Zn 152
Massimo	0,5	7,2	47,0	0,3	13	100	0,1	91	3	0,1	18	500
Minimo	0,1	1,5	7,6	0,1	4	14,0	0,0	22	0,7	0	5,6	34
Media	0,2	3,3	22,9	0,1	7,3	33,0	0,0	39	1,5	0	11,1	169,3
Mediana	0,2	2,9	20,5	0,2	7	27,5	0,0	34	1,4	0	11	120
Deviazione standard	0,1	1,4	10,7	0,0	2,3	18,6	0,0	16,5	0,6	0	3,2	121,5
Curtosi	1,2	1,0	0,2	-0,2	0,2	5,2	-0,3	3,4	1,0	-0,2	0,4	0,8
Asimmetria	1	1,2	0,8	0,3	0,8	2,1	0,6	1,9	1,1	0,1	0,7	1,2
Conteggio	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Tabella 6: Statistica descrittiva - Unità af-ac (D.Lgs. 152/06)

af-ac (depositi fluviali e di conoide)	Sb 471	As 471	Ba 471	Be 471	Co 471	Cr 471	Hg 471	Ni 471	Se 471	Tl 471	V 471	Zn 471
Massimo	0,6	7,8	50,8	0,3	15,6	104,1	0,1	116,4	3,2	0,1	21,3	700
Minimo	0,2	2,3	11,5	0,1	6,0	20,4	0,0	29,5	1,1	0,0	8,5	51,3
Media	0,3	4,3	30,1	0,2	9,8	44,4	0,0	52,5	2,0	0,1	14,8	230,6
Mediana	0,3	4,1	27,7	0,2	9,5	36,5	0,0	46,4	1,9	0,1	14,5	171,6
Deviazione standard	0,1	1,3	11,2	0,0	2,4	22,3	0,0	19,1	0,5	0,0	3,1	163,8
Curtosi	0,0	1,2	-0,8	1,1	-0,2	1,3	-0,8	3,6	0,9	1,9	0,0	1
Asimmetria	0,6	1	0,3	0,4	0,6	1,4	0,2	1,8	0,9	0,6	0,3	1,2
Conteggio	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Tabella 7: Statistica descrittiva - Unità af-ac (DM 471/99)

Gli studi statistici sono stati effettuati unicamente su quei parametri in cui si è riscontrato un superamento delle CSC di cui alla Col. A della Tab. 1, All.5, Parte IV del D. Lgs. 152/06.

I grafici seguenti mostrano i Q-Q Plots dei cinque dataset campionari (prima dell'eliminazione di eventuali outliers).

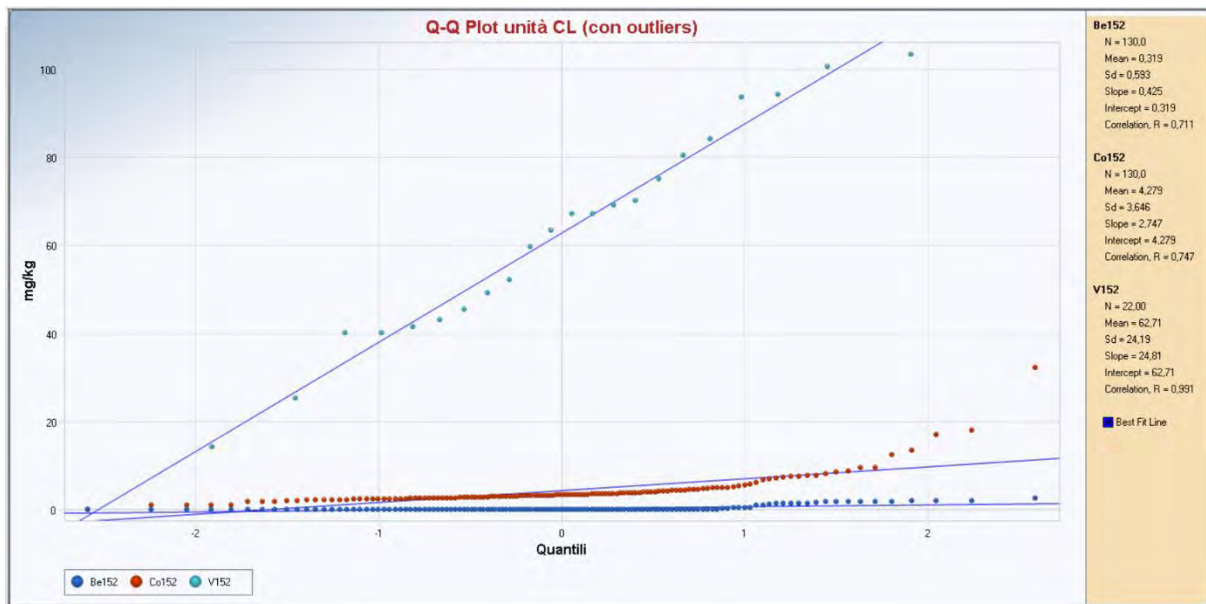


Figura 2: Q-Q Plot Unità CL (con outliers) parametri Be, Co e V (D. Lgs. 152/06)

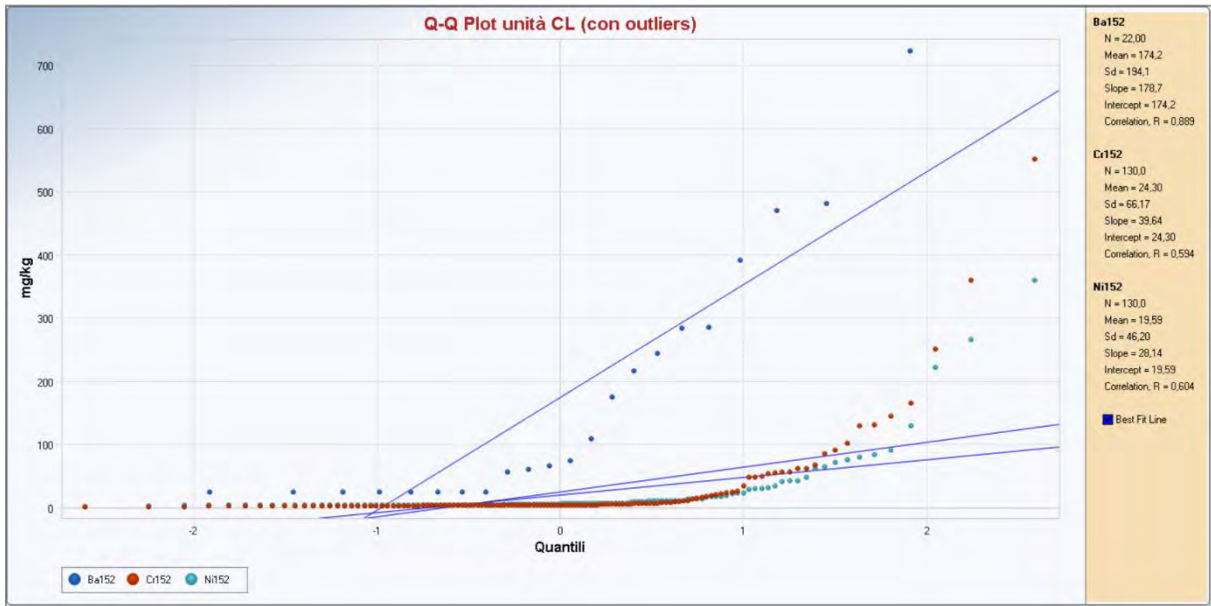


Figura 3: Q-Q Plot Unità CL (con outliers) parametri Ba, Cr e Ni (D. Lgs. 152/06)

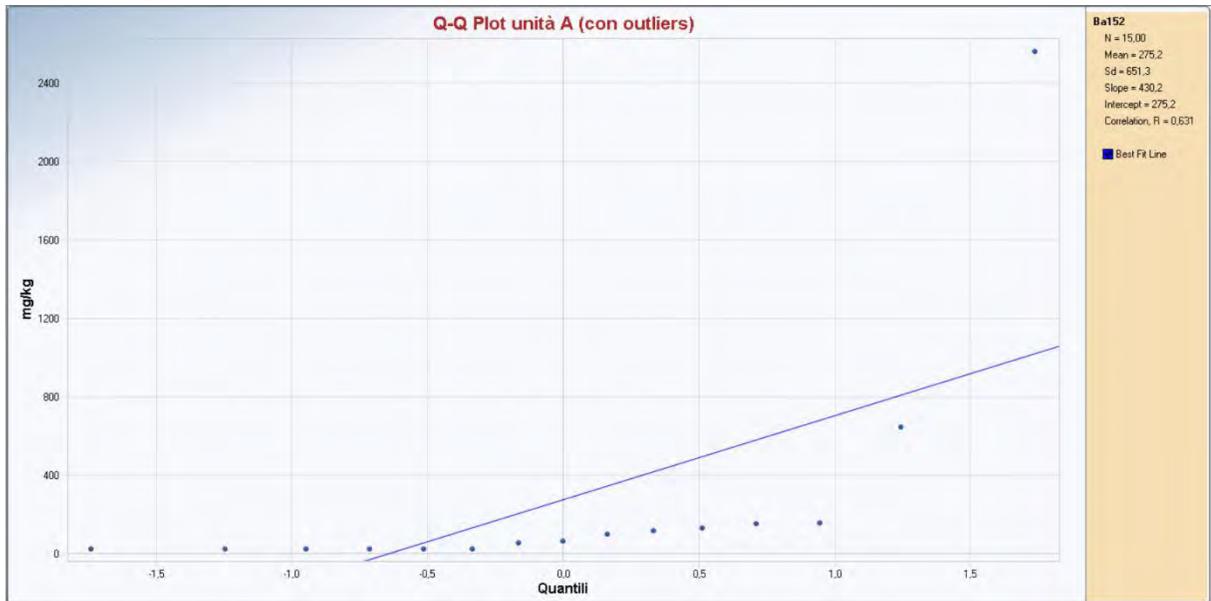


Figura 4: Q-Q Plot Unità A (con outliers) parametro Ba (D. Lgs. 152/06)

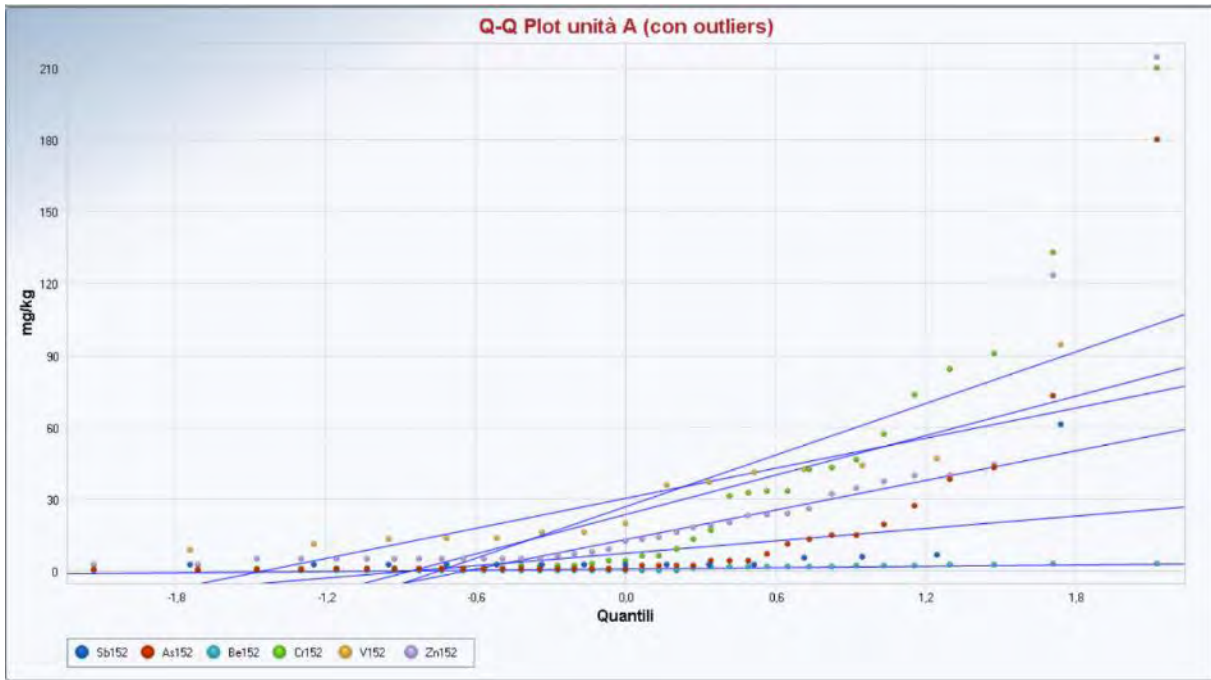


Figura 5: Q-Q Plot Unità A (con outliers) parametri Sb, As, Be, Cr, V e Zn (D. Lgs. 152/06)

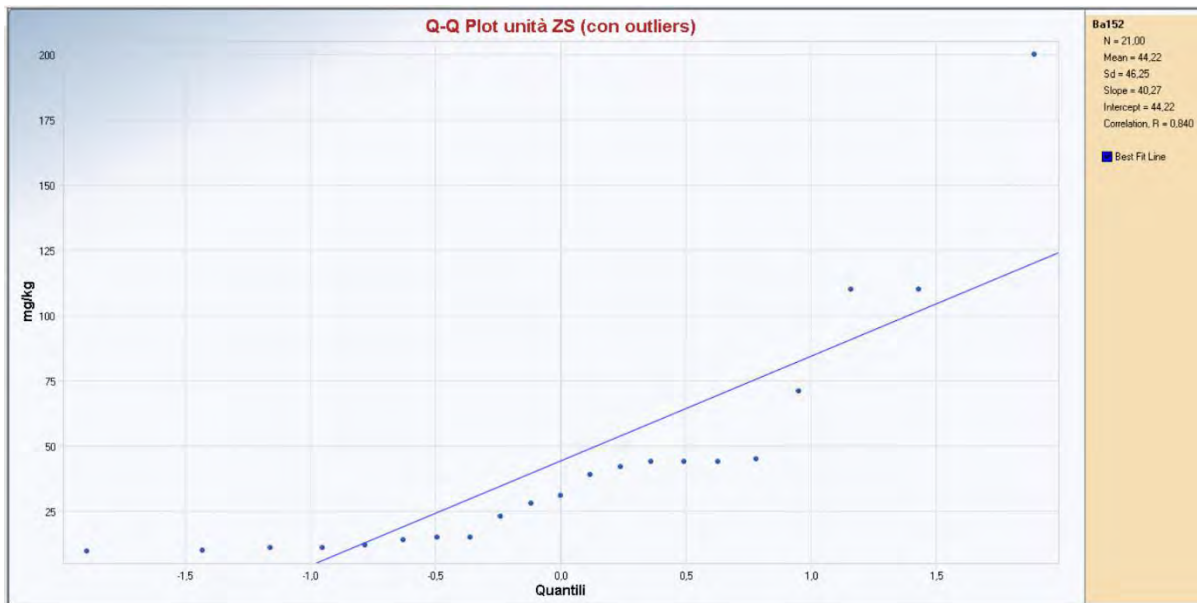


Figura 6: Q-Q Plot parametri Ba Unità ZS (con outliers) (D. Lgs. 152/06)

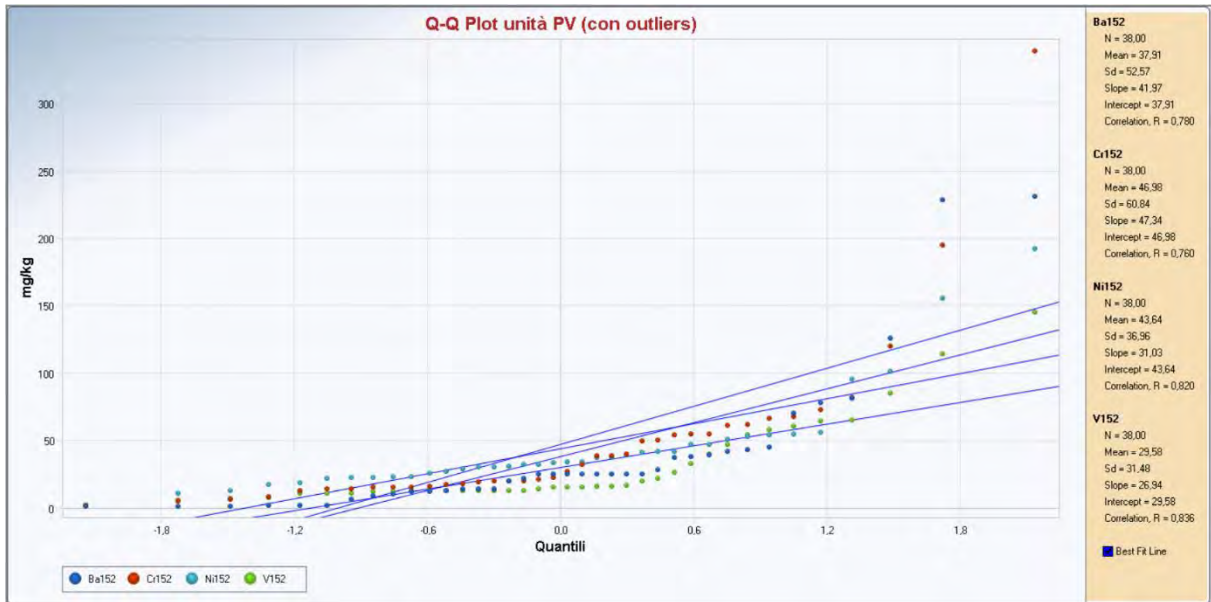


Figura 7: Q-Q Plot Unità PV (con outliers) parametri V, Ba, Cr e Ni (D. Lgs. 152/06)

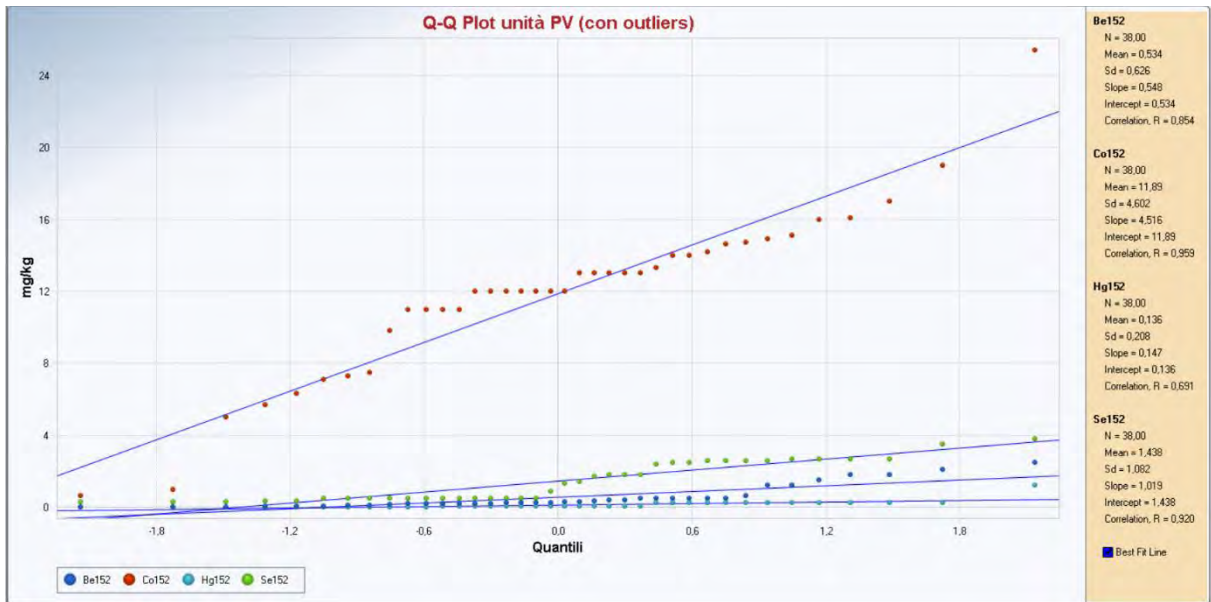


Figura 7: Q-Q Plot Unità PV parametri Be, Co, Hg e Se (con outliers) (D. Lgs. 152/06)

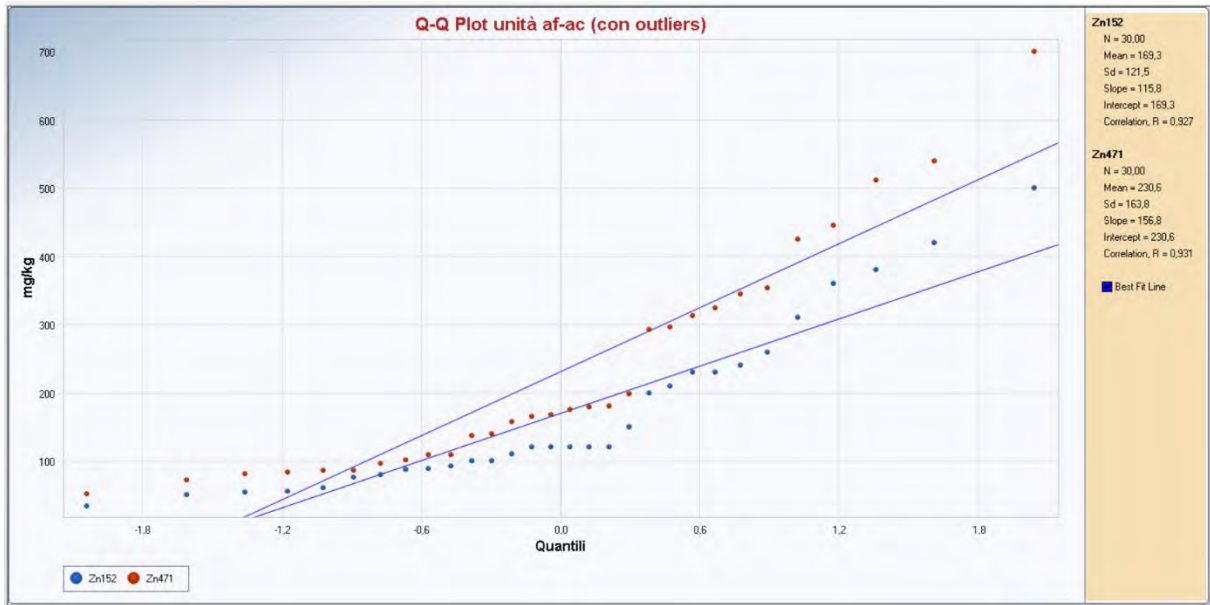


Figura 8: Q-Q Plot Unità af-ac (con outliers) (D. Lgs. 152/06 e DM 471/99)

I grafici seguenti mostrano gli istogrammi di distribuzione nei cinque dataset, con sovrapposta la curva teorica di distribuzione normale (prima dell'eliminazione di eventuali outliers).

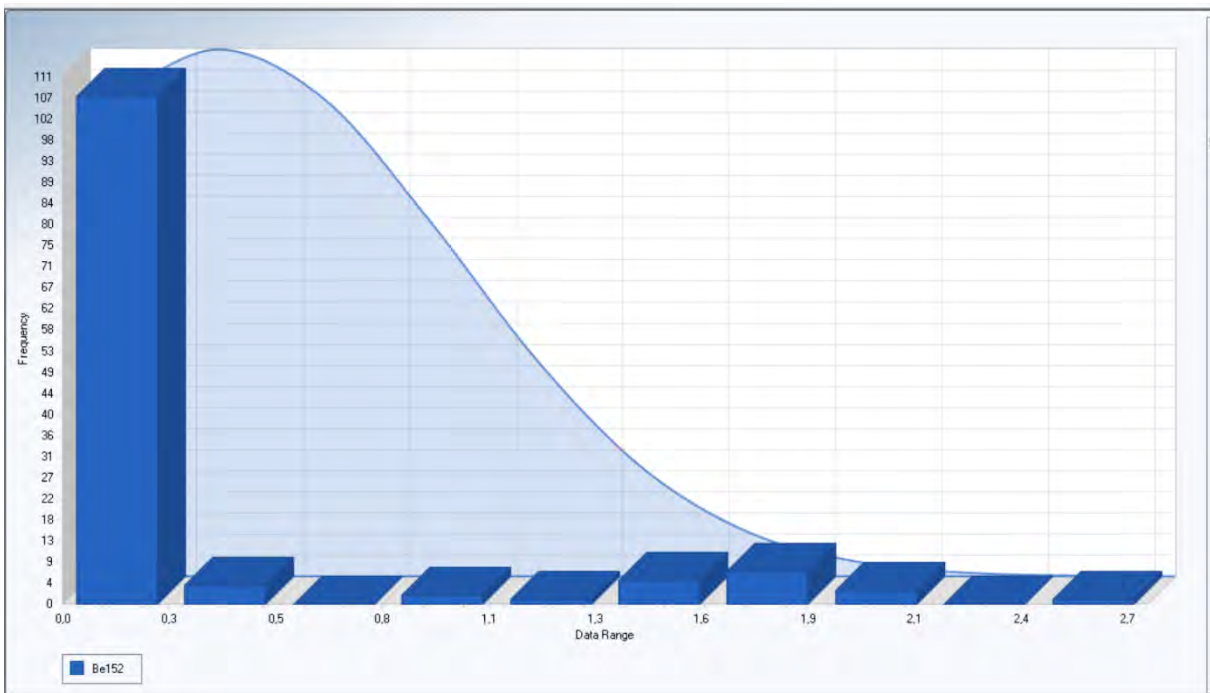


Figura 9: Istogrammi di distribuzione di Be - Unità CL (con outliers) (D. Lgs. 152/06)

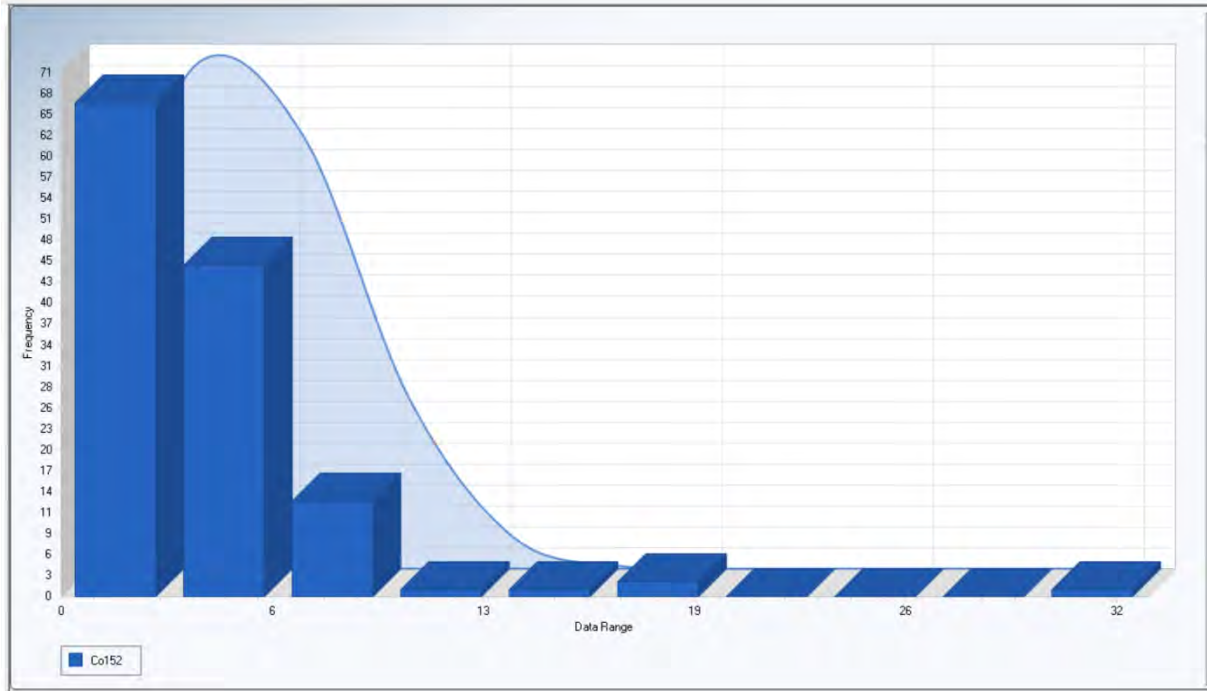


Figura 10: Istogrammi di distribuzione di Co - Unità CL (con outliers) (D. Lgs. 152/06)

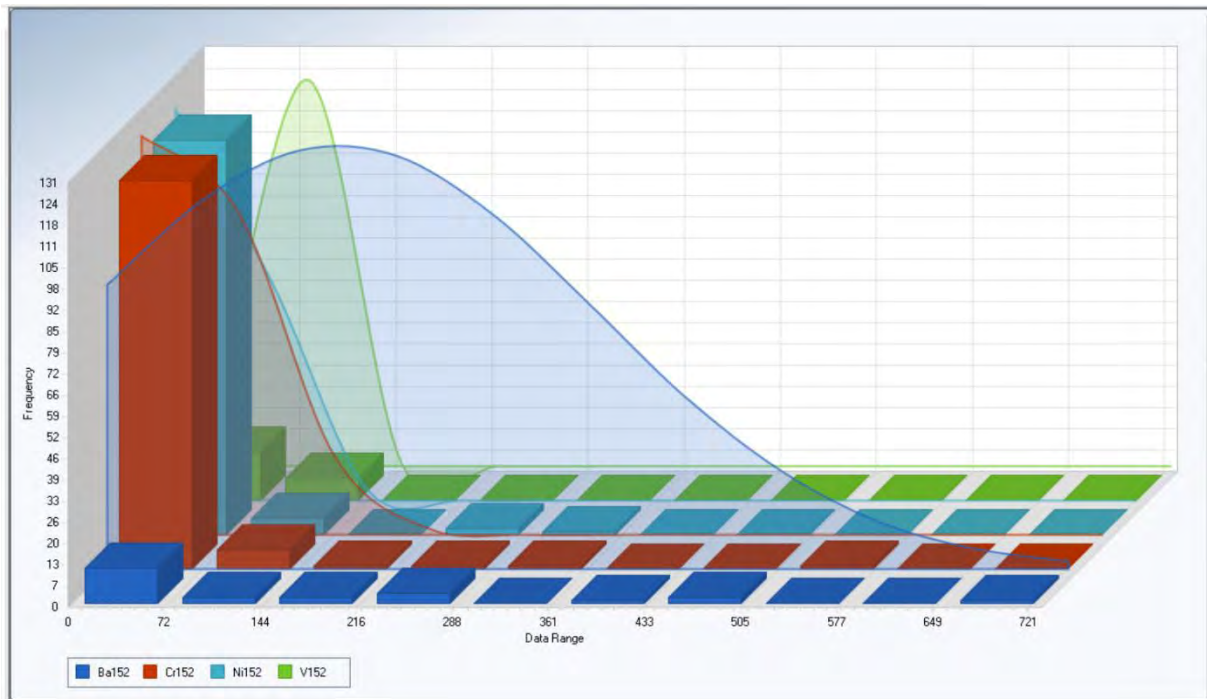


Figura 11: Istogrammi di distribuzione di Ba, Cr, Ni e V - Unità CL (con outliers) (D. Lgs. 152/06)

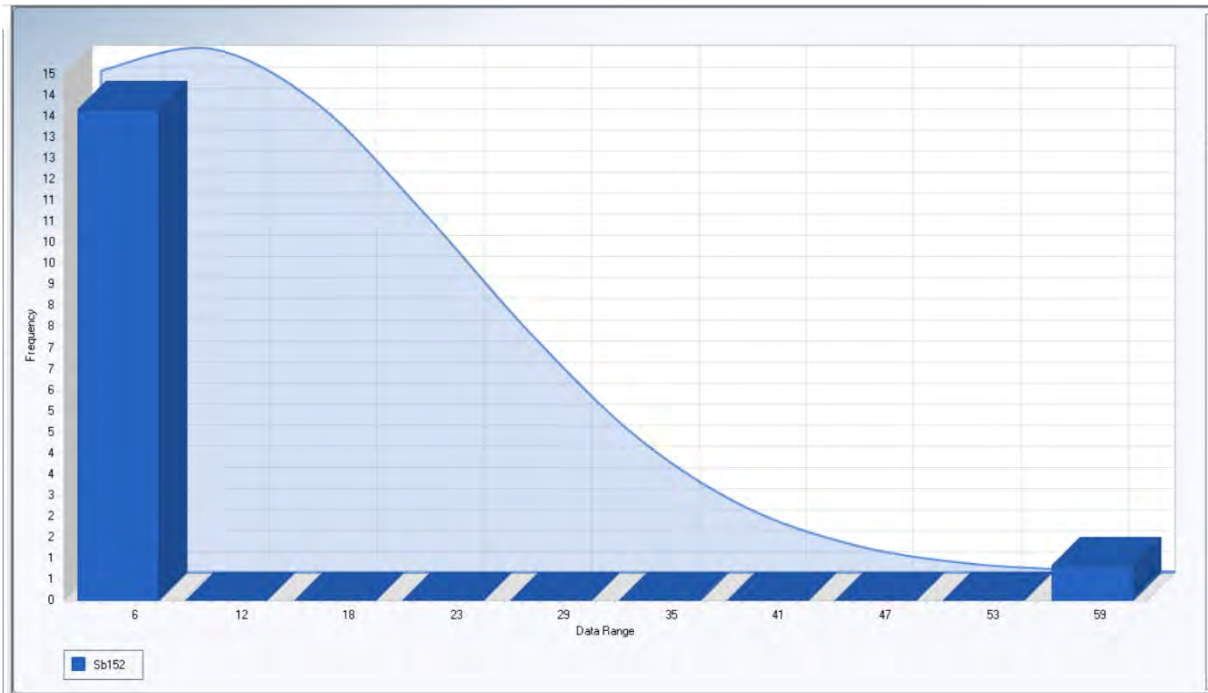


Figura 12: Istogrammi di distribuzione di Sb - Unità A (con outliers) (D. Lgs. 152/06)

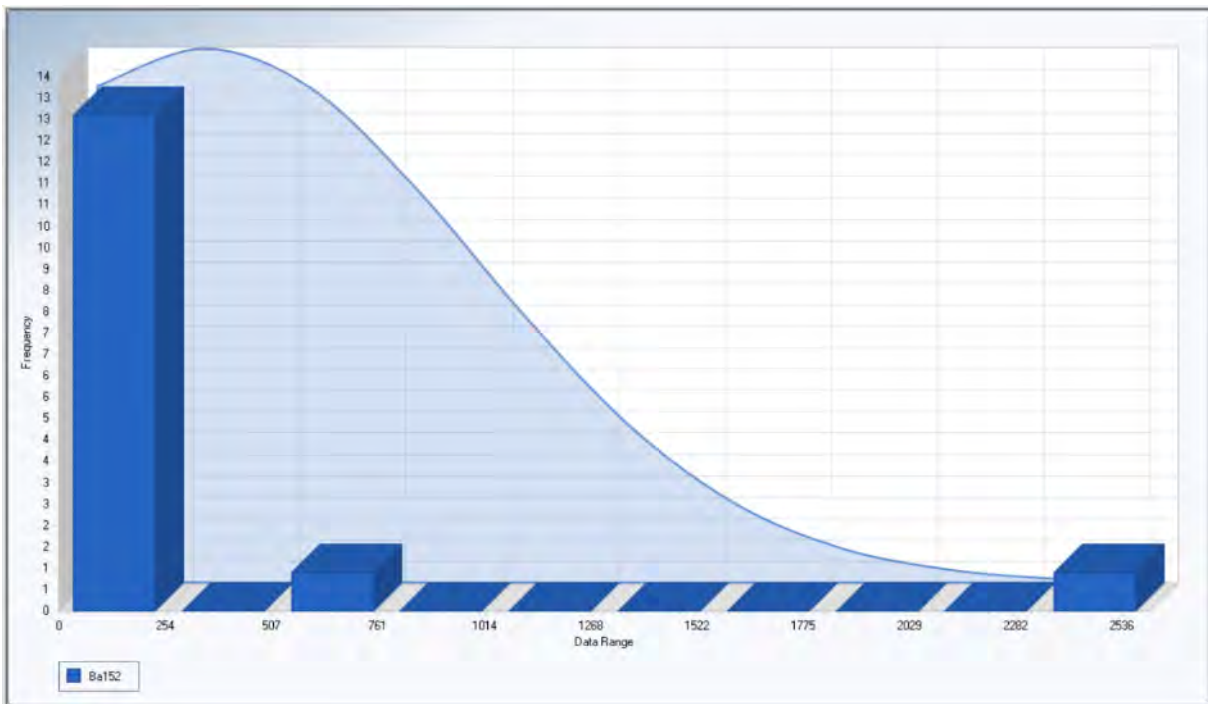


Figura 13: Istogrammi di distribuzione di Ba - Unità A (con outliers) (D. Lgs. 152/06)

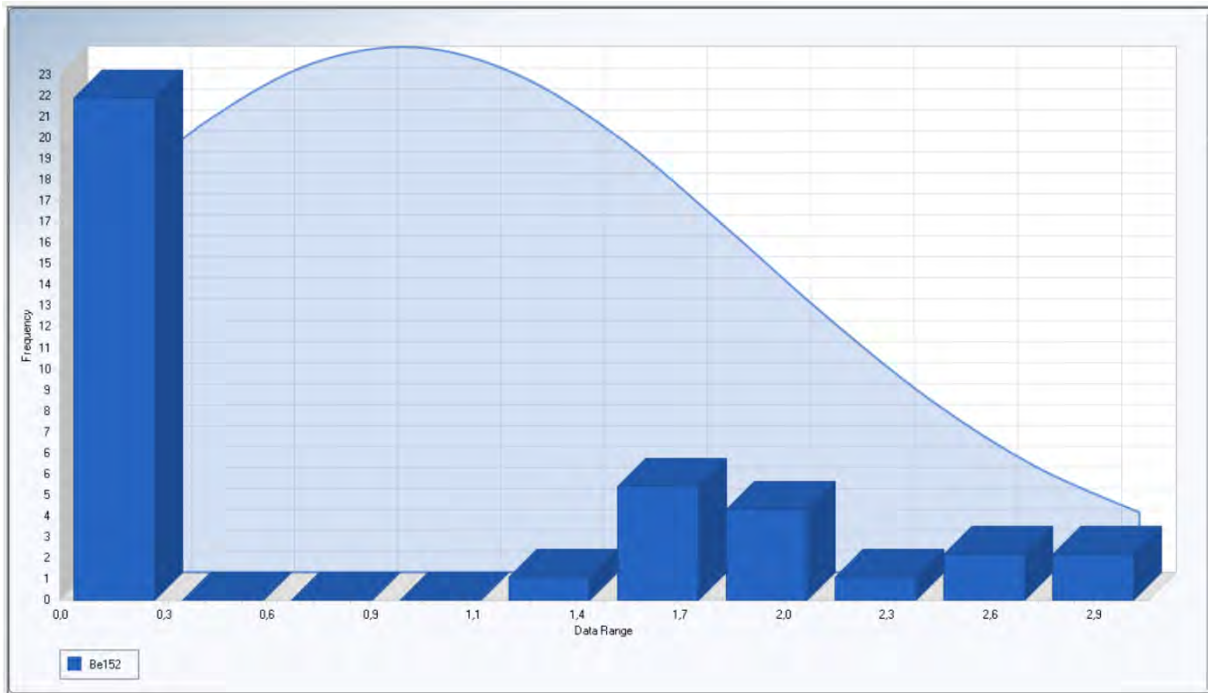


Figura 14: Istogrammi di distribuzione di Be - Unità A (con outliers) (D. Lgs. 152/06)

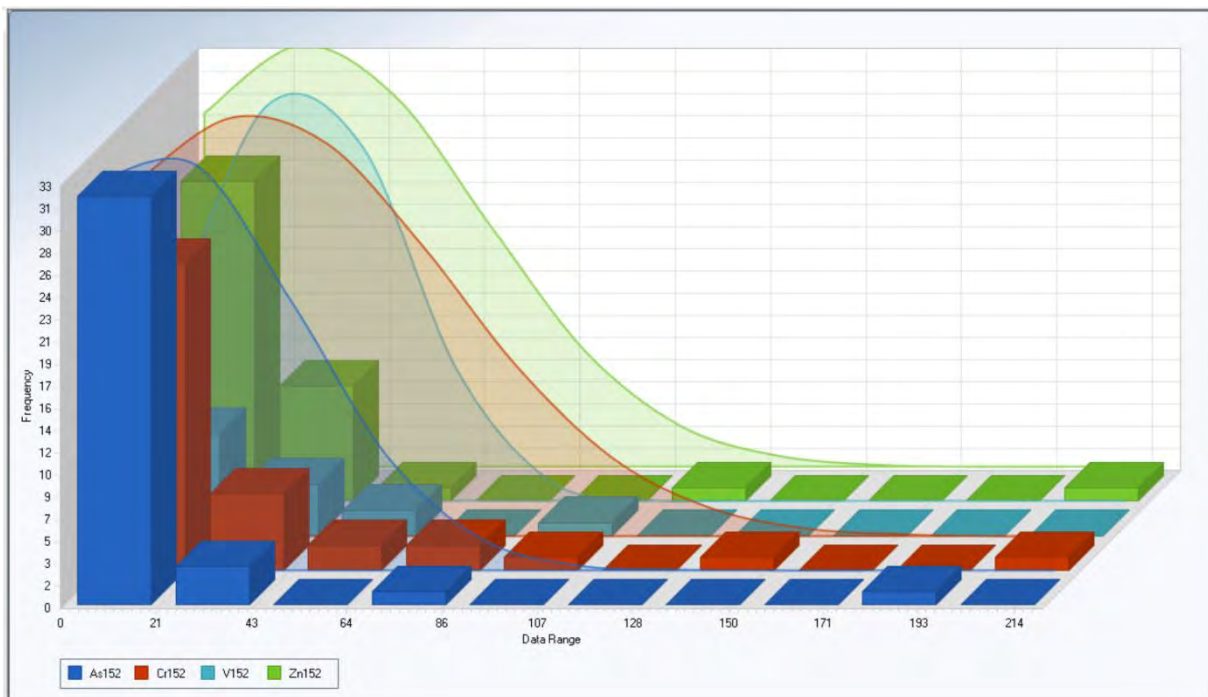


Figura 15: Istogrammi di distribuzione di As, Cr, V e Zn - Unità A (con outliers) (D. Lgs. 152/06)

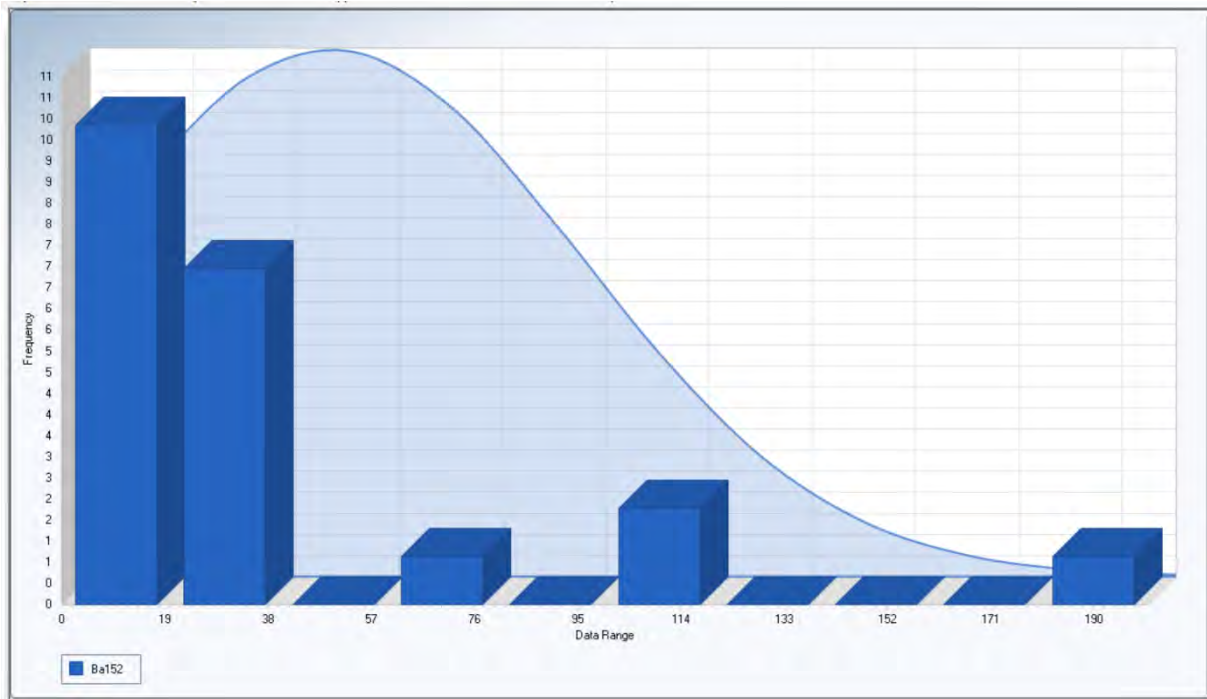


Figura 16: Istogrammi di distribuzione di Ba - Unità ZS (con outliers) (D. Lgs. 152/06)

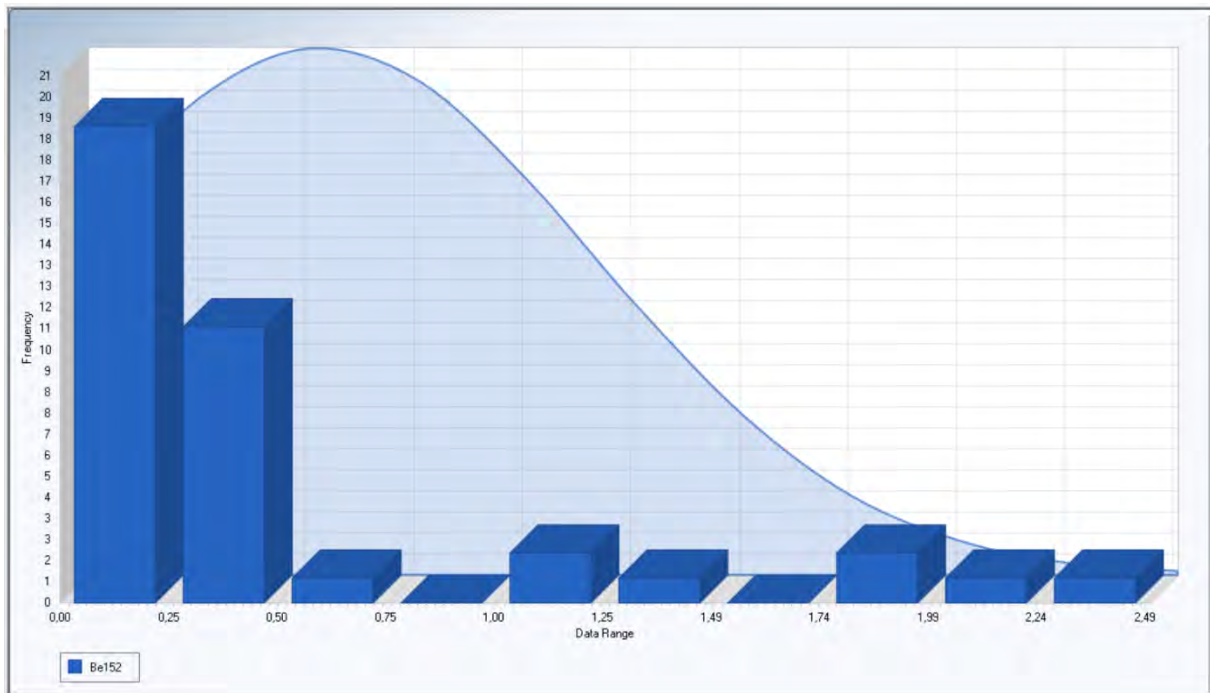


Figura 17: Istogrammi di distribuzione di Be - Unità PV (con outliers) (D. Lgs. 152/06)

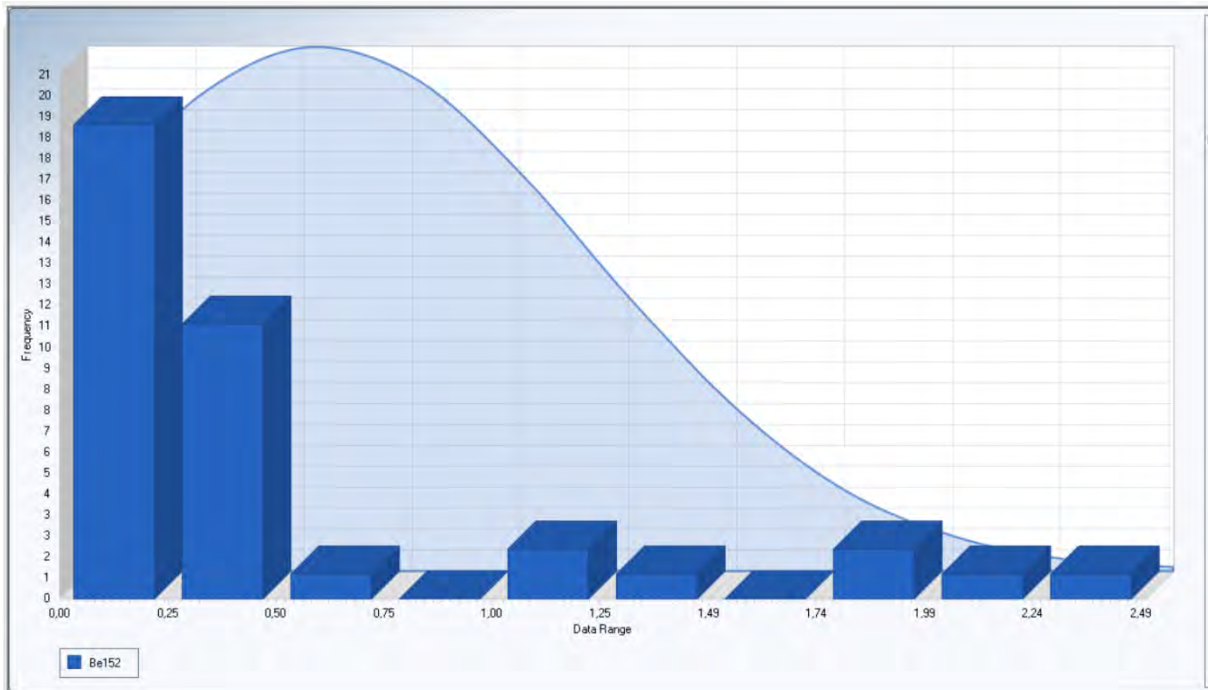


Figura 18: Istogrammi di distribuzione di Co - Unità PV (con outliers) (D. Lgs. 152/06)

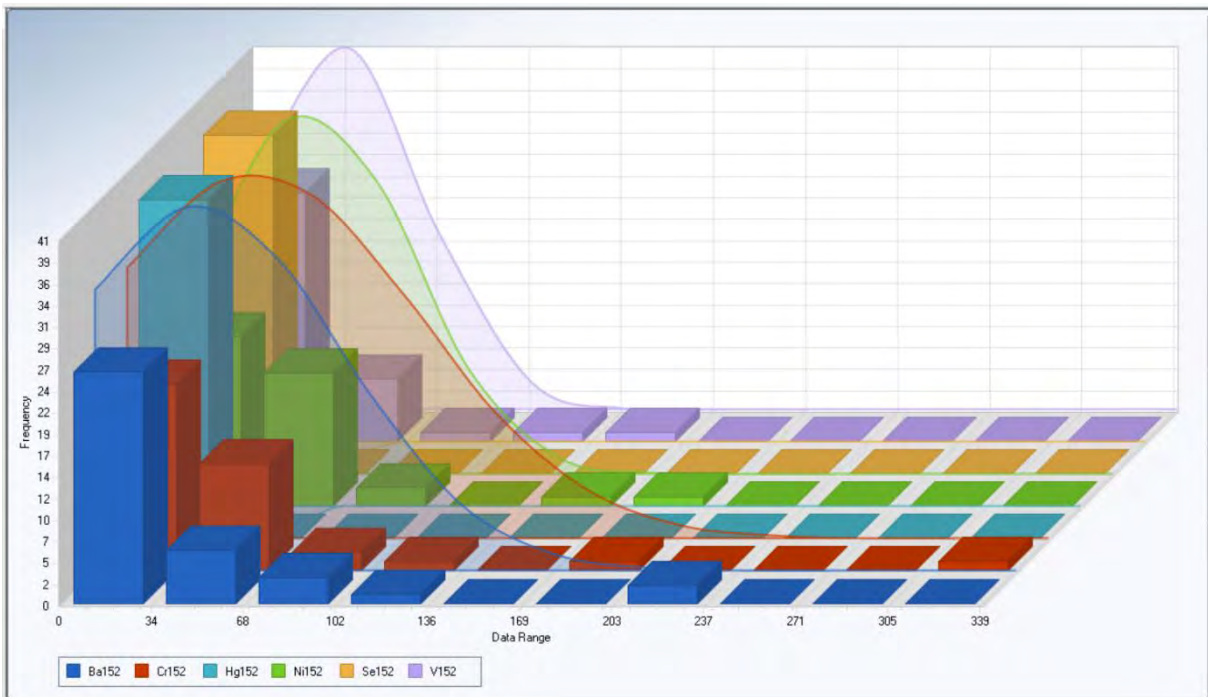


Figura 19: Istogrammi di distribuzione di Ba, Cr, Hg, Ni, Se e V - Unità PV (con outliers) (D. Lgs. 152/06)

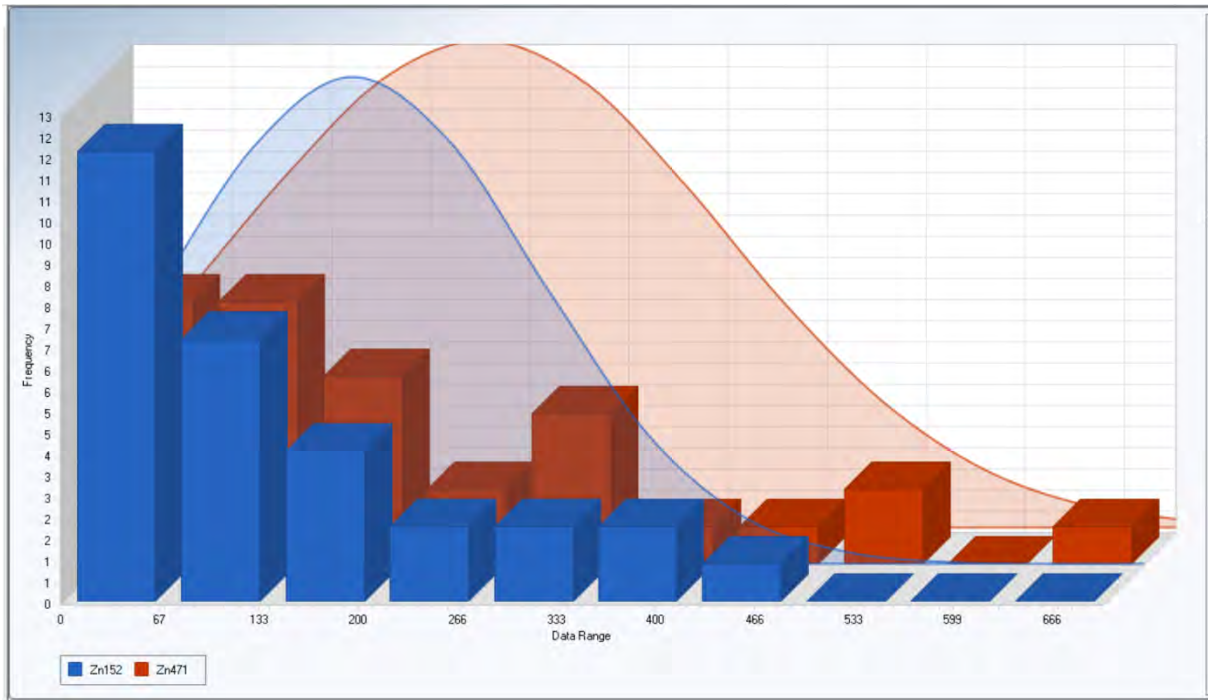


Figura 20: Istogrammi di distribuzione di Zn - Unità af-ac (con outliers) (D. Lgs. 152/06 e DM 471/99)

Nella Tabella seguente si riportano gli esiti dei test per la verifica della distribuzione campionaria del tipo di distribuzione (livello di significatività 0,05) che meglio approssima il campione di dati nei dataset (test di Shapiro-Wilk e Lilliefors).

Dataset	Sb 152	As 152	Ba 152	Be 152	Co 152	Cr 152	Hg152	Ni 152	Se 152	V 152	Zn 152
Unità CL	-	-	Data not Normal; Data not Gamma Distributed ; Data not Lognormal	Data not Normal; Data not Gamma Distributed ; Data not Lognormal	Data not Normal; Data not Gamma Distributed; Data not Lognormal	Data not Normal; Data not Gamma Distributed ; Data not Lognormal	-	Data not Normal; Data not Gamma Distributed; Data not Lognormal	-	Data appear Normal; Data appear Gamma Distribution; Data appear appr. Lognormal	-
Unità A	Data not Normal; Data not Gamma Distributed; Data not Lognormal	Data not Normal; Data not Gamma Distributed ; Data not Lognormal	Data not Normal; Data not Gamma Distributed ; Data appear appr. Lognormal	Data not Normal; Data not Gamma Distributed ; Data not Lognormal	-	Data not Normal; Data not Gamma Distributed ; Data not Lognormal	-	-	-	Data appear appr. Normal; Data appear Gamma Distribution; Data appear Lognormal	Data not Normal; Data not Gamma Distributed; Data not Lognormal
Unità ZS			Data not Normal; Data appr. Gamma Distribution; Data appear Lognormal	-	-	-	-	-	-	-	-
Unità PV	-	-	Data not Normal; Data appr. Gamma Distribution; Data not Lognormal	Data not Normal; Data not Gamma Distributed ; Data appear appr. Lognormal	Data not Normal; Data not Gamma Distributed; Data not Lognormal	Data not Normal; Data appr. Gamma Distribution; Data appear Lognormal	Data not Normal; Data not Gamma Distributed; Data not Lognormal	Data not Normal; Data not Gamma Distributed; Data not Lognormal	Data not Normal; Data not Gamma Distributed ; Data not Lognormal	Data not Normal; Data not Gamma Distributed; Data not Lognormal	-

Tabella 8: Esiti test di distribuzione dei dataset CL, A, ZS e PV (D. Lgs. 152/06) (con outliers)

Dataset	Zn 152	Zn 471
Unità af-ac	Data not Normal; Data appr. Gamma Distribution; Data appear appr. Lognormal	Data not Normal; Data appr. Gamma Distribution; Data appear appr. Lognormal

Tabella 9: Esiti test di distribuzione del dataset af-ac (D. Lgs. 152/06 e DM 471/99) (con outliers)

Come evidente dalle tabelle soprariportate, i dataset campionari risultano avere pressoché interamente distribuzioni di tipo non parametrico, mostrando pertanto scostamenti importanti (su dataset rappresentativi di litologie omogenee) rispetto alle distribuzioni tipiche di metalli/metalloidi di origine naturale (normale, gamma ecc.). Gli esiti dei test di distribuzione risultano peraltro coerenti con la numerosità degli outlier descritti precedentemente.

Importante eccezione è rappresentata dagli esiti del test di distribuzione dell'unità af-ac, che mostra una distribuzione di tipo Gamma/Lognormale già prima della rimozione di eventuali outlier.

6.2 Individuazione dei dati anomali (outliers)

Per l'individuazione dei dati anomali, vista la distribuzione statistica delle popolazioni campionarie si è adottato un approccio di tipo grafico, tramite la costruzione di box plots.

I box plot sono dei diagrammi che riassumono gli aspetti principali di una distribuzione di valori; la base inferiore e superiore del rettangolo rappresentano rispettivamente il 25 e il 75 percentile (I e III quartile). La linea all'interno del rettangolo rappresenta la mediana (ovvero il 50 percentile). Accanto a questi parametri statistici fondamentali, il box plot deriva altri valori importanti per l'identificazione dei valori anomali; con il termine gradino (step) si indica 1,5 volte la differenza fra il valore corrispondente al 75° percentile e quello al 25° percentile. Per l'identificazione degli outlier tramite i box plots si applica la cosiddetta "soglia di anomalia", ottenuta applicando un fattore 3 nel calcolo della soglia outlier.

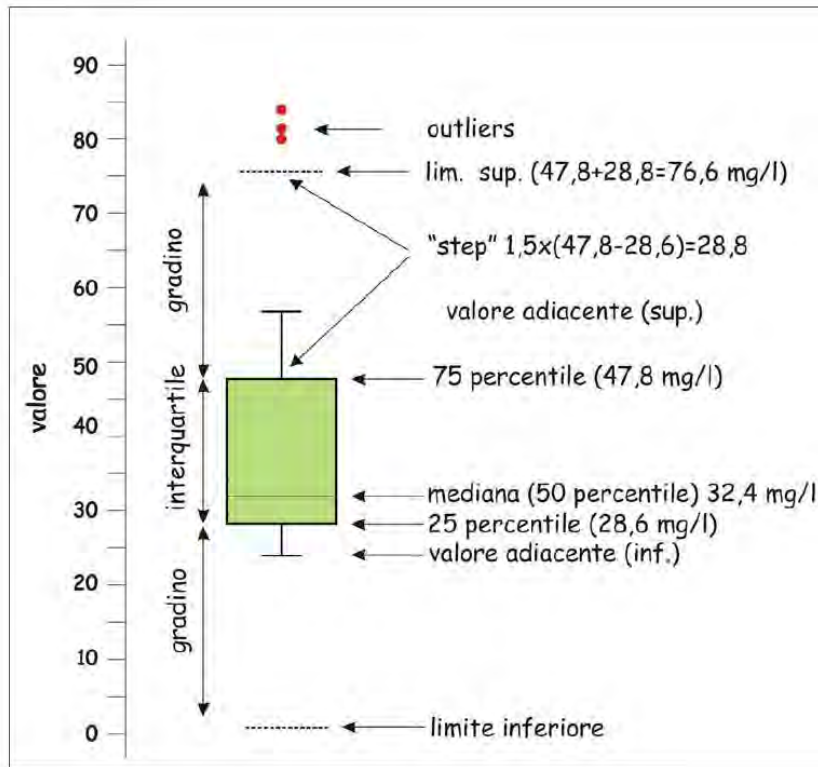


Figura 21: Esempio di BoxPlot e relativi parametri statistici identificativi

Le immagini seguenti mostrano i Box Plots per i cinque dataset campionari esaminati (unità CL, A, ZS, PV e af-ac).

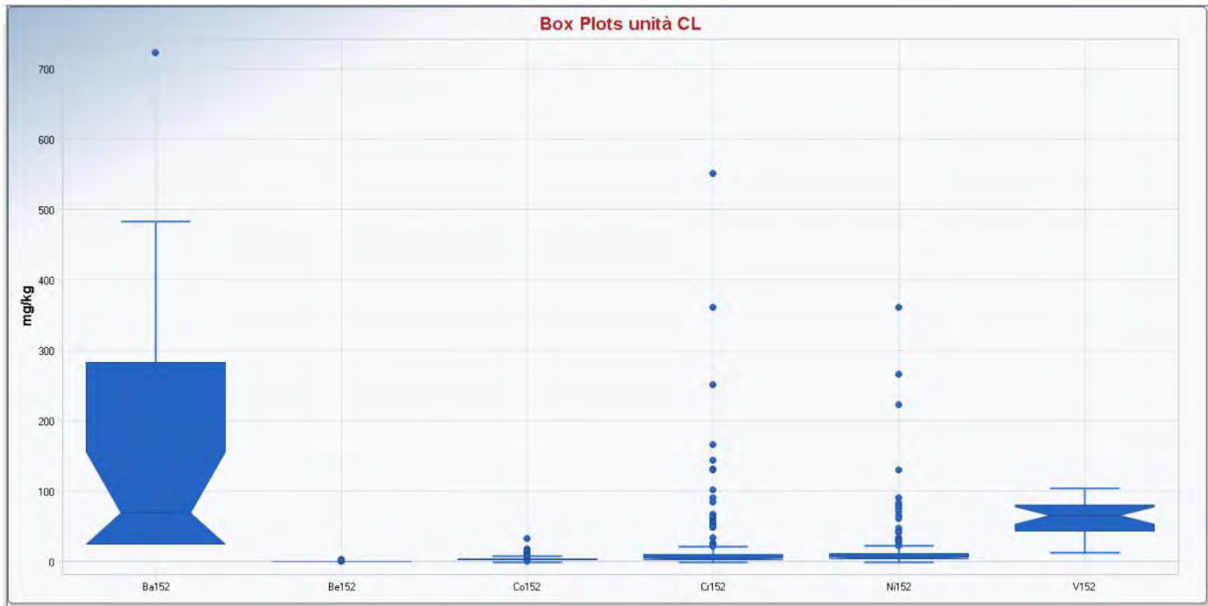


Figura 22: Boxplots Ba, Be, Co, Cr, Ni e V - Unità CL (D. Lgs. 152/06)

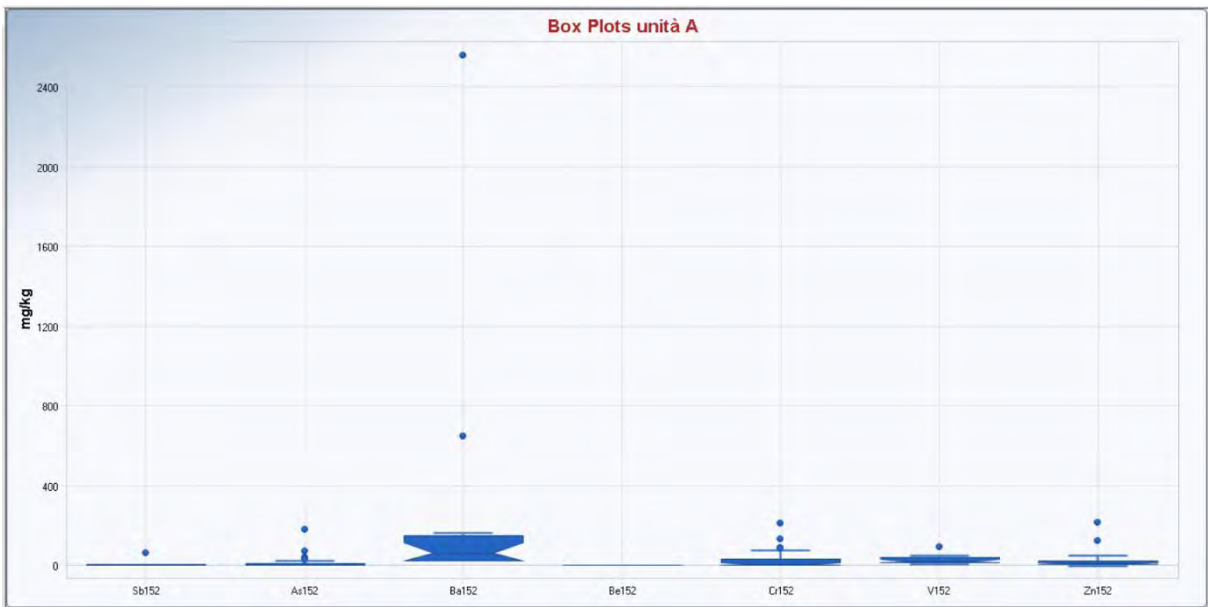


Figura 23: Boxplots Sb, As, Ba, Be, Cr, V e Zn - Unità A (D. Lgs. 152/06)

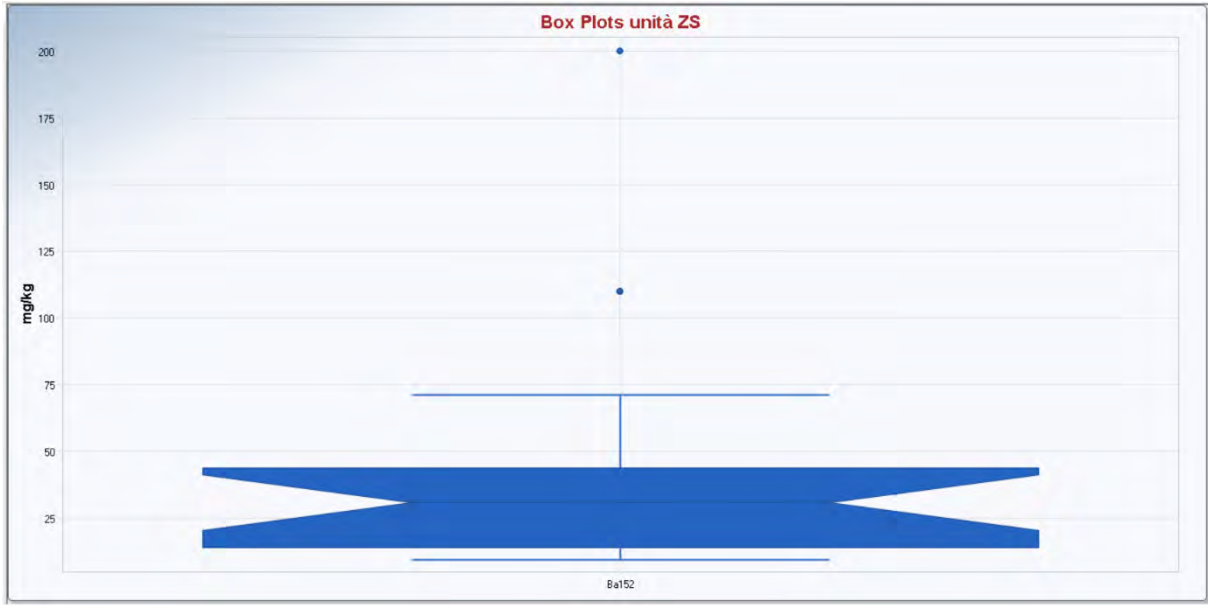


Figura 24: Boxplots Ba - Unità ZS (D. Lgs. 152/06)

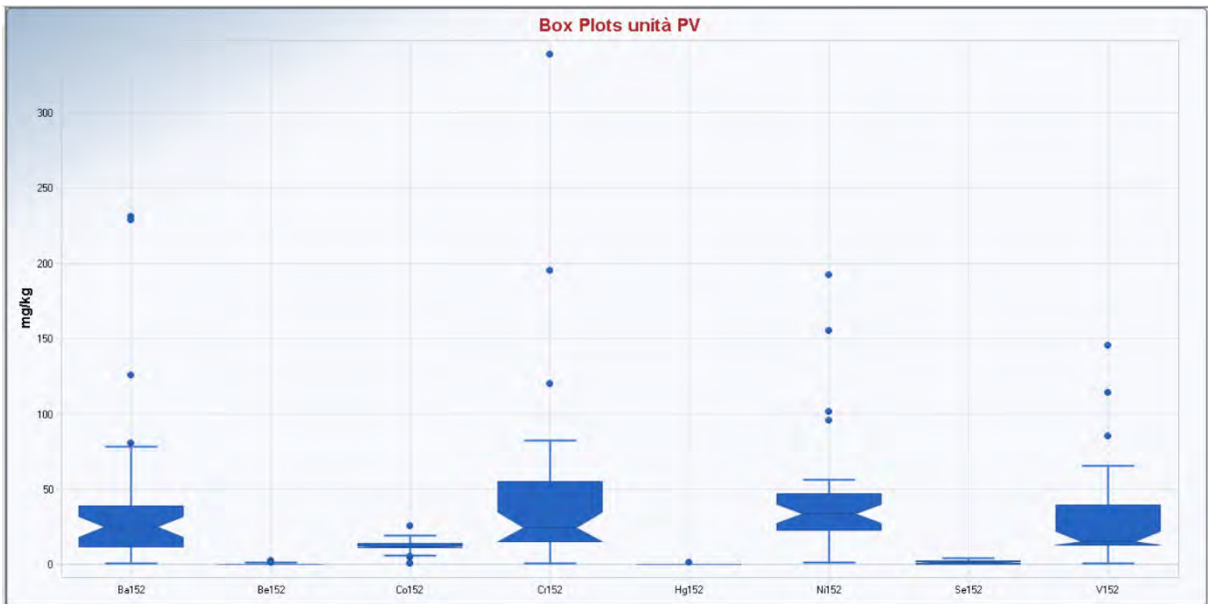


Figura 25: Boxplots Ba, Be, Co, Cr, Hg, Ni, Se e V, Unità PV (D. Lgs. 152/06)

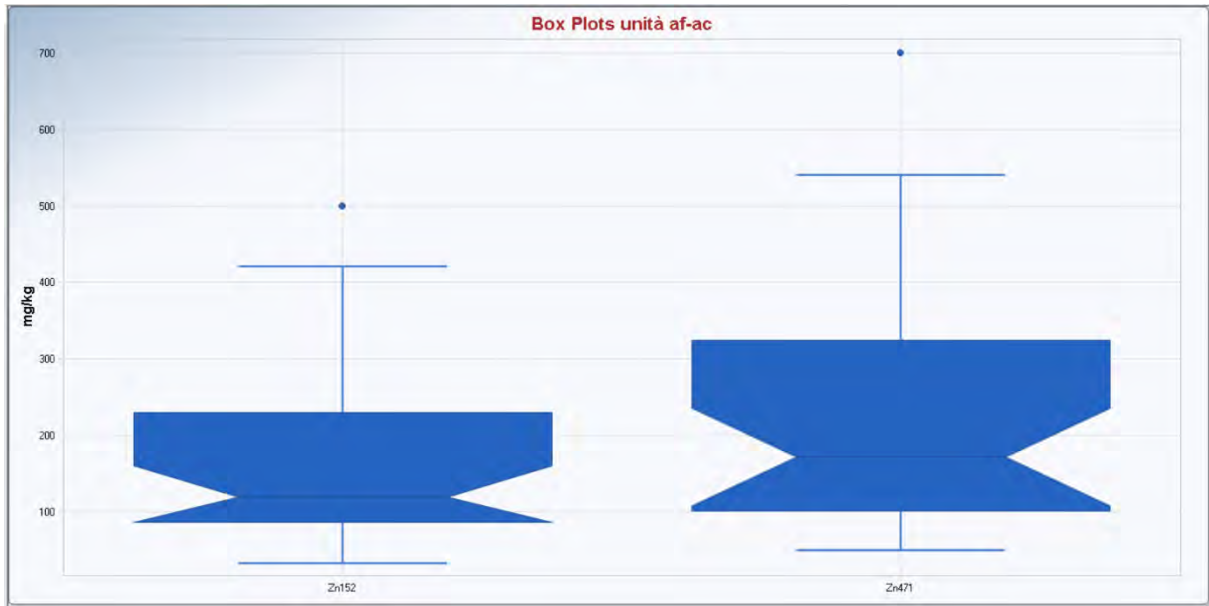


Figura 26: Boxplots Zn, Unità af-ac (D. Lgs. 152/06 e DM 471/99)

Sulla base dei boxplots sopraportati, **sono stati identificati gli outlier** (positivi e negativi) per i due dataset considerati, identificati come quei campioni aventi concentrazioni superiori alla “soglia di anomalia” come nel seguito descritto:

- outlier positivo > 75° percentile + 3 IQR
- outlier negativo < 25° percentile - 3 IQR

I valori del 25° percentile, 75° percentile e dei range interquartili identificati per i cinque dataset campionari sono sintetizzati nelle tabelle seguenti.

Unità CL	Ba 152	Be 152	Co 152	Cr 152	Ni 152	V 152
75° Percentile	273	2	9	131	83	79
25° Percentile	25	1	3	53	32	44
Range interquartile	248	1	6	77	51	35

Tabella 10: 75° e 25° percentile, range interquartile outlier Unità CL

Unità A	Sb 152	As 152	Ba 152	Be 471	Cr 471	V 152	Ni 471
75° Percentile	4	17	141	2	79	42	40
25° Percentile	3	1	25	2	33	14	23
Range interquartile	1	16	116	1	46	28	17

Tabella 11: 75° e 25° percentile, range interquartile outlier Unità A

Unità ZS	Ba 152
75° Percentile	44
25° Percentile	14
Range interquartile	30

Tabella 12: 75° e 25° percentile, range interquartile outlier Unità ZS

Unità PV	Ba 152	Be 152	Co 152	Cr 152	Hg 152	Ni 152	Se 152	V 152
75° Percentile	39	1	14	55	0,25	47	3	38
25° Percentile	12	0	11	15	0,03	24	1	13

Range interquartile	27	0	3	40	0,22	23	2	25
---------------------	----	---	---	----	------	----	---	----

Tabella 13: 75° e 25° percentile, range interquartile outlier Unità PV

Unità af-ac	Zn 152	Zn 471
75 ° Percentile	230	321
25° Percentile	88	103
Range interquartile	143	218

Tabella 14: 75° e 25° percentile, range interquartile outlier Unità af-ac

Secondo la metodica precedentemente descritta sono stati individuati i seguenti potenziali outlier nei cinque dataset:

- Unità CL:
 - Ba – nessun outlier;
 - Be – nessun outlier;
 - Co – campione F16-C3_40 (concentrazione pari a 32,2 mg/kg secondo il D. Lgs. 152/06);
 - Cr – campione F16-C9_99 e S4-C3_86 (concentrazione rispettivamente pari a 550,8 e 360 mg/kg secondo il D. Lgs. 152/06);
 - Ni – campioni F16-C9_99 e S4-C9_186 (concentrazioni rispettivamente pari a 360 e 265,1 mg/kg secondo il D. Lgs. 152/06).
 - V – nessun outlier.
- Unità A:
 - Sb – campione S5-C1_3 (concentrazione pari a 61 mg/kg secondo il D. Lgs. 152/06);
 - As – campioni S5-C1_3 e S5-C2_50 (concentrazioni rispettivamente pari a 180 e 73 mg/kg secondo il D. Lgs. 152/06);
 - Ba – campioni F30b-C5_236 e S5-C4_123 (concentrazioni rispettivamente pari a 647 e 2561 mg/kg secondo il D. Lgs. 152/06);
 - Be – nessun outlier;
 - Cr – nessun outlier;
 - V – nessun outlier;
 - Zn – campioni F30b-C5_236 e F30b-C6_252 (concentrazioni rispettivamente pari a 214,4 e 123,5 mg/kg secondo il D. Lgs. 152/06).
- Unità ZS:
- Ba – nessun outlier;
- Unità PV:
 - Ba – campioni S8-C1_37, S8-C4_78 e S42-C3_54 (concentrazioni pari a 231,1, 125,5 e 228,7 mg/kg secondo il D. Lgs. 152/06);
 - Be – campioni S8-C2_50, S8-C3_68, S8-C4_78, S8-C7_93, S8-C8_96, S42-C1_19 e S42-C4_60 (concentrazioni pari a 1,2; 1,8; 2,1; 1,2; 2,5; 1,5 e 1,8 mg/kg secondo il D. Lgs. 152/06);
 - Co – campioni S8-C8_96, S42CD e S42-C4_60 (concentrazioni pari a 25,4; 0,66 e 1 mg/kg secondo il D. Lgs. 152/06);
 - Cr – campioni S8-C5_84 e S42-C4_60 (concentrazioni pari rispettivamente a 338,9 e 195 mg/kg secondo il D. Lgs. 152/06);
 - Hg – campione S8-C6_88 (concentrazione pari a 1,23 mg/kg secondo il D. Lgs. 152/06);
 - Ni – campioni S8-C5_84 e S42-C4_60 (concentrazioni rispettivamente pari a 192,4 e 155,4 mg/kg secondo il D. Lgs. 152/06);

- Se – nessun outlier;
- V – campioni S8-C7_93 e S8-C8_96 (concentrazioni rispettivamente pari a 114 e 145,2 mg/kg secondo il D. Lgs. 152/06).
- Unità af-ac:
 - Zn – nessun outlier.

6.3 Considerazioni sulla natura degli outlier identificati su base statistica e loro gestione

Le distribuzioni campionarie osservate di cui al **Paragrafo 6.1**, se confrontate con la profondità di prelievo dei campioni e la litologia dei campioni prelevati suggerisce come i numerosi outlier individuati descritti nel paragrafo precedente non sembrano rappresentare anomalie sotto il profilo geochimico, quanto invece possano essere ritenuti riconducibili a fenomeni di mineralizzazioni o sostituzioni isomorfe nel reticolo cristallino dei minerali che si traducono in distribuzioni dei parametri analizzati difficilmente riconducibili a popolazioni normali/lognormali gamma ecc. E' interessante a tal proposito evidenziare come, confrontando i risultati con quelli prelevati in fase di scavo del cunicolo della Maddalena, i superamenti delle CSC che producono i numerosi outlier precedentemente elencati non compaiano, lasciando supporre come i suddetti outlier siano riconducibili anche alla scarsa rappresentatività di campioni puntuali prelevati in materiale litoide dalle carote estratte in fase di esecuzione dei sondaggi geognostici. Tale rappresentatività sembra infatti maggiore quando le analisi sono riferite a materiali in cumulo (vedasi analisi fatte in sede di esecuzione del cunicolo) o nel caso di campioni di materiale sciolto (vedasi esiti test di distribuzione del dataset af-ac, relativi a materiale Depositi alluvionali di fondovalle - **af** e depositi di conoide alluvionale **ac**).

Tali considerazioni sono corroborate da quanto previsto dalle **Linee guida per la determinazione dei valori di fondo per i suoli e per le acque sotterranee** SNPA 08/2018 (sulla determinazione dei VdF) nel caso di scavo o studi effettuati su materiali lapidei.

Si riporta nel seguito un estratto delle succitate linee guida per studi di valori di fondo in materiali lapidei:

A4. Materiali lapidei

“In determinati contesti (es. scavo in galleria) è presumibile che il materiale lapideo derivante da operazioni di scavo, qualora accertato che non sia stato contaminato (ovvero non sia stato frammisto a rifiuto) durante le fasi di scavo, per sua natura, possa essere considerato conforme ai VFN, in quanto totalmente affine dal punto di vista chimico al corpo roccioso non scavato che costituisce il riferimento per il fondo naturale”

Nel prosieguo del documento, in funzione:

- della tipologia, quantità e distribuzione dei superamenti delle CSC riscontrati;
- degli studi statistici effettuati;
- delle litologie interessate dai campionamenti;
- di quanto previsto dalle Linee Guida SNPA per lo scavo in materiali lapidei

si propone di ritenere pienamente riconducibili a fenomeni di fondo naturale i superamenti delle CSC descritti in precedenza.

7 IDENTIFICAZIONE DEI VALORI DI FONDO SITO SPECIFICI E CONCLUSIONI OPERATIVE

7.1 Definizione dei valori di fondo sito specifici

Sulla base delle elaborazioni statistiche descritte nel Capitolo precedente si è proceduto ad identificare i possibili valori di fondo sito-specifici per i cinque dataset.

I valori di fondo proposti, sulla base di quanto descritto al Capitolo precedente, sono stati identificati con i valori massimi rinvenuti per ciascun elemento nelle differenti unità litologiche.

I valori di fondo così definiti sono riportati nelle Tabelle seguenti suddivisi tra litologie afferenti a materiale lapideo (**Tabella 15**) e materiale sciolto (**Tabella 16**).

Descrittori	CL	A	ZS	PV
Sb 152	-	61	-	-
As 152	-	180	-	-
Ba 152	722,1	2561	200	231,1
Be 152	2,7	2,9	-	2,5
Co 152	32,2	-	-	25,4
Cr 152	550,8	210	-	338,9
Hg 152	1,42	-	-	1,23
Ni 152	360	-	-	192,4
Se 152	-	-	-	3,8
Tl 152	-	1,4	-	-
V 152	103,3	94,2	-	145,2
Zn 152	-	214,4	-	-

Tabella 15: Proposta Valori di fondo materiale lapideo [mg/kg]

Descrittori	af-ac
Zn 152	500

Tabella 16: Proposta Valori di fondo materiale sciolto [mg/kg]

I valori di fondo soprariportati sono proposti, pertanto, come rappresentativi del fondo naturale delle cinque unità litologiche utilizzate per le elaborazioni statistiche. Operativamente, in funzione:

- del significato dei valori di fondo naturale sopradescritti (escludere contaminazioni antropiche, identificare in modo univoco la riconducibilità dei dati analitici a fenomeni di fondo naturale);
- della caratterizzazione ambientale in corso d'opera che verrà effettuata sui materiali di scavo al fine di definirne univocamente le qualità ambientali e la compatibilità con i siti di destinazione finale e la tipologia di riutilizzo;

si propone ai fini di questo documento di adottare un unico valore di fondo per ciascun parametro, da utilizzarsi quale rappresentativo del fondo naturale del materiale estratto dallo scavo del Tunnel di Base, coincidente con la Cmax di ogni elemento.

Unica eccezione a quanto sopra proposto si ritiene possa essere rappresentata:

- dall'As, presente in concentrazioni superiori alle CSC unicamente nell'unità litologica A (Complesso d'Ambin) e che per il quale si ritiene che, in termini di VdF, la Cmax riscontrata vada riferita unicamente a tale litologia;
- dallo Zn, presente in concentrazioni superiori alle CSC unicamente nell'unità litologica af-ac (depositi alluvionali di fondovalle e depositi di conoide alluvionale) e che per il quale si ritiene, in termini di VdF, la Cmax riscontrata vada riferita unicamente a tale litologia;

In fase costruttiva, in applicazione del previsto protocollo di caratterizzazione in corso d'opera, sarà cura dell'impresa Appaltatrice verificare ed eventualmente aggiornare le elaborazioni statistiche condotte, al fine di verificare la riconducibilità a fenomeni di fondo naturale dei superamenti delle concentrazioni riportate in **Tabella 15** e in **Tabella 16**.

7.2 Confronto Valori di fondo proposti con le CSC di riferimento

Nella tabella seguente si riportano i Valori di fondo proposti, confrontati le CSC di cui alla Tab. 1 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i..

Come anticipato al paragrafo precedente, i Valori di fondo proposti sono indicati indipendentemente dall'unità litologica, e proposti per il materiale estratto dal Tunnel di Base nella sua interezza, con l'unica eccezione dei parametri As e Zn da ritenersi applicabili rispettivamente unicamente alle unità A e af-ac.

Descrittori	Sb 152	As 152	Ba 152	Be 152	Co 152	Cr 152	Hg 152	Ni 152	Se 152	Tl 152	V 152	Zn 152
Valore di fondo proposto	61	180	2561	2,9	32,2	550,8	1,42	360	3,8	1,4	142,2	214,4
CSC – Col. A (mg/kg)	10	20	150*	2	20	150	1	120	3	1	90	150
CSC – Col. B (mg/kg)	30	50	1900*	10	250	800	5	500	15	10	250	1500

*: limiti di riferimento previsti per il parametro Ba dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS)

Tabella 17: Confronto risultati analisi statistica con le CSC

7.3 Conclusioni e indicazioni operative

Lo studio effettuato ha mostrato la riconducibilità a fenomeni di fondo naturale dei superamenti delle CSC di Col. A riscontrati per i parametri Sb, As, Ba, Be, Co, Cr, Hg, Ni, Se, Tl, V, Zn.

Le elaborazioni statistiche effettuate, la suddivisione in sub-set omogenei, il confronto con quanto previsto dalle Linee Guida SNPA hanno permesso di determinarne i Valori di Fondo da adottare per il Sito, condivisi in sede di istruttoria tecnica da parte di ARPA Piemonte.

Tali valori di fondo potranno eventualmente essere oggetto di aggiornamento in fase costruttiva, in applicazione del previsto protocollo di caratterizzazione in corso d'opera, a cura dell'impresa Appaltatrice.

ALLEGATO 1

STUDIO VALORI DI FONDO ARPA PIEMONTE

Torino, 04/08/2017

Parametri statistici e valori di fondo di Cromo, Nichel e Arsenico per le aree omogenee di concentrazione dei suoli dei comuni di Caprie, Bussoleno, Susa e Torrazza Piemonte.

Responsabile struttura
Ivana Bottazzi

Referente pratica:
Gabriele Fabietti
Tel. 011.19680210
gabriele.fabietti@arpa.piemonte.it



Indice

La rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte.....	3
Campioni elaborati	5
Campionamento dei suoli.....	6
Analisi dei campioni	7
Trattamento preliminare dei dati.....	7
Elaborazione dei dati per aree omogenee di concentrazione	8
Indici di contaminazione.....	13
L'indice di arricchimento superficiale	13
Il fattore di arricchimento superficiale	13
Calcolo dei valori di fondo	15
Principali risultati	16
Concentrazioni di Cromo, Nichel, Cobalto e Arsenico a scala regionale	19
Concentrazioni di Cromo, Nichel e Arsenico per le aree omogenee che interessano il territorio dei comuni di Caprie, Bussoleno, Susa e Torrazza Piemonte.	28
Raccomandazioni generali relative all'utilizzo dei dati	34
Utilizzo dei dati della rete nell'ambito del D.M. 10 agosto 2012 n. 161	35
Bibliografia.....	36

La rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte

Arpa Piemonte realizza un sistema di monitoraggio dei suoli del territorio piemontese, progettato per produrre dati omogenei e validati relativi ai principali contaminanti, da utilizzare come supporto scientifico di riferimento in attività correlate alla valutazione della qualità del suolo e all'applicazione delle normative che riguardano la contaminazione ambientale.

Il monitoraggio dei suoli è effettuato in corrispondenza di stazioni di monitoraggio distribuite su tutto il territorio regionale, in corrispondenza dei vertici di una maglia sistematica ampliata con livelli successivi di approfondimento.

I dati della rete sistematica sono integrati con analisi di stazioni di monitoraggio rappresentative, realizzate in zone caratterizzate da problemi specifici di contaminazione diffusa del suolo.

Il campionamento dei suoli è effettuato a profondità fisse e per ogni campione prelevato sono analizzati più di 70 contaminanti tra metalli pesanti, idrocarburi policiclici aromatici (IPA) policlorobifenili (PCB), diossine (PCDD) e furani (PCDF) per i quali sono fissati valori limite dal D.Lgs. 152/06, oltre a metalli pesanti non normati e terre rare.

L'utilizzo dei dati delle Rete di monitoraggio ambientale dei suoli permette di valutare la presenza, l'origine e l'intensità delle principali forme di contaminazione diffusa dei suoli del territorio piemontese, e di determinare i valori di fondo di metalli pesanti e metalloidi per i quali sono previsti valori limite dal D.Lgs. 152/06.

Il consistente numero di campioni fornito dalla rete garantisce, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, l'ottenimento di rappresentazioni spaziali attendibili a scala regionale dei contaminanti analizzati.

Tramite opportune semplificazioni dei risultati ottenuti dai modelli previsionali, sono delimitate sul territorio aree omogenee di concentrazione dei contaminanti ed aree critiche che presentano probabilità elevate di superamento dei limiti di legge.

In corrispondenza delle aree omogenee di concentrazione individuate per i singoli contaminanti, sono effettuate valutazioni relative alla presenza, origine, intensità della contaminazione diffusa, e sono stati calcolati i valori di fondo.

Le valutazioni relative a presenza, origine, e intensità della contaminazione sono effettuate attraverso l'utilizzo combinato di elaborazioni statistiche, geostatistiche e calcolo di specifici indici di arricchimento.

I valori di fondo del suolo sono determinati in base agli standard internazionali stabiliti dalla normativa ISO 19258/2005 "Soil quality - Guidance on the determination of background values".

I risultati delle elaborazioni hanno permesso di individuare sul territorio piemontese e per i singoli contaminanti, aree critiche che presentano elevate concentrazioni di metalli pesanti associate ad alte probabilità (>50%) di superamento dei limiti di legge.

In base ai risultati ottenuti è possibile individuare due gruppi principali di contaminanti che presentano criticità nei suoli del territorio piemontese.

Un primo gruppo è rappresentato da metalli pesanti e metalloidi (Cromo, Nichel, Cobalto, Arsenico, Vanadio e Berillio) che presentano aree critiche la cui origine è da attribuire in prevalenza alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine.

Questi contaminanti, per i quali è stato determinato il valore di fondo naturale attraverso l'elaborazione dei campioni di suolo profondi, presentano aree critiche di dimensioni elevate con differenze minime tra la concentrazione degli orizzonti superficiali e quelli profondi e valori degli indici di arricchimento molto bassi ad indicare nel loro insieme assenza di fenomeni rilevanti di contaminazione diffusa di origine antropica.

Un secondo gruppo di contaminanti è composto da metalli pesanti (Piombo, Rame, Zinco, Antimonio, Stagno) con aree critiche la cui origine è da attribuire in parte alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine ed in parte a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica.

Questi contaminanti, per i quali viene determinato il valore di fondo naturale - antropico attraverso l'elaborazione dei campioni di suolo superficiali, presentano aree critiche molto frammentate e di dimensioni ridotte, con differenze elevate tra la concentrazione degli orizzonti superficiali e quelli profondi ed indici di arricchimento elevati ad indicare nel loro insieme presenza di fenomeni rilevanti di contaminazione diffusa di origine antropica.

I risultati ottenuti colmano una storica carenza di dati e documentazione scientifica, relativa alla caratterizzazione e quantificazione della contaminazione dei suoli del territorio piemontese.

In particolare i dati forniti rappresentano un fondamentale supporto scientifico di riferimento per tutte le attività correlate alla valutazione della qualità del suolo e dell'ambiente in genere, alla pianificazione territoriale su ampia scala e all'applicazione delle normative che riguardano la contaminazione del suolo, quali ad esempio il D.Lgs. 152/06 ed il D.M. 10 agosto 2012 n. 161, che necessitano di informazioni base relative alla contaminazione diffusa del suolo ed ai valori di fondo a scala regionale.

Le basi teoriche utilizzate per le elaborazioni ed interpretazioni dei risultati di questo studio sono il risultato di numerose esperienze maturate da Arpa Piemonte nell'ambito delle attività della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte, sintetizzabili nelle pubblicazioni scientifiche riportate in bibliografia.

La *relazione "Arpa Piemonte - Analisi ambientale sulla contaminazione diffusa del suolo del territorio regionale per la definizione dei valori di fondo riguardanti diverse categorie di inquinanti"* può essere scaricata direttamente dal sito dell'Arpa Piemonte

(<http://www.arpa.piemonte.gov.it/approfondimenti/temi-ambientali/suolo/relazione-suolo>).

Campioni elaborati

Il monitoraggio dei suoli è effettuato in corrispondenza di stazioni di monitoraggio distribuite su tutto il territorio regionale, in corrispondenza dei vertici di una maglia sistemica ampliata con livelli successivi di approfondimento .

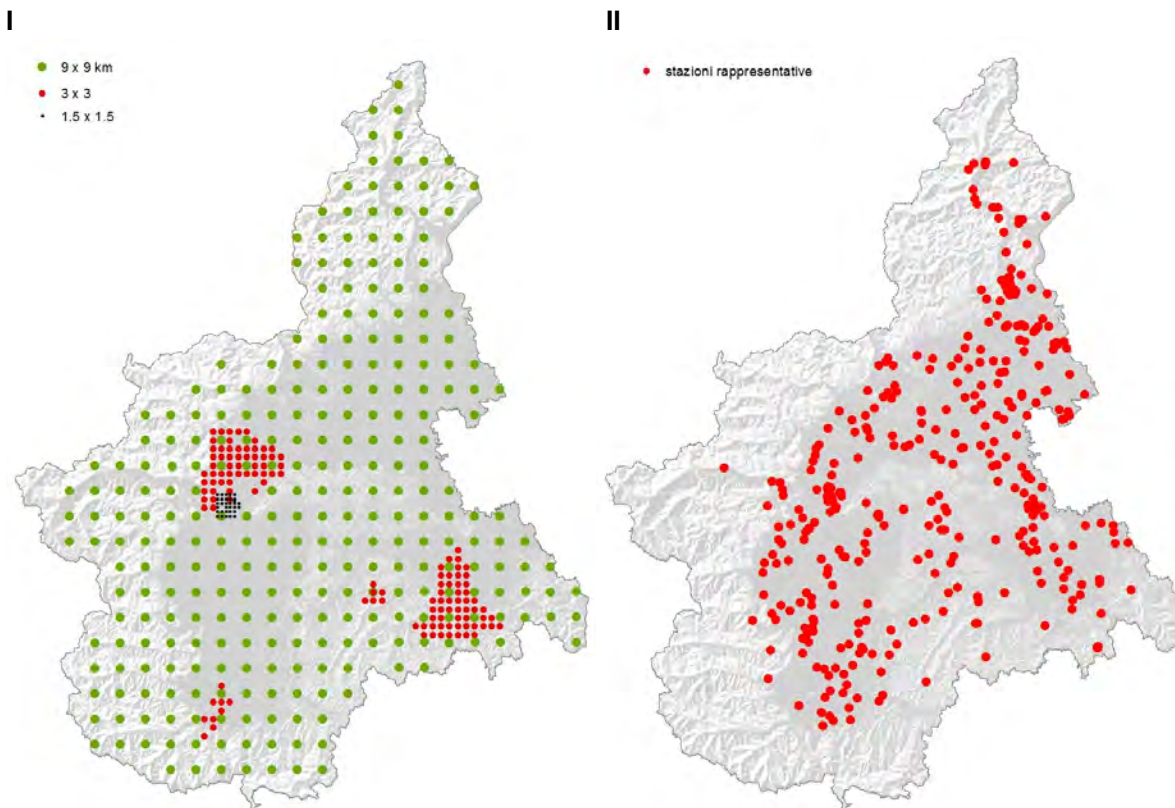
Allo stato attuale sono stati campionati e analizzati i suoli di 470 stazioni su maglia sistemica 9x9 km, realizzata su tutto il territorio piemontese, e 3x3 o 1,5x1,5 km realizzate in aree caratterizzate da problemi rilevanti di contaminazione diffusa del suolo (Figura 1 - I).

I dati della rete sistemica sono integrati con analisi di stazioni di monitoraggio rappresentative (attualmente 340 - Figura 1 - II), realizzate in porzioni di territorio caratterizzate da problemi specifici di contaminazione diffusa del suolo e per le quali viene analizzato un set ridotto di dati.

Il numero di stazioni elaborate per i singoli contaminanti varia in funzione dei criteri stabiliti nel paragrafo relativo al trattamento preliminare dei campioni e nel paragrafo relativo al calcolo dei valori di fondo.

Figura 1

Ubicazione delle stazioni della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte. *I* - Stazioni di monitoraggio realizzate su rete sistemica. *II* - Stazioni di monitoraggio rappresentative utilizzate ad integrazione dei dati forniti dalla rete sistemica.



Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati dicembre 2016).

Campionamento dei suoli

I campioni di suolo sono prelevati a profondità fisse A e B in base all'uso del suolo:

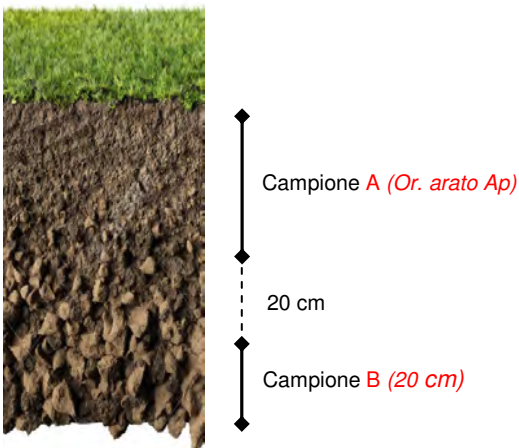
- per i suoli agricoli periodicamente lavorati la profondità di campionamento A corrisponde all'orizzonte arato (Ap) e B al campionamento effettuato a 20 cm dal limite inferiore di Ap (Figura 2);
- per i suoli naturali (bosco, prato – pascolo) e/o indisturbati (incolto) il campione A corrisponde alla profondità 0-10 cm, mentre il campione B è effettuato a profondità compresa tra i 30 ed i 60 cm. Nel campionamento viene scartato lo strato superficiale (orizzonte O) rappresentato da sostanza organica indecomposta e/o parzialmente decomposta e privo di componente minerale.

In corrispondenza della stazione di monitoraggio viene identificata un'area di campionamento di circa 100 m² (10 x 10 m – Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.) all'interno della quale vengono prelevati sottocampioni in numero variabile da tre (su una ipotetica diagonale) a cinque (ai vertici ed al centro del poligono) in base alle condizioni di omogeneità pedologica riscontrate. I sottocampioni prelevati per ogni profondità vengono poi omogeneizzati in campo in un'unica aliquota.

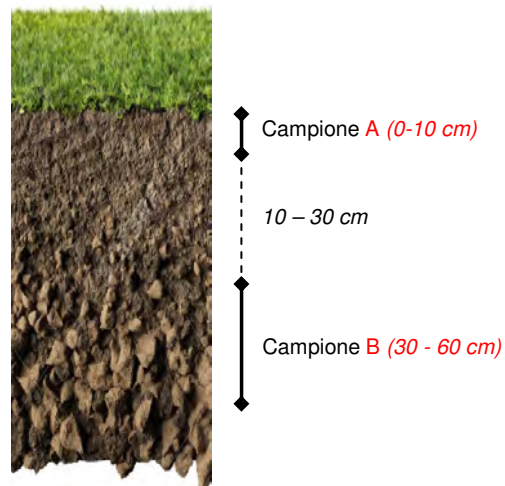
Figura 2

Campionamento a profondità fisse A e B per suoli agricoli - arati e naturali - indisturbati (suoli forestali, pascoli).

Suoli agricoli



Suoli naturali – indisturbati



Analisi dei campioni

Per ogni campione sono analizzati contaminanti per i quali sono fissati valori limite dal D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale:

- **metalli pesanti e metalloidi** (Antimonio - Sb, Arsenico - As, Berillio - Be, Cadmio - Cd, Cobalto - Co, Cromo - Cr, Mercurio - Hg, Nichel - Ni, Piombo - Pb, Rame - Cu, Selenio - Se, Stagno - Sn, Tallio - Tl, Vanadio - V e Zinco - Zn). Estrazione in *aqua regia* e analisi con ICP-MS (Agilent, 7500CE).
- **idrocarburi policiclici aromatici** (IPA - 16 composti). Estrazione attraverso ASE 200 Accelerated Solvent Extractor (Dionex, Sunnyvale, CA, USA) con diclorometano.
- **diossine e furani** (PCDD/DF - 17 congeneri). Estrazione attraverso ASE 200 Accelerated Solvent Extractor (Dionex, Sunnyvale, CA, USA) con toluene.
- **poli-clorobifenili** (PCB - 30 congeneri). Estrazione attraverso ASE 200 Accelerated Solvent Extractor (Dionex, Sunnyvale, CA, USA) con toluene.

Vengono inoltre analizzati:

- **lantanoidei o "terre rare"** non normati dal D.Lgs. 152/06, ma di notevole interesse per la valutazione della contaminazione diffusa del suolo: (Cerio - Ce, Disprosio - Dy, Erblio - Er, Europio - Eu, Gadolinio - Gd, Olmio - Ho, Lantanio - La, Neodimio - Nd, Praseodimio - Pr, Samario - Sm, Tullio - Tm, Ittrio - Y, e Itterbio - Yb). Estrazione in *aqua regia* e analisi con ICP-MS (Agilent, 7500CE).
- **composti inorganici non normati** dal D.Lgs. 152/06 ma necessari per l'interpretazione di numerosi fenomeni contaminazione. Estrazione in *aqua regia* e analisi con ICP-MS (Agilent, 7500CE).

Le determinazioni analitiche in laboratorio condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm. La concentrazione del campione si riferisce alla totalità dei materiali secchi della sola frazione inferiore a 2 mm senza includere la frazione di scheletro 2 cm - 2 mm.

Trattamento preliminare dei dati

I dati al disotto del limite di rilevabilità dello strumento di analisi sono inclusi nelle elaborazioni statistiche utilizzando il metodo medium-bound, che si basa sull'assunto che mediamente i dati non rilevabili abbiano un valore pari a metà del limite di rilevabilità ($NR \cong LR/2$).

Non vengono elaborati gli inquinanti per i quali la percentuale di campioni al disotto del limite di rilevabilità è superiore al 60%.

Vengono inoltre esclusi dalle elaborazioni i valori outliers che si discostano dalla mediana oltre 3 volte la distanza interquartile:

$$> Q2+3 \times IQR$$

dove Q2 è il secondo quartile (mediana) e IQR è il range o distanza interquartile tra il primo quartile (Q1) ed il terzo quartile (Q3).

Al fine di evitare di includere nelle elaborazioni statistiche campioni caratterizzati da forme di inquinamento del suolo eccessive ed imputabili prevalentemente a forme di contaminazione puntuale, vengono esclusi dalle elaborazioni i profili con indice di arricchimento superficiale superiore a 3.

Elaborazione dei dati per aree omogenee di concentrazione

Il consistente numero di campioni fornito dalla rete di monitoraggio permette di ottenere, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, rappresentazioni spaziali attendibili a scala regionale della concentrazione dei contaminanti analizzati.

Tramite opportune semplificazioni dei risultati ottenuti dai modelli previsionali, sono delimitate sul territorio aree omogenee di concentrazione dei contaminanti ed aree critiche che presentano probabilità elevate (>50%) di superamento dei limiti di legge stabiliti dal *D.Lgs. 152/06* per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*) (Figura 3- I).

La rappresentatività statistica delle popolazioni di dati appartenenti alle singole aree omogenee di concentrazione è verificata attraverso confronto tra popolazioni con test statistici (t-test per campioni indipendenti) e metodi grafici (curve della densità di distribuzione, Box plot, Curve di distribuzione cumulata di frequenza) (Figura 3 – II, III, IV).

In corrispondenza delle aree omogenee di concentrazione individuate, sono effettuate valutazioni relative alla presenza, origine, intensità della contaminazione diffusa, attraverso l'analisi e l'interpretazione dei parametri statistici relativi alle diverse profondità di campionamento ed il calcolo di specifici indici di arricchimento (vedi paragrafo successivo).

L'utilizzo della statistica multivariata (correlazioni di pearson, principal component analysis, cluster analysis) permette di verificare ipotesi relative all'origine prevalente (naturale o naturale-antropica) del contaminante nel suolo, attraverso l'individuazione di correlazioni statisticamente significative tra coppie e/o gruppi di contaminanti attribuibili ad origine comune.

Le aree omogenee di concentrazione di tutti i contaminanti sono classificate in base alle probabilità crescenti di superamento del limite di legge stabiliti dal *D.Lgs. 152/06* per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*), con lettere che vanno dalla "a" alla "e", come illustrato in tabella (Tabella 1).

Le probabilità di superamento dei limi di legge variano da valori inferiori al 5% per la classe "a", con soglia outliers inferiore al limite di legge, a valori superiori al 75 % per la classe "e", che presenta valori superiori al limite di legge già in corrispondenza del 25° percentile.

Per la rappresentazione sintetica della distribuzione della popolazione di dati, dei percentili, dei valori outliers e di parametri statistici quali media e mediana, sono utilizzati i box plot (Figura 4) , grafici formati da scatole (boxes), baffi (whiskers) e outliers.

I boxes o scatole rappresentano il valore interquartile ($IQR = Q3 - Q1$) dato dall'intervallo tra il primo quartile ($Q1$) ed il terzo quartile ($Q3$).

Le linee verticali che si allungano dai bordi della scatola, dette baffi o whiskers, rappresentano il range di valori con esclusione degli outliers.

La linea continua all'interno del box indica la mediana, valore che in un insieme ordinato di dati occupa la posizione centrale.

I pallini vuoti rappresentano gli outliers, definiti come valori hot-spot con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, che si discostano dalla mediana oltre una volta e mezza la distanza interquartile ($> Q3 + 1,5 \times IQR$).

Il primo ed il terzo quartile corrispondono rispettivamente alle mediane della prima e della seconda metà dei dati ordinati. Il 25% dei dati è minore o uguale al primo quartile, il 75% dei dati è minore o uguali al terzo quartile.

L'intervallo $Q3 - Q1$, definito range o valore interquartile (*IQR*), è interpretato come indice di dispersione, per valutare quanto i valori si allontanino da un valore centrale (mediana - $Q2$). In questo intervallo ricade il 50% dei valori della popolazione di dati considerata.

Lo scarto interquartile risulta molto efficace nello studio e nella valutazione della distribuzione degli inquinanti del suolo perché non è influenzata da osservazioni anomale o estreme (statistica robusta), ed è particolarmente adatta ad esprimere la variabilità di distribuzioni asimmetriche, tipiche dei contaminanti da inquinamento diffuso.

Per ogni contaminante vengono inoltre forniti parametri statistici e grafici relativi alle singole aree omogenee di concentrazione:

- Tabelle con parametri di statistica descrittiva (media, mediana, deviazione standard – dev st, coefficiente di variazione – CV, valori minimi - min, valori massimi - max, 25° - 50° - 75° - 90° e 95° percentile, soglia outliers, valori di fondo, numero e percentuale di campioni che superano i limiti di legge;
- Box plot della concentrazione in mg/kg per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge (linea orizzontale rossa) (Figura 4);
- Curve di densità della distribuzione e istogrammi della densità di distribuzione () che forniscono informazioni relative alla densità di distribuzione rispettivamente per i singoli valori di concentrazione e per classi di concentrazioni (Figura 5);
- Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili (Figura 6), confrontate con il valore di fondo (linea tratteggiata nera) ed il limite di legge (linea continua rossa), che forniscono informazioni relative alla distribuzione dei campioni in termini probabilistici, ed in particolare la percentuale di campioni (asse delle x in percentili) che superano una determinata concentrazione (asse delle y).

Tabella 1

Classificazione delle aree omogenee di concentrazione in base alle probabilità di superamento dei limiti di legge

	Probabilità di superamento dei limiti di legge	Limite di legge
a	<5%	> Soglia outliers
b	5%-25 %	75° perc – Soglia outliers
c	25%-50%	50°perc – 75° perc
d	50%-75%	25°perc – 50° perc
e	>75%	< 25° perc

Tabella 2

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (120 mg/kg) ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati del Nichel (Ni) nei suoli ⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		Ni_a1	Ni_a2	Ni_b1	Ni_b2	Ni_c1	Ni_c2	Ni_d1	Ni_e1
Media	mg/kg	33	34	61	61	115	112	217	435
Mediana	mg/kg	27	32	54	55	100	80	136	140
Dev. St	mg/kg	38	17	28	30	79	95	250	819
CV	-	1,1	0,5	0,5	0,5	0,7	0,8	1,2	1,9
Min	mg/kg	4	4	8	15	19	23	30	89
Max	mg/kg	350	96	120	155	600	500	1600	3500
25° percentile (Q1)	mg/kg	15	21	39	44	73	60	92	120
50° percentile	mg/kg	27	32	54	55	100	80	136	140
75° percentile (Q3)	mg/kg	40	44	82	69	136	124	225	280
90° percentile	mg/kg	51	56	110	98	170	237	364	708
95° percentile	mg/kg	57	64	111	120	182	264	502	1371
Soglia outliers ≥ ⁽⁵⁾	mg/kg	77	79	147	108	230	219	424	520
Numero outliers	n	5	2	0	4	3	5	3	4
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	48	55	110	86	160	132 ⁽⁴⁾	344	262 ⁽⁴⁾
Campioni	n	143	142	77	49	85	34	47	17
> Limite di legge ⁽²⁾	n	3	0	0	2	31	9	29	12
	%	2	0	0	4	36	26	62	71

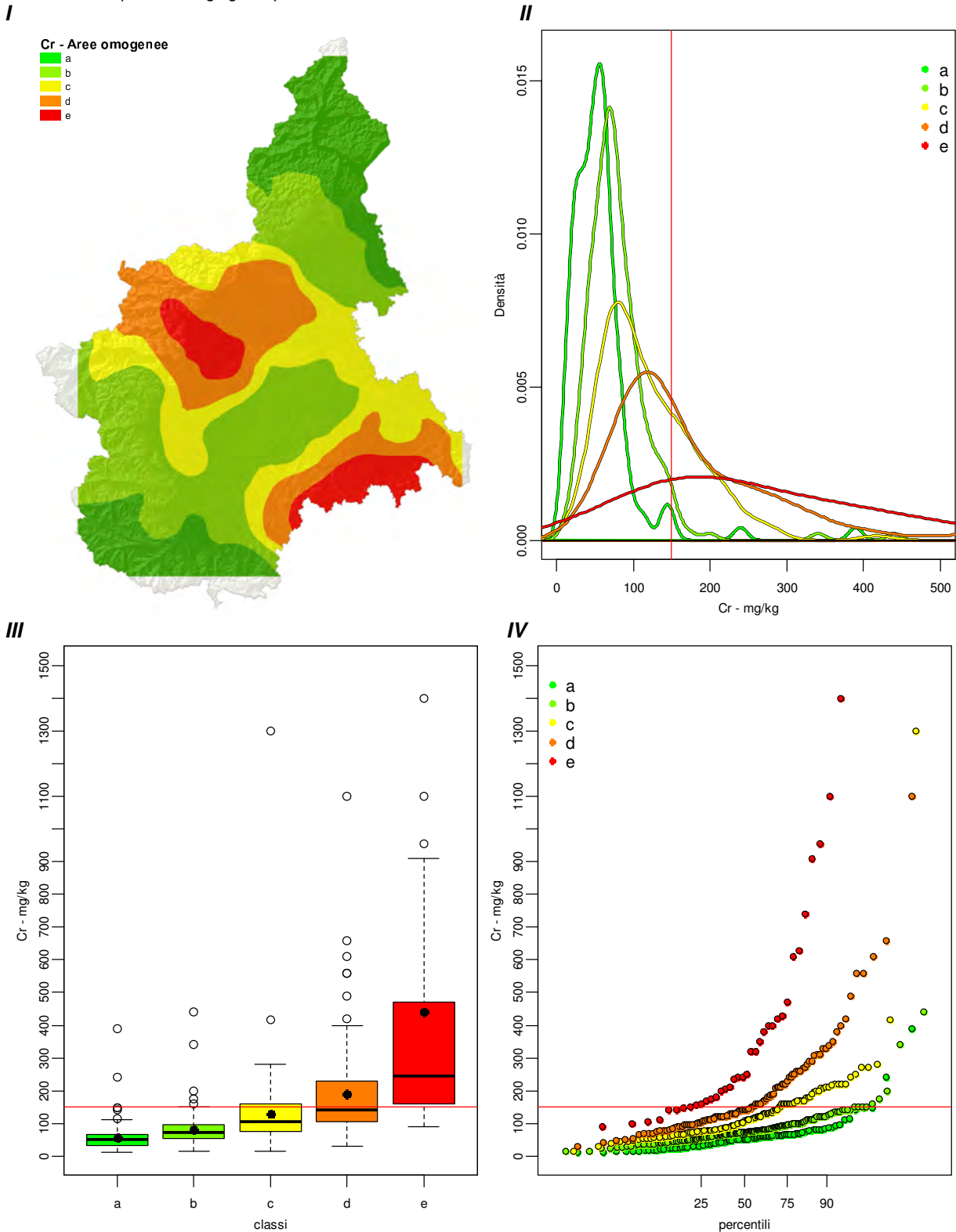
⁽¹⁾ Valore di fondo-naturale calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ =Q3+1,5*IQR, IQR=Q3-Q1.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Dicembre 2016).

Figura 3

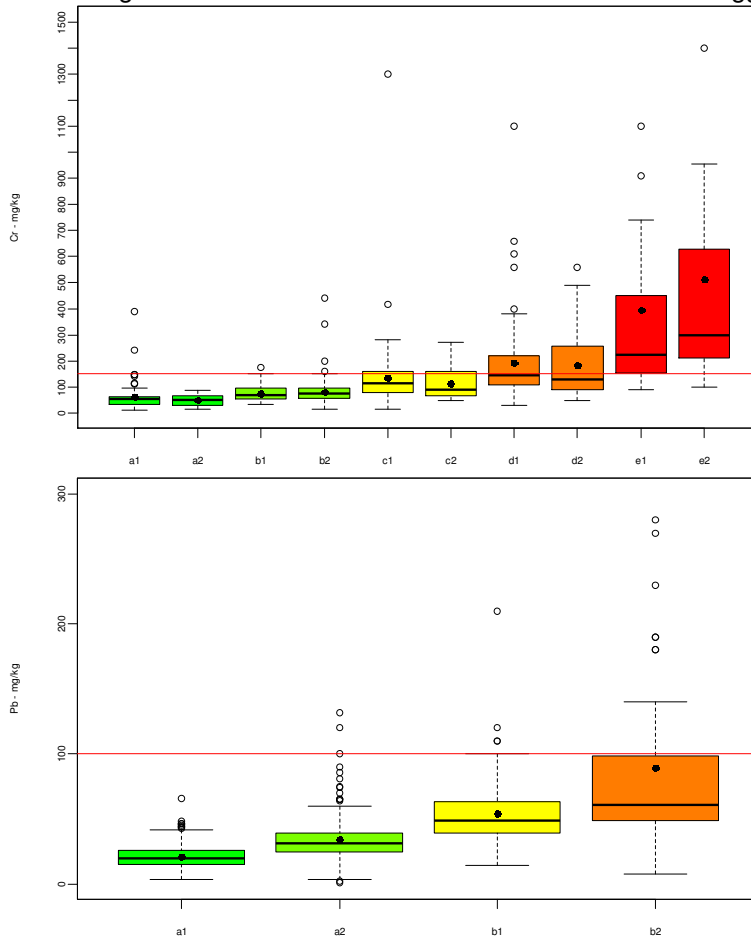
Elaborazione dei dati del Cromo (Cr)⁽¹⁾ per aree omogenee di concentrazione (a, b, c, d, e) e confronto con i limiti di legge⁽²⁾ (linee rosse). *I* - Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. *II* - Curve di distribuzione in mg/kg per densità. *III* - Box plot in mg/kg. *IV* - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in mg/kg con percentili.



⁽¹⁾ Elaborazione degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Figura 4

Box plot⁽¹⁾ della concentrazione di Cromo (Cr) e Piombo (Pb) in mg/kg nei suoli del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).

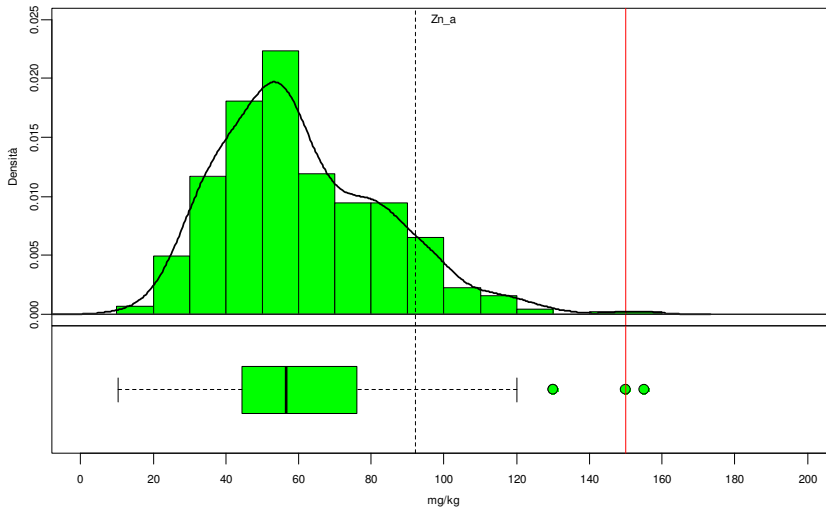


⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($>Q3+1,5 \cdot IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al di sotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Dicembre 2016).

Figura 5

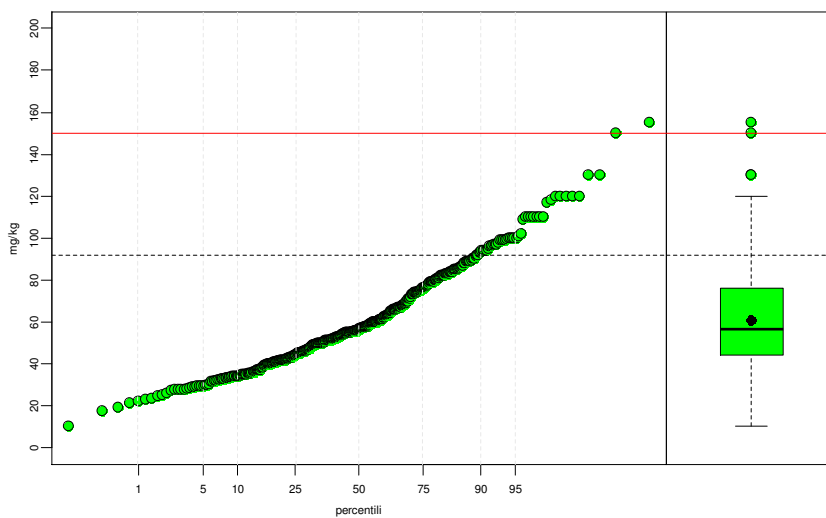
Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ della concentrazione di Zinco⁽¹⁾ in mg/kg per l'area omogenea di concentrazione Zn_a1, e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).



⁽¹⁾ Elaborazione degli orizzonti A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5 \cdot IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers.
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Dicembre 2016).

Figura 6

Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾ della concentrazione di Zinco⁽¹⁾ in mg/kg per l'area omogenea di concentrazione Zn_a1, e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).



⁽¹⁾ Elaborazione degli orizzonti A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5 \cdot IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers.
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Dicembre 2016).

Indici di contaminazione

La presenza e l'intensità di fenomeni di contaminazione da deposizione superficiale è stata quantificata attraverso appositi indici di contaminazione, che mettono in relazione le concentrazioni del contaminante rilevate alle diverse profondità di campionamento, basandosi sull'ipotesi che i contaminanti presenti nell'atmosfera si accumulano negli orizzonti superficiali dei suoli.

Per questo studio sono stati utilizzati per le singole stazioni di monitoraggio l'indice di arricchimento superficiale ed il fattore di arricchimento superficiale.

L'indice di arricchimento superficiale

L'indice di arricchimento superficiale permette di valutare la presenza e definire l'intensità di deposizione al suolo di un contaminante antropico attribuibile a fenomeni di deposizione superficiale, attraverso la quantificazione del rapporto tra concentrazione dell'orizzonte superficiale A e di quello profondo B.

Un indice di arricchimento superficiale < 1 indica una maggiore concentrazione dell'inquinante considerato in profondità, al contrario un indice di arricchimento superficiale > 1 , indica una concentrazione superiore in superficie attribuibile in prevalenza a fenomeni di deposizione superficiale da contaminazione antropica.

In particolare valori compresi tra 1.3 e 1.5 indicano presenza di contaminazione superficiale moderata, mentre valori superiori a 1.5 indicano presenza di contaminazione elevata.

Il fattore di arricchimento superficiale

Il fattore di arricchimento superficiale di un contaminante viene determinato attraverso la normalizzazione della sua concentrazione nell'orizzonte superficiale rispetto alla concentrazione di un elemento di riferimento. Per elemento di riferimento si intende un metallo particolarmente stabile nel suolo, caratterizzato cioè da assenza di mobilità verticale lungo il profilo e/o di fenomeni di degradazione superficiale, e per il quale viene verificata l'assenza di fenomeni di contaminazione antropica per tutte le stazioni di monitoraggio considerate. Tipici elementi di riferimento utilizzati in letteratura scientifica internazionale sono alluminio – Al, vanadio – V e stronzio – Sr.

Il fattore di arricchimento superficiale viene calcolato attraverso la formula:

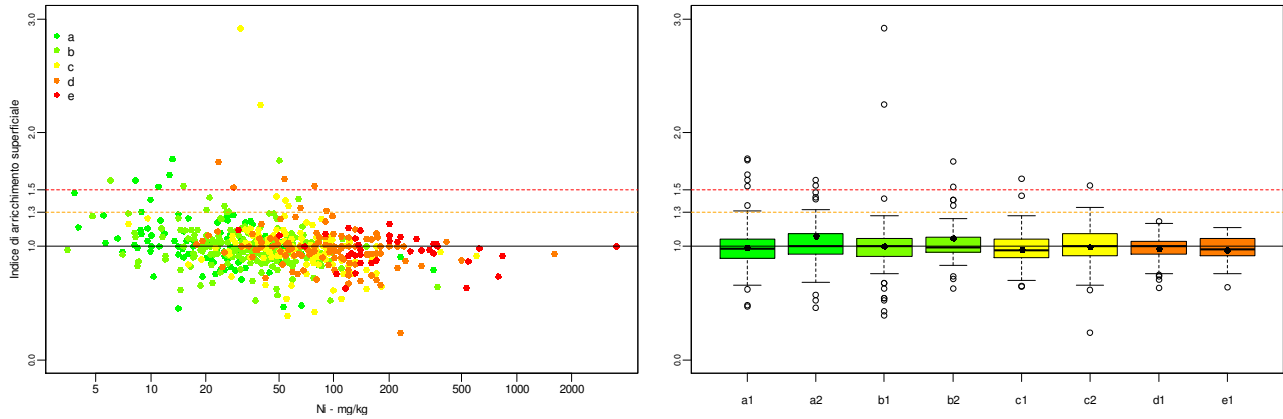
$$fA = \frac{\frac{X}{RE}}{\frac{X_{vf}}{RE_{vf}}}$$

dove X e RE sono rispettivamente il contenuto in mg/kg del contaminante considerato e dell'elemento di riferimento analizzato nell'orizzonte superficiale di ogni sito di monitoraggio; mentre X_{vf} e RE_{vf} sono i valori di fondo del contaminante considerato (Tabella 3, 4, 5) e dell'elemento di riferimento.

Valori di $fA > 1$ suggeriscono un arricchimento superficiale dell'elemento. In particolare $fA < 2$ indica un arricchimento superficiale basso, $fA = 2-6$ indica arricchimento superficiale moderato mentre un $fA > 6$ è attribuibile a presenza di arricchimento elevato.

Figura 7

Scatterplot (I) e Box plot (II) ⁽¹⁾ dell'indice di arricchimento superficiale ⁽²⁾ di Cromo (Cr) nei suoli del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione (a, b, c, d, e), e confronto con i limiti relativi a contaminazione diffusa moderata (linea orizzontale arancio – 1.3) ed elevata (linea orizzontale rossa – 1.5).

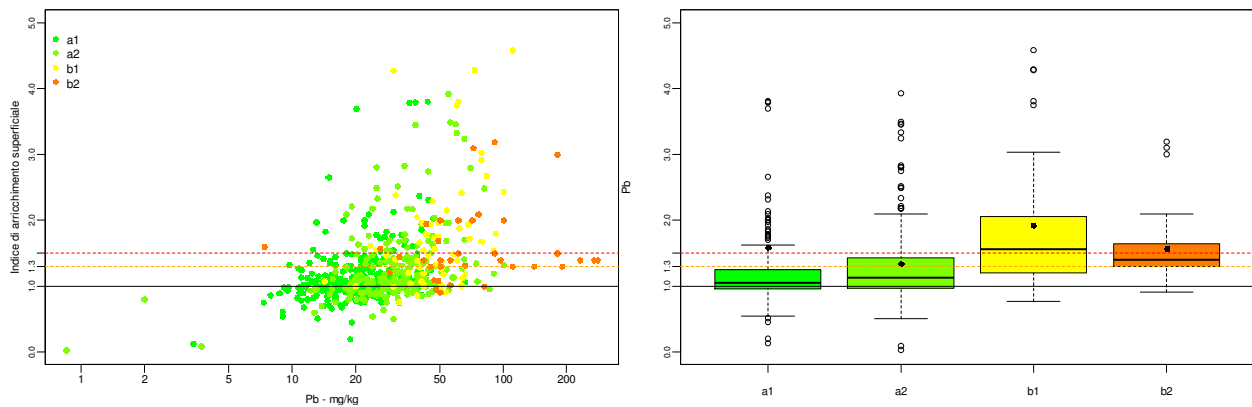


⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($>Q3 \pm 1,5 * IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Dicembre 2016).

Figura 8

Scatterplot (I) e Box plot (II) ⁽¹⁾ dell'indice di arricchimento superficiale ⁽²⁾ del Piombo (Pb) nei suoli del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione (a, b, c, d, e), e confronto con i limiti relativi a contaminazione diffusa moderata (linea orizzontale arancio – 1.3) ed elevata (linea orizzontale rossa – 1.5).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($>Q3 \pm 1,5 * IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Dicembre 2016).

Calcolo dei valori di fondo

I valori di fondo sono calcolati per aree omogenee di concentrazione in base agli standard internazionali stabiliti dalla normativa ISO 19258/2005 "Soil quality - Guidance on the determination of background values".

La normativa ISO 19258/2005 prevede la determinazione di due diverse tipologie di valore di fondo:

- "*contenuto di fondo di natura pedogeochemica o naturale del suolo*": concentrazione di elementi generata dai fattori caratteristici della pedogenesi, quali ad esempio la composizione ed alterazione della roccia madre.
- "*contenuto di background o fondo naturale-antropico*": concentrazione di un elemento riferito ad un tipo di suolo, localizzato in un'area o regione definita, che scaturisce dalla sommatoria delle concentrazioni apportate da sorgenti naturali e diffuse non naturali, quali ad esempio la deposizione atmosferica e le pratiche agronomiche.

Per i contaminanti la cui presenza nei suoli piemontesi è attribuibile in prevalenza a fonti di inquinamento puntuale o diffuso (deposizioni atmosferiche, distribuzione di fertilizzanti e pesticidi) è stato determinato il "*fondo naturale-antropico*" attraverso l'elaborazione delle concentrazioni degli orizzonti superficiali A (0-10 cm per i suoli naturali e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Per i contaminanti la cui origine nei suoli piemontesi è principalmente attribuibile al substrato litologico, è stato determinato il "*fondo naturale del suolo*" attraverso l'elaborazione delle concentrazioni degli orizzonti profondi B (20 cm al disotto del limite inferiore dell'orizzonte Ap e 30 – 60 cm per i suoli naturali).

La norma raccomanda l'utilizzo dei 10°, 25°, 50°, 75° e 90° percentili per rappresentare in maniera corretta la distribuzione delle concentrazioni.

La distribuzione dei dati che meglio approssima il campione (normale, log-normale, gamma, non parametrica) è valutata attraverso test statistici di Shapiro - Wilk e Anderson – Darling e metodi grafici (istogrammi di frequenza, curve cumulative di frequenza e box plot) e.

I valori di fondo per le aree omogenee di concentrazione sono considerati validi se rappresentati da un numero minimo di campioni stabilito prevalentemente in base alla distribuzione della popolazione.

Per popolazioni di dati con distribuzione normale è raccomandato l'utilizzo minimo di 30 campioni di suolo.

La distribuzione dei contaminanti organici ed inorganici nei suoli superficiali risulta però nella maggior parte dei casi non normale o log-normale con asimmetria positiva a causa della presenza di forme più o meno marcate di contaminazione diffusa o dalla elevata variabilità del suolo che nel caso di questo studio è accentuata dal monitoraggio effettuato a grande scala di dettaglio.

In caso di distribuzione non normale dei campioni, il numero minimo è stimato in base al numero di campioni, comunque sempre superiore a 30, sufficiente ad ottenere una curva di distribuzione di frequenza (Quantile plot, Percentile Plot) omogenea, uniforme e continua dei valori log trasformati.

Il valore di fondo dell'area omogenea di concentrazione individuata è attribuito al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali – *outliers*.

Gli outliers identificano campioni hot-spot che presentano concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria.

Sono individuati come outliers i valori $\geq Q3 + 1,5(Q3 - Q1)$ dove Q3 è il terzo quartile (corrispondente al 75° percentile), Q1 è il primo quartile (corrispondente al 25° percentile).

Al fine di evitare di includere campioni potenzialmente contaminati nel calcolo del valore di fondo, sono inoltre esclusi dalle elaborazioni i profili con fattore di arricchimento superficiale superiore a 3. In base a quanto raccomandato a livello internazionale e nazionale (Direttiva Quadro 2000/60/CE, ISS 04/15/04, World Health Organization etc...) i dati al disotto del limite di rilevabilità dello

strumento di analisi sono stati inclusi nelle elaborazioni statistiche utilizzando il metodo medium-bound, che attribuisce ai dati non rilevabili un valore pari a metà del limite di rilevabilità ($NR=LR/2$).

Principali risultati

I risultati dei modelli previsionali geostatistici hanno permesso di individuare sul territorio piemontese per i singoli contaminanti aree omogenee e aree critiche che presentano elevate concentrazioni di metalli pesanti associate ad alte probabilità (>50%) di superamento dei limiti di legge.

I risultati relativi alla valutazione della presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa per aree omogenee di concentrazione, hanno permesso di individuare due principali gruppi di contaminanti.

Un primo gruppo è rappresentato da metalli pesanti e metalloidi quali Cromo, Nichel, Cobalto, Arsenico, Berillio e Vanadio (Figura 9), che presentano sul territorio piemontese aree critiche con livelli di concentrazione elevati e alte probabilità di superamento dei limiti di legge (>50%), attribuibili in prevalenza alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine.

Questi contaminanti presentano aree omogenee di concentrazione di dimensioni elevate, differenze minime tra la concentrazione degli orizzonti superficiali e quelli profondi, indici di arricchimento prossimi all'unità con valori costanti all'aumentare della concentrazione e valori outliers con indici di arricchimento bassi ad indicare nel loro insieme assenza di fenomeni rilevanti di contaminazione diffusa di origine antropica.

Per questi contaminanti, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo naturale del suolo o di natura pedogeochimica*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Un secondo gruppo di contaminanti è rappresentato da metalli pesanti quali Piombo, Rame, Zinco, Stagno e Antimonio (Figura 10), che presentano sul territorio piemontese aree critiche con livelli di concentrazione elevati e alte probabilità di superamento dei limiti di legge (>50%), attribuibili in parte alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine (*natura pedogeochimica*) ed in parte a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica.

Questi contaminanti presentano aree omogenee di concentrazione di ampie dimensioni caratterizzate da bassi livelli di concentrazione ed aree di dimensioni ridotte caratterizzate da concentrazioni più elevate, con medie e valori di fondo comunque al disotto dei limiti di legge.

In queste aree sono riscontrate differenze significative tra la concentrazione degli orizzonti superficiali e quelli profondi, indici di arricchimento superiori all'unità con valori crescenti all'aumentare della concentrazione e valori outliers con indici di arricchimento elevati ad indicare nel loro insieme presenza di fenomeni di contaminazione diffusa di origine antropica.

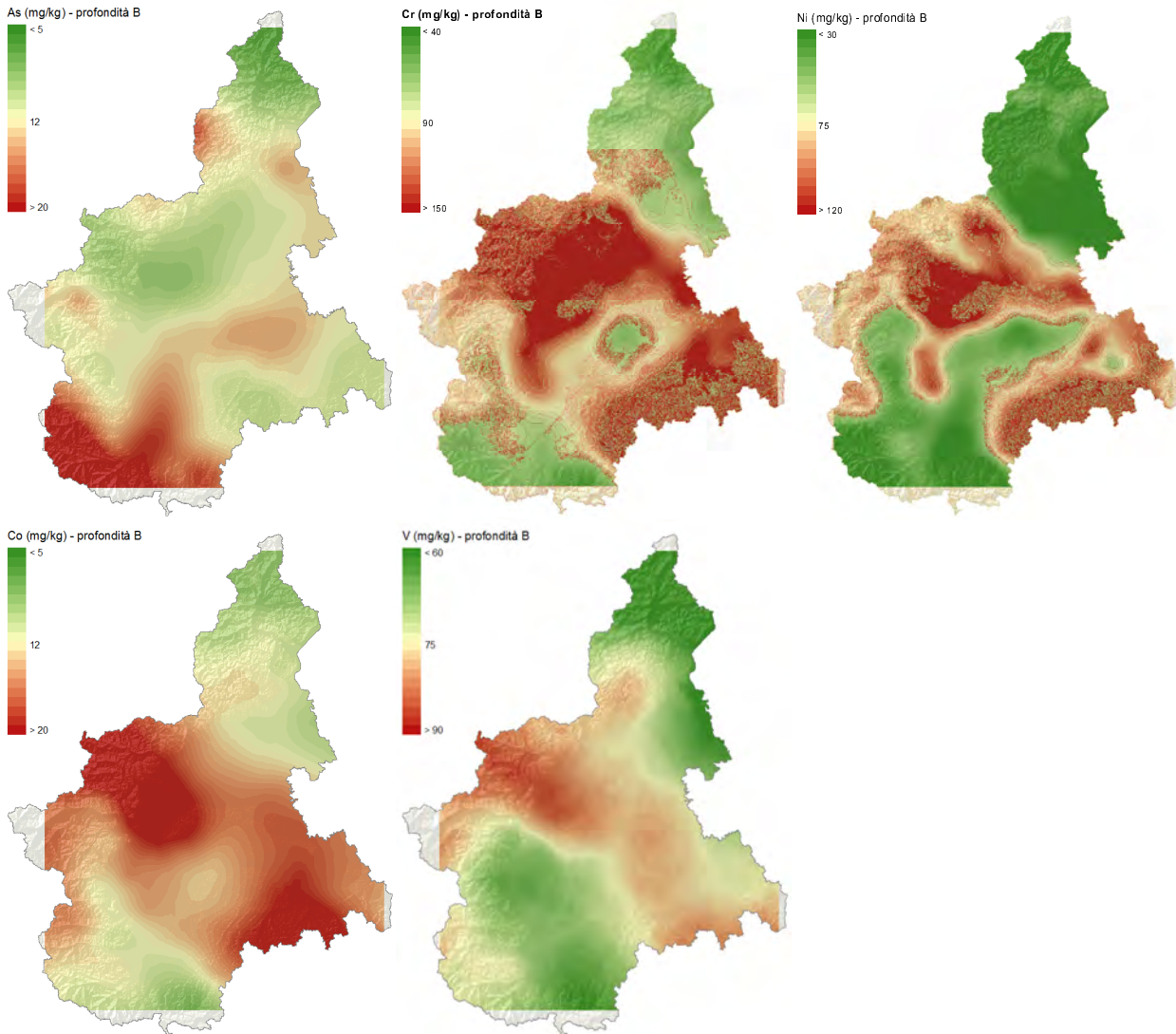
Per i contaminanti soggetti a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo di naturale - antropico*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli arati).

I risultati dello studio hanno inoltre permesso di individuare aree omogenee di concentrazione ed aree critiche per le quali i parametri statistici ed i valori di fondo calcolati non possono essere considerati statisticamente significativi, a causa del ridotto numero di campioni, dell'elevata variabilità statistica e/o della distribuzione asimmetrica, irregolare e discontinua dei campioni.

Per queste aree è auspicabile un infittimento dei campionamenti su maglia sistematica, dimensionato in base ai risultati delle mappe di previsione dell'errore standard che hanno individuato zone differenziate per qualità di predizione ed aree sottocampionate.

Figura 9

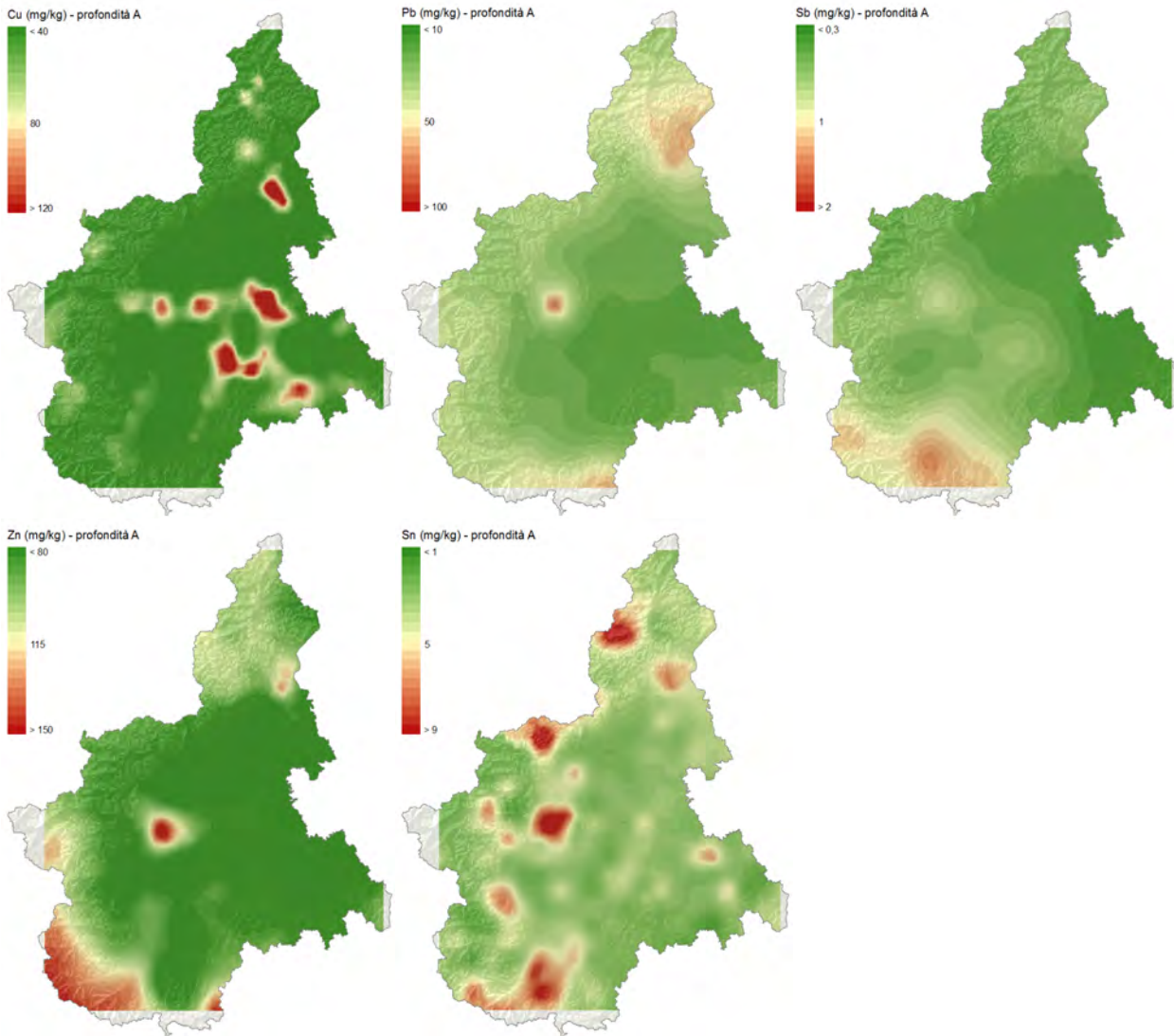
Spazializzazione della concentrazione di metalli pesanti⁽¹⁾ nei suoli⁽²⁾ del territorio piemontese, che presentano aree critiche attribuibili in prevalenza alla composizione chimica del substrato geologico.



⁽¹⁾ Arsenico (As), Cromo (Cr), Nichel (Ni), Cobalto (Co) e Vanadio (V). ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al di sotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Figura 10

Spazializzazione della concentrazione di metalli pesanti⁽¹⁾ nei suoli⁽²⁾ del territorio piemontese, che presentano aree critiche con elevate concentrazioni attribuibili in parte alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine (*natura pedogeochemica*) ed in parte a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica.



⁽¹⁾ Rame (Cu), Piombo (Pb), Antimonio (Sb), Stagno (Sn), e Zinco (Zn). ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Dicembre 2016).

Concentrazioni di Cromo, Nichel, Cobalto e Arsenico a scala regionale

Di seguito è riportata una relazione riassuntiva della concentrazione nei suoli superficiali di Cromo (Cr), Nichel (Ni), Cobalto (Co) e Arsenico (As) derivante dalle elaborazioni dei dati forniti dalla Rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte a scala regionale. Per ulteriori approfondimenti si rimanda alla relazione “Arpa Piemonte - Analisi ambientale sulla contaminazione diffusa del suolo del territorio regionale per la definizione dei valori di fondo per diverse categorie di inquinanti (<http://www.arpa.piemonte.gov.it/approfondimenti/temi-ambientali/suolo/relazione-suolo>).

In Figura 11, Figura 13, Figura 15 e Figura 17 sono riportati alcuni esempi di risultati ottenuti dalle elaborazioni dei campioni della rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte per Cromo (Cr) Nichel (Ni) e Cobalto (Co):

- I. Stazioni della rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte utilizzate per le elaborazioni statistiche e geostatistiche del contaminante, per classi di concentrazione.
- II. Stima della probabilità di superamento limite di legge (*D.Lgs. 152/06 per le aree verdi pubbliche e private - Colonna A*) in 30 classi di concentrazione, ottenuta tramite l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici (Probability kriging). Il valore massimo della scala, indicato in rosso, corrispondente ad una probabilità stimata di superamento del limite di legge maggiore del 50%.
- III. Stima della distribuzione spaziale del contaminante in 30 classi di concentrazione, ottenuta tramite l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici (Ordinary kriging). Il valore massimo della scala, indicato in rosso, corrispondente ad una concentrazione stimata del contaminante uguale o superiore al limite di legge stabilito dal *D.Lgs. 152/06 per le aree verdi pubbliche e private (Colonna A)*.
- IV. Rappresentazione delle aree omogenee di concentrazione del contaminante, individuate attraverso la rielaborazione e semplificazione dei risultati di modelli predittivi geostatistici. Le aree sono classificate in base alle probabilità crescenti di superamento del limite di legge stabilito dal *D.Lgs. 152/06 per le aree verdi pubbliche e private (Colonna A)*: classe a - verde scuro <5%, classe b – verde chiaro 5%-25%, classe c – giallo 25%-50%, classe d – arancio 50%-75%, classe e – rosso >75%.

In Figura 12, Figura 14, Figura 16 e Figura 18 sono riportati i Box plot della concentrazione in mg/kg per aree omogenee di concentrazione.

In Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 5 sono riportati statistica descrittiva (media, mediana, deviazione standard, valori minimi e valori massimi riscontrati), percentili, valori di fondo e confronto con i limiti di legge (*D.Lgs. 152/06 per le aree verdi pubbliche e private*) delle aree omogenee di concentrazione a scala regionale.

Per le elaborazioni sono stati utilizzati i campioni di suolo prelevati alla profondità 30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli.

I valori di fondo riportati sono stati calcolati in base agli standard internazionali stabiliti dalla normativa ISO 19258/2005 “Soil quality - Guidance on the determination of background values”.

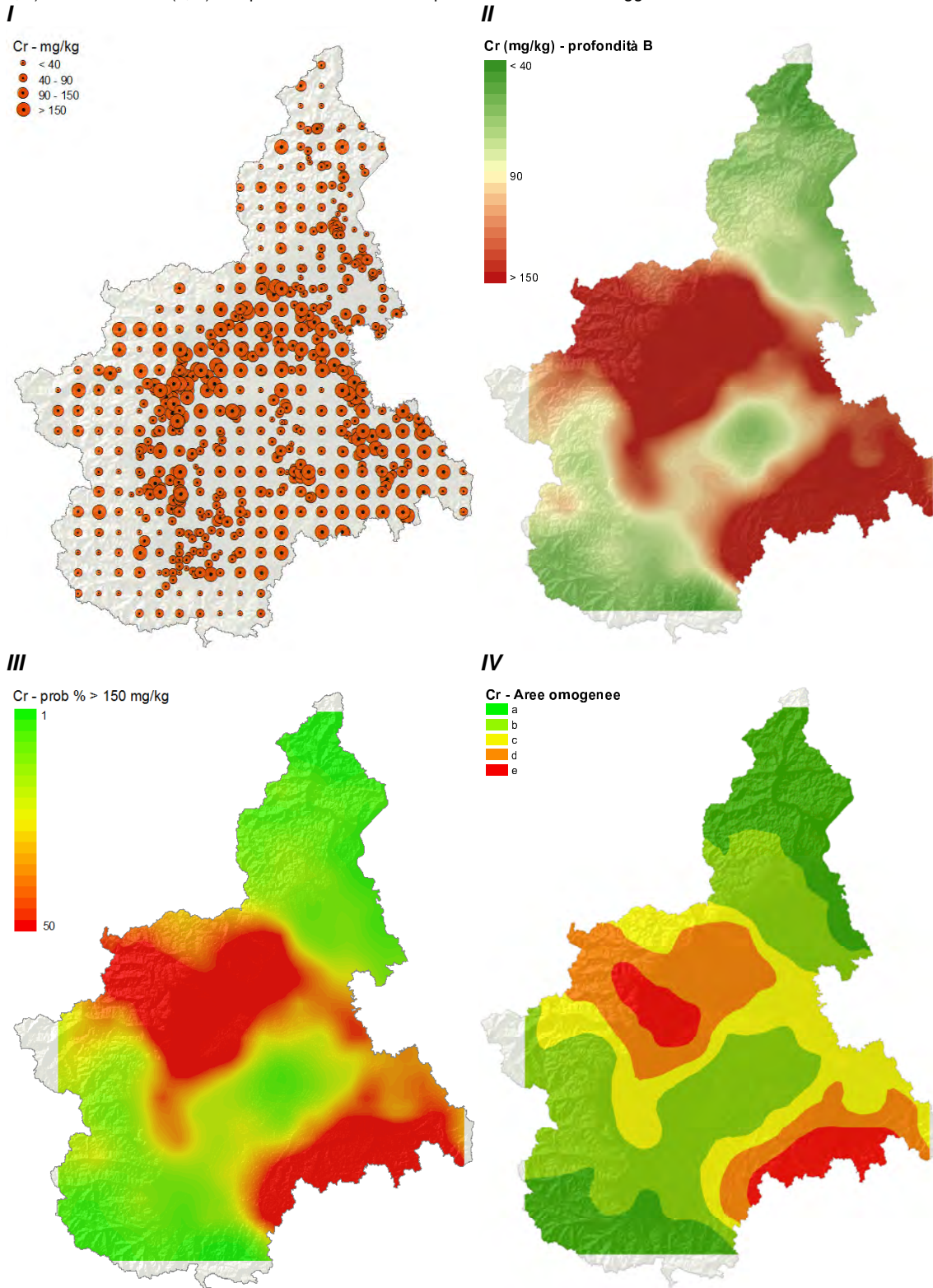
Al fine di evitare l'inclusione di campioni potenzialmente contaminati nel calcolo del valore di fondo, sono stati esclusi dalle elaborazioni i profili con valore del fattore di arricchimento superficiale superiore a 1,5 ed i valori outliers $outliers \geq Q3 + 1.5(Q3 - Q1)$.

La distribuzione dei dati che meglio approssima il campione (normale, log-normale, gamma, non parametrica) è stata valutata utilizzando metodi grafici (istogrammi di frequenza, curve cumulative di frequenza e box plot) e attraverso test statistici di Shapiro - Wilk e Anderson - Darling.

Per Cr, Ni, Co e As la cui origine è da attribuire in prevalenza alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine, è stato determinato il “contenuto di fondo di natura pedogeochimica o naturale del suolo” utilizzando i dati degli orizzonti B.

Figura 11

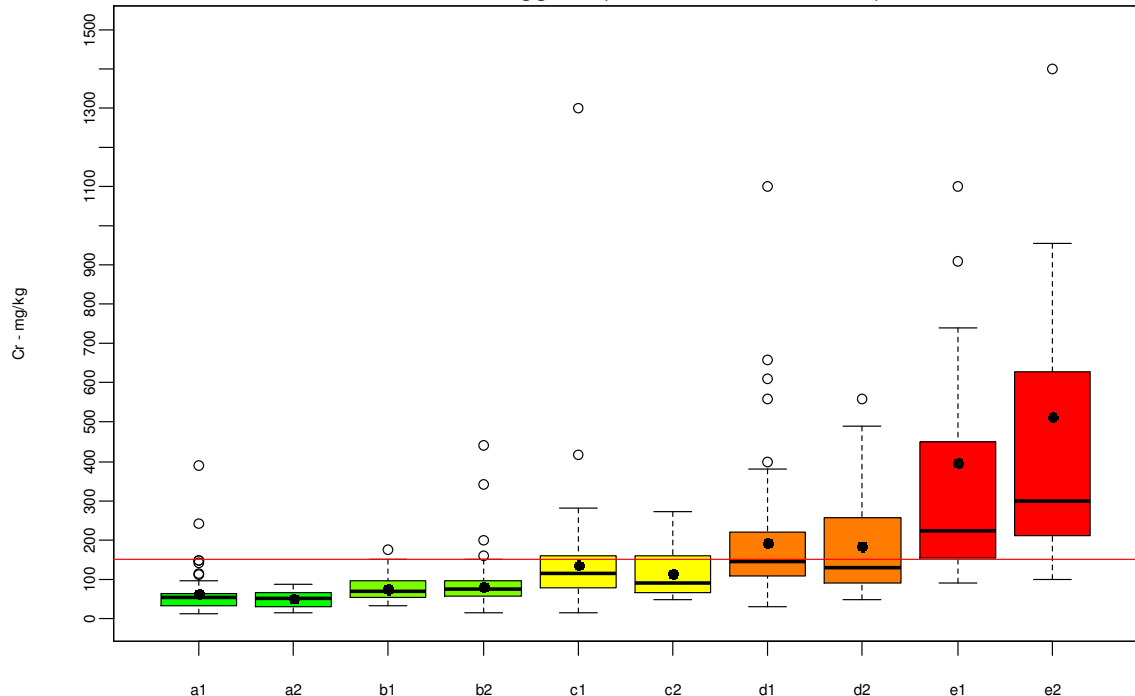
Spazializzazione della concentrazione di Cromo (Cr) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. *I* – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. *II* – Stima della concentrazione in mg/kg. *III* - Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. *IV* – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge ⁽²⁾.



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Figura 12

Box plot⁽¹⁾ della concentrazione di Cromo (Cr) in mg/kg nei suoli⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (>Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Dicembre 2016).

Tabella 3

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (150 mg/kg)⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati del Cromo (Cr) nei suoli⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		Cr_a1	Cr_a2	Cr_b1	Cr_b2	Cr_c1	Cr_c2	Cr_d1	Cr_d2	Cr_e1	Cr_e2
Media	mg/kg	61	49	76	81	137	113	191	183	397	515
Mediana	mg/kg	52	49	69	75	113	90	145	130	222	300
Dev. St	mg/kg	54	22	32	50	139	58	152	136	400	494
CV	-	0,9	0,4	0,4	0,6	1,0	0,5	0,8	0,7	1,0	1,0
Min	mg/kg	11	14	33	13	15	49	29	49	91	100
Max	mg/kg	390	86	174	440	1300	270	1100	560	1800	1700
25° percentile (Q1)	mg/kg	34	29	53	56	77	66	107	93	155	217
50° percentile	mg/kg	52	49	69	75	113	90	145	130	222	300
75° percentile (Q3)	mg/kg	64	65	95	95	160	160	220	253	440	573
90° percentile	mg/kg	97	81	126	120	210	197	310	363	859	1267
95° percentile	mg/kg	143	82	137	141	237	219	396	466	1072	1505
Soglia outliers ≥⁽⁵⁾	mg/kg	108	118	156	153	284	301	390	491	868	1107
Numero outliers	n	7	0	1	4	2	0	5	1	3	2
Valore di fondo⁽¹⁾	mg/kg	72	81	100	115	209	197	271	334 ⁽⁴⁾	470 ⁽⁴⁾	607 ⁽⁴⁾
Campioni	n	70	41	59	139	90	44	85	28	24	14
> Limite di legge⁽²⁾	n	2	0	1	4	26	12	40	10	19	12
	%	3	0	2	3	29	27	47	36	79	86

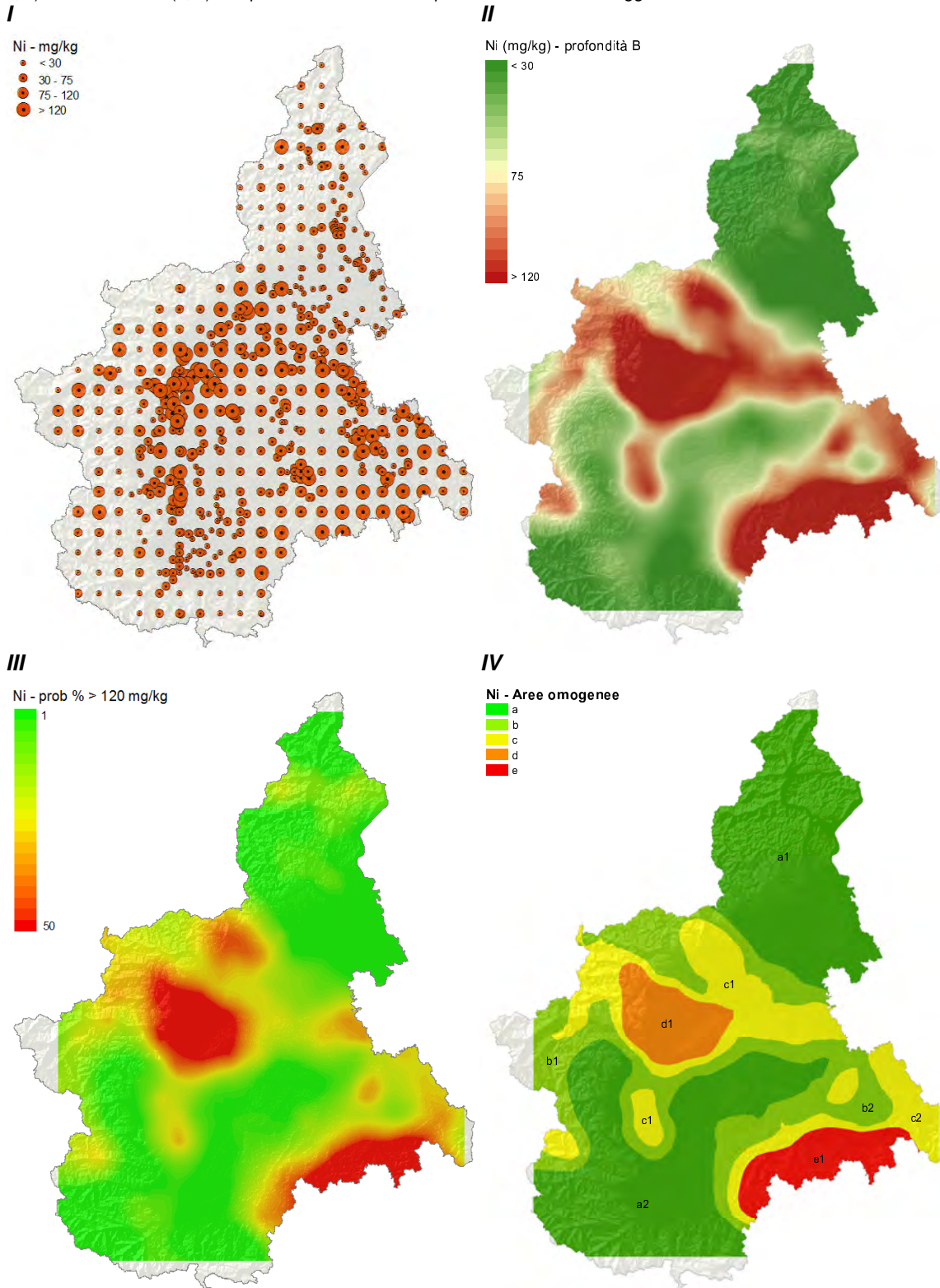
⁽¹⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ =Q3+1,5*IQR, IQR=Q3-Q1.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Dicembre 2016).

Figura 13

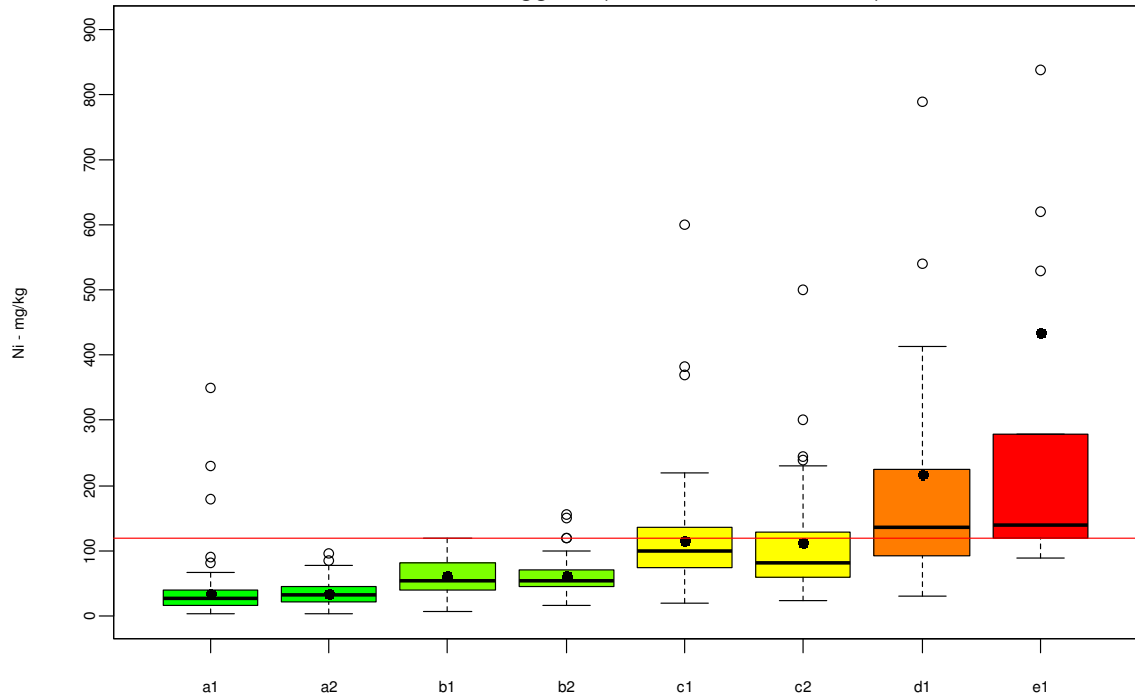
Spazializzazione della concentrazione di Nichel (Ni) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. *I* – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. *II* – Stima della concentrazione in mg/kg. *III* – Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. *IV* – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge⁽²⁾.



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Figura 14

Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione di Nichel (Ni) in mg/kg nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge ⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($>Q3+1,5 \cdot IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Tabella 4

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (120 mg/kg) ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati del Nichel (Ni) nei suoli ⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		Ni a1	Ni a2	Ni b1	Ni b2	Ni c1	Ni c2	Ni d1	Ni e1
Media	mg/kg	33	34	61	61	115	112	217	435
Mediana	mg/kg	27	32	54	55	100	80	136	140
Dev. St	mg/kg	38	17	28	30	79	95	250	819
CV	-	1,1	0,5	0,5	0,5	0,7	0,8	1,2	1,9
Min	mg/kg	4	4	8	15	19	23	30	89
Max	mg/kg	350	96	120	155	600	500	1600	3500
25° percentile (Q1)	mg/kg	15	21	39	44	73	60	92	120
50° percentile	mg/kg	27	32	54	55	100	80	136	140
75° percentile (Q3)	mg/kg	40	44	82	69	136	124	225	280
90° percentile	mg/kg	51	56	110	98	170	237	364	708
95° percentile	mg/kg	57	64	111	120	182	264	502	1371
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	77	79	147	108	230	219	424	520
Numero outliers	n	5	2	0	4	3	5	3	4
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	48	55	110	86	160	132 ⁽⁴⁾	344	262 ⁽⁴⁾
Campioni	n	143	142	77	49	85	34	47	17
> Limite di legge ⁽²⁾	n	3	0	0	2	31	9	29	12
	%	2	0	0	4	36	26	62	71

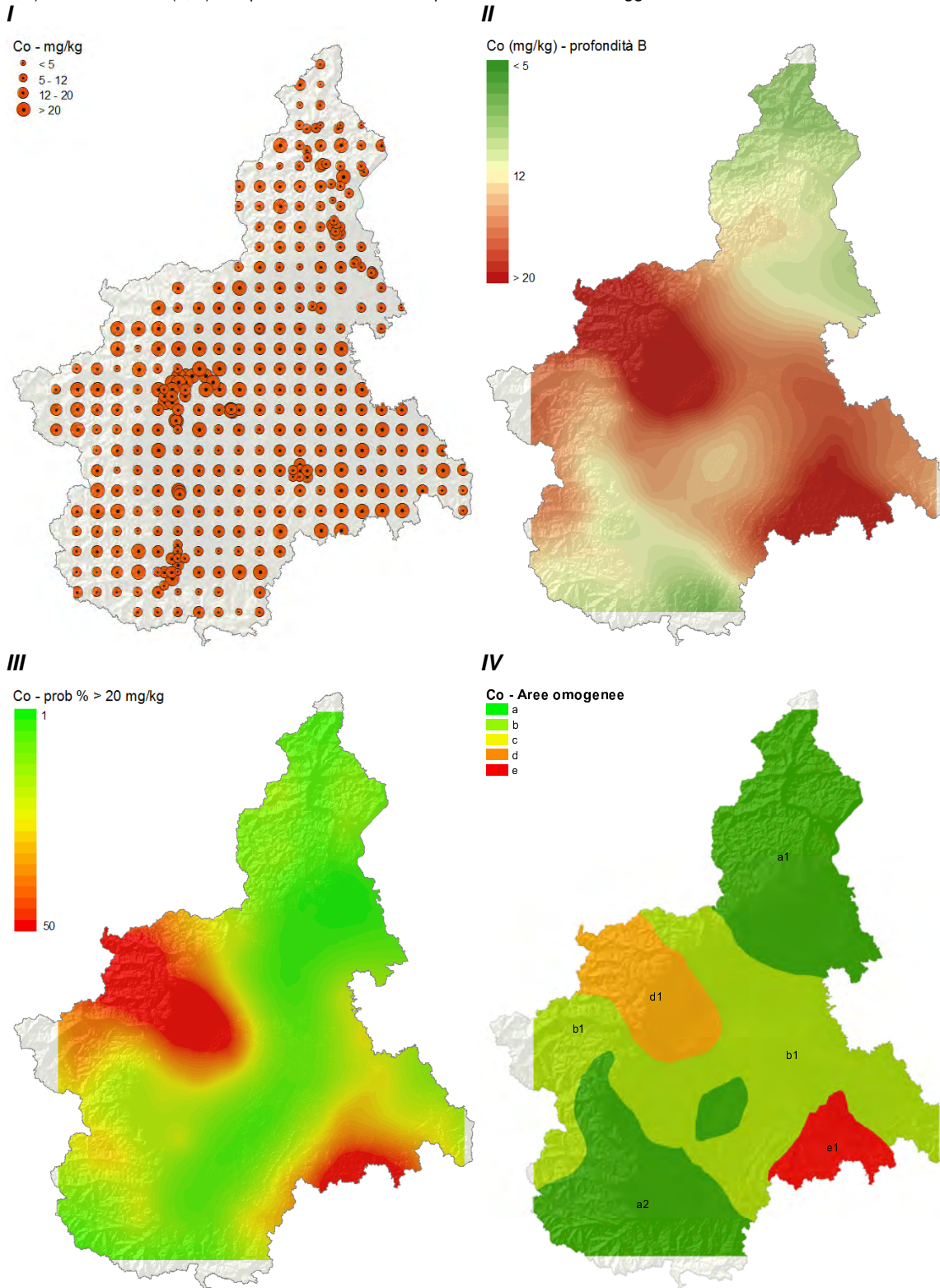
⁽¹⁾ Valore di fondo-naturale calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ $=Q3+1,5 \cdot IQR$, $IQR=Q3-Q1$.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Figura 15

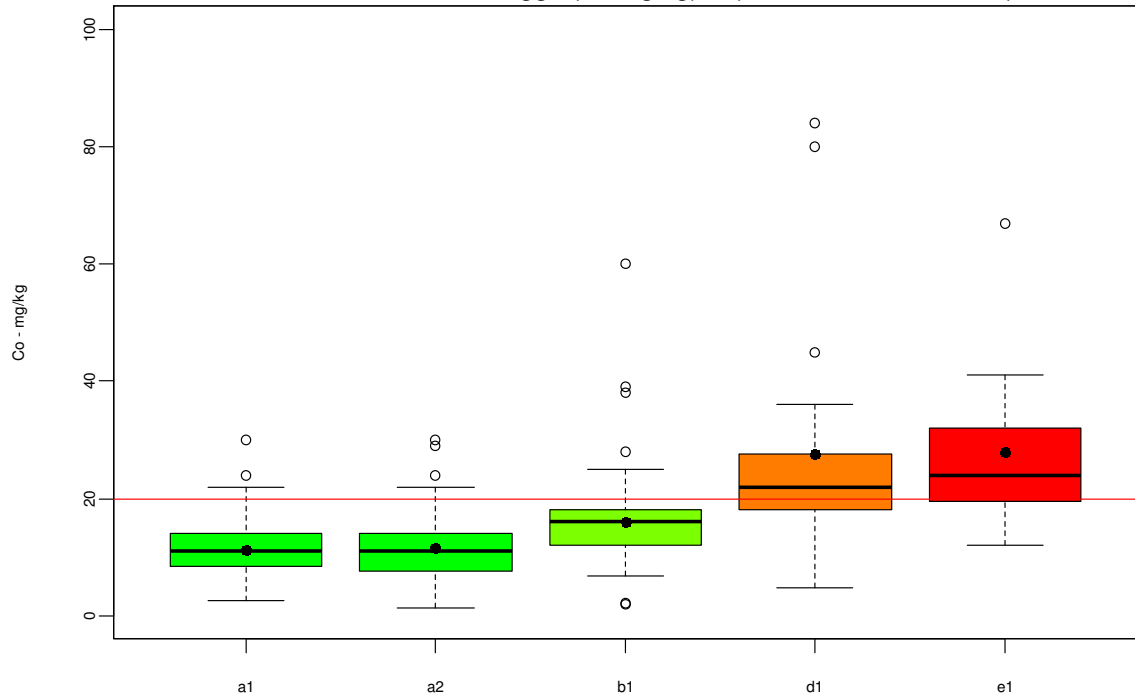
Spazializzazione della concentrazione di Cobalto (Co) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. *I* – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. *II* – Stima della concentrazione in mg/kg. *III* - Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. *IV* – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge ⁽²⁾.



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Figura 16

Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione di Cobalto (Co) in mg/kg nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge (20 mg/kg) ⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($>Q3+1,5 \cdot IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Tabella 5

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati del Cobalto (Co) nei suoli ⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		Co_a1	Co_a2	Co_b1	Co_d1	Co_e1
Media	mg/kg	11	12	16	28	28
Mediana	mg/kg	11	11	16	22	24
Dev. St	mg/kg	5	6	7	26	16
CV	-	0,4	0,5	0,4	0,9	0,6
Min	mg/kg	3	1	2	5	12
Max	mg/kg	30	30	60	160	67
25° percentile (Q1)	mg/kg	9	8	12	18	20
50° percentile	mg/kg	11	11	16	22	24
75° percentile (Q3)	mg/kg	14	14	18	28	32
90° percentile	mg/kg	18	18	22	36	41
95° percentile	mg/kg	19	21	24	76	54
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	22	24	27	42	51
Numero outliers	n	2	2	4	4	1
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	17	18	21	30 ⁽⁴⁾	39 ⁽⁴⁾
Campioni	n	89	72	130	43	11
> Limite di legge ⁽³⁾	n	4	6	23	25	8
	%	4	8	18	58	73

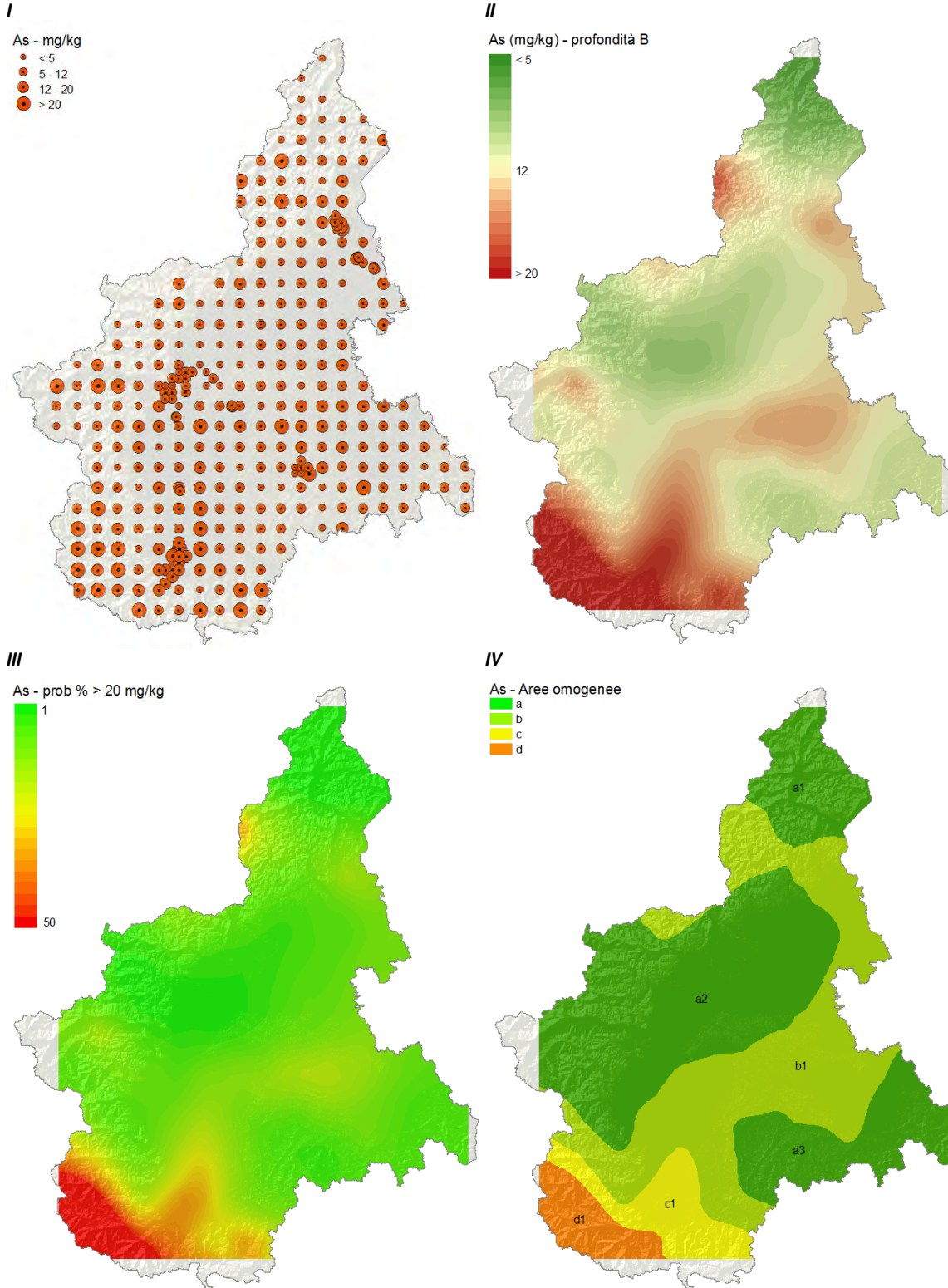
⁽¹⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ $=Q3+1,5 \cdot IQR$, $IQR=Q3-Q1$.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Figura 17

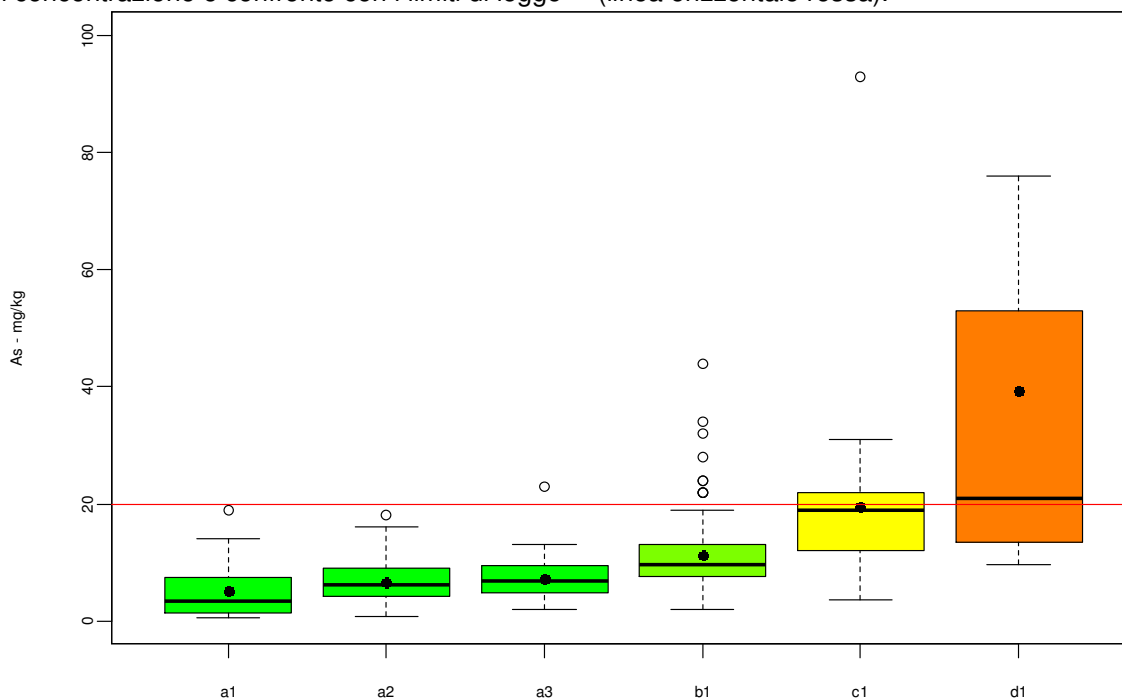
Spazializzazione della concentrazione dell'Arsenico (As) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. *I* – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. *II* – Stima della concentrazione in mg/kg. *III* – Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. *IV* – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge⁽²⁾.



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al di sotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Figura 18

Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione di Arsenico (As) in mg/kg nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge ⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($>Q3+1,5 \cdot IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al di sotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Tabella 6

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (20 mg/kg) ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati dell'Arsenico (As) nei suoli ⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		As_a1	As_a2	As_a3	As_b1	As_c1	As_d1
Media	mg/kg	5	7	7	11	20	39
Mediana	mg/kg	3	6	7	10	19	21
Dev. St	mg/kg	5	3	4	6	15	39
CV	-	0,9	0,5	0,5	0,6	0,8	1,0
Min	mg/kg	1	1	2	2	4	10
Max	mg/kg	19	18	23	44	93	120
25° percentile (Q1)	mg/kg	2	4	5	8	12	14
50° percentile	mg/kg	3	6	7	10	19	21
75° percentile (Q3)	mg/kg	7	9	10	13	22	53
90° percentile	mg/kg	11	11	10	17	29	102
95° percentile	mg/kg	14	13	11	22	30	120
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	16	16	17	21	37	112
Numero outliers	n	1	1	1	9	1	2
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	10	10	10	15	27 ⁽⁴⁾	66 ⁽⁴⁾
Campioni	n	22	104	37	117	33	15
> Limite di legge ⁽²⁾	n	0	0	1	9	13	8
	%	0	0	3	8	39	53

⁽¹⁾ Valore di fondo-naturale calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al di sotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ $=Q3+1,5 \cdot IQR$, $IQR=Q3-Q1$.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Concentrazioni di Cromo, Nichel e Arsenico per le aree omogenee che interessano il territorio dei comuni di Caprie, Bussoleno, Susa e Torrazza Piemonte.

In Tabella 7 sono individuate le aree omogenee di concentrazione di Cromo (Cr), Nichel (Ni) e Arsenico (As) che interessano il territorio dei comuni di Caprie, Bussoleno, Susa e Torrazza Piemonte, da utilizzare come riferimento per la concentrazione di contaminanti nei suoli e per i rispettivi valori di fondo.

I dati forniti fanno riferimento alla relazione "Arpa Piemonte - Analisi ambientale sulla contaminazione diffusa del suolo del territorio regionale per la definizione dei valori di fondo riguardanti diverse categorie di inquinanti"

(<http://www.arpa.piemonte.gov.it/approfondimenti/temi-ambientali/soilo/relazione-suolo>).

Tabella 7

Aree omogenee di concentrazione da utilizzare come riferimento per la concentrazione di contaminanti nei suoli che interessano il territorio dei comuni Caprie, Bussoleno, Susa, Torrazza

	Cromo	Nichel	Arsenico
Comune	Aree omogenee		
Caprie	Cr_d1	Ni_c1	As_a2
Bussoleno	Cr_c1	Ni_c1	As_a2
Susa	Cr_c1	Ni_c1	As_a2
Torrazza Piemonte	Cr_d1	Ni_c1	As_a2

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Dicembre 2016).

In Tabella 8 sono riportati statistica descrittiva, percentili, valori di fondo, confronto con i limiti di legge e conteggio di campioni analizzati per le aree omogenee considerate.

Nelle Figure da 19 a 22 sono riportati parametri statistici e grafici di distribuzione della concentrazione (mg/kg):

- I. Istogramma della distribuzione (densità) per classi di concentrazione (mg/kg), curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot in mg/kg, valori di fondo (linea tratteggiata nera) e limiti di legge (linea continua rossa) stabilito dal *D.Lgs. 152/06* per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Colonna A*).
- II. Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo e superamenti dei limiti di legge.
- III. Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili, box plot, valori di fondo (linea tratteggiata nera) e limiti di legge (linea continua rossa).

L'area omogenea di concentrazione Cr_d1 è caratterizzata da valori medi (191 mg/kg) e mediani (145 mg/kg) elevati con superamento dei limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 (aree verdi pubbliche e private 150 mg/kg) al 75° percentile e valori di fondo stimati di 271 mg/kg.

L'area omogenea di concentrazione Cr_c1 è caratterizzata da valori medi (137 mg/kg) e mediani (113 mg/kg) abbastanza elevati con superamento dei limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 (aree verdi pubbliche e private - 150 mg/kg) al 75° percentile e valori di fondo stimati pari a 209 mg/kg.

L'area omogenea di concentrazione Ni_c1, caratterizzata da valori medi (115 mg/kg) e mediani (100 mg/kg) abbastanza elevati con superamento dei limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 (aree verdi pubbliche e private - 120 mg/kg) al 75° percentile, ha valori di fondo stimati pari a 160 mg/kg.

L'area omogenea di concentrazione As_a2, caratterizzata da valori medi (7 mg/kg) e mediani (6 mg/kg) bassi e valori di fondo stimati pari a 10 mg/kg.

L'elevato livello di correlazione tra i contaminanti, evidenziato dall'indice di Pearson (Cr – Ni =0,94, Cr – Co= 0,90, Co – Ni=0,82), dai grafici a dispersione e dai risultati della Principal Component Analysis, supportano l'ipotesi relativa alla prevalente origine naturale di Cr, Ni e Co.

Le concentrazioni leggermente elevate riscontrate nella zona in oggetto, possono quindi essere attribuite in prevalenza alla presenza di affioramenti di rocce ultramafiche (serpentiniti), situati in prossimità dell'arco alpino e naturalmente ricche di Cr, Ni e Co, che determinano una notevole

influenza sui suoli che evolvono su di esse e/o sui depositi alluvionali dei corpi idrici che li attraversano.

E' di fondamentale importanza rilevare che le ipotesi riguardanti la presenza di elevate concentrazioni di Cr, Ni e Co attribuibili a prevalente origine naturale, sono state formulate attraverso l'analisi di una popolazione di dati statisticamente significativa a grande scala di dettaglio; a scala locale non è quindi possibile escludere a priori la presenza di contaminazione puntuale di origine antropica con concentrazioni anche inferiori a quelle indicate.

L'ottenimento di parametri statistici rappresentativi a scala di dettaglio locale è quindi vincolato ad un ulteriore approfondimento con monitoraggio di maggiore dettaglio ed eventuale analisi approfondite delle caratteristiche dei contaminanti (solubilità, biodisponibilità, effettiva tossicità) tramite speciazione.

Per una corretta interpretazione dei parametri statistici forniti e delle ipotesi formulate si rimanda al capitolo successivo "Raccomandazioni relative all'utilizzo dei dati".

Per l'approfondimento dei temi riguardanti l'interpretazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa da Cromo, Nichel, Cobalto e Arsenico si rimanda alla relazione allegata "Arpa Piemonte - Analisi ambientale sulla contaminazione diffusa del suolo del territorio regionale per la definizione dei valori di fondo riguardanti diverse categorie di inquinanti" che può essere scaricata direttamente dal sito dell'Arpa Piemonte.

Tabella 8

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati di Cromo (Cr), Nichel (Ni) e Arsenico (As) per aree omogenee di concentrazione dei suoli ⁽³⁾ che interessano il territorio dei comuni di Casale Monferrato, Castellar Guidobono, Monleale, Viguzzolo, Volpedo e Volpigliano.

Aree omogenee		Cr_d1	Cr_c1	Ni_c1	As_a2
Media	mg/kg	191	137	115	7
Mediana	mg/kg	145	113	100	6
Dev. St	mg/kg	152	139	79	3
CV	-	0,8	1,0	0,7	0,5
Min	mg/kg	29	15	19	1
Max	mg/kg	1100	1300	600	18
25° percentile (Q1)	mg/kg	107	77	73	4
50° percentile	mg/kg	145	113	100	6
75° percentile (Q3)	mg/kg	220	160	136	9
90° percentile	mg/kg	310	210	170	11
95° percentile	mg/kg	396	237	182	13
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	390	284	230	16
Numero outliers	n	5	2	3	1
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	271	209	160	10
Campioni	n	85	90	85	
> Limite di legge ⁽²⁾	n	40	26	31	104
	%	47	29	36	0
					0

⁽¹⁾ Valore di fondo-naturale calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

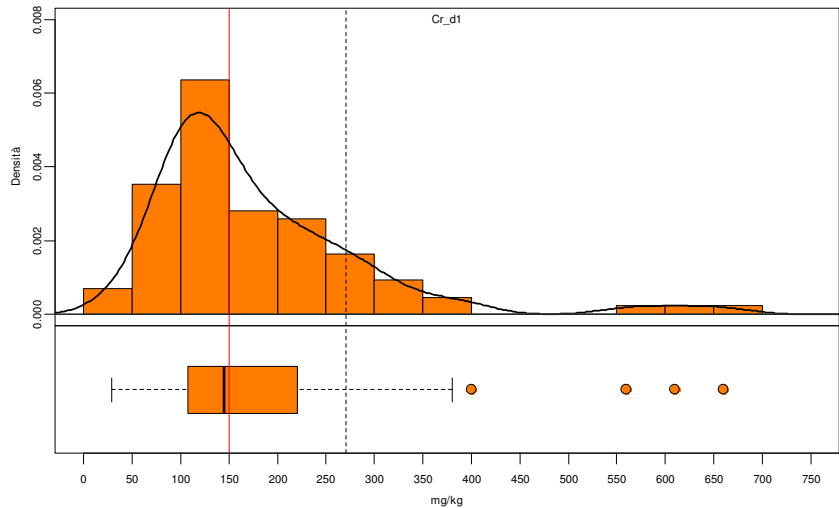
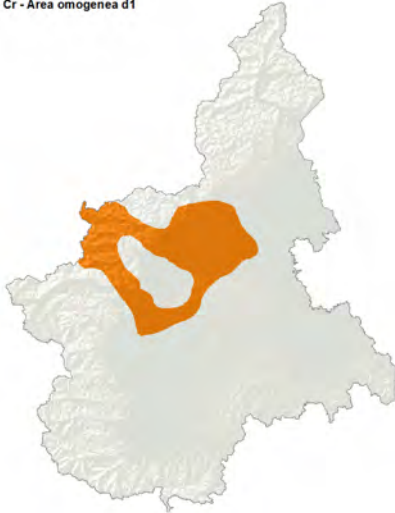
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Dicembre 2016).

Figura 19

Parametri statistici del Cromo (Cr)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione **Cr_d1** e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

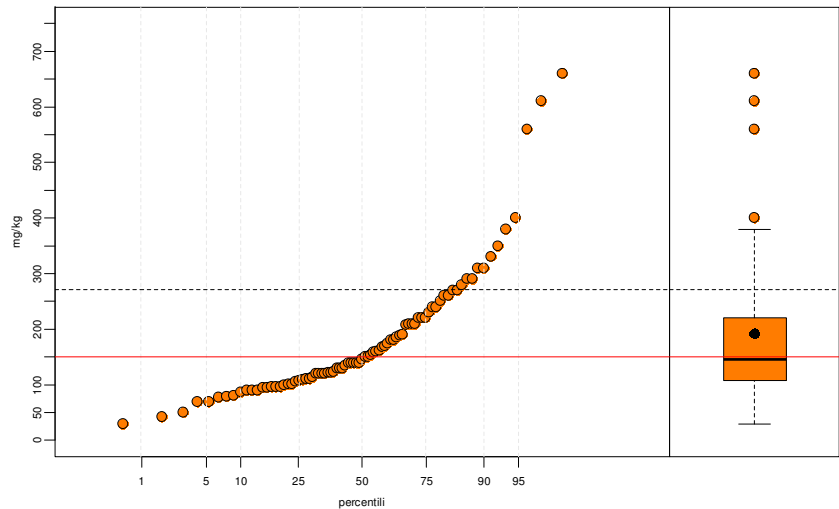
Cr - Area omogenea d1



III

Aree omogenee		Cr_d1
Media	mg/kg	191
Mediana	mg/kg	145
Dev. St	mg/kg	152
CV	-	0,8
Min	mg/kg	29
Max	mg/kg	1100
25° percentile (Q1)	mg/kg	107
50° percentile	mg/kg	145
75° percentile (Q3)	mg/kg	220
90° percentile	mg/kg	310
95° percentile	mg/kg	396
Soglia outliers ≥ ⁽⁵⁾	mg/kg	390
Numero outliers	n	5
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	271
Campioni	n	85
> Limite di legge ⁽³⁾	n	40
	%	47

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

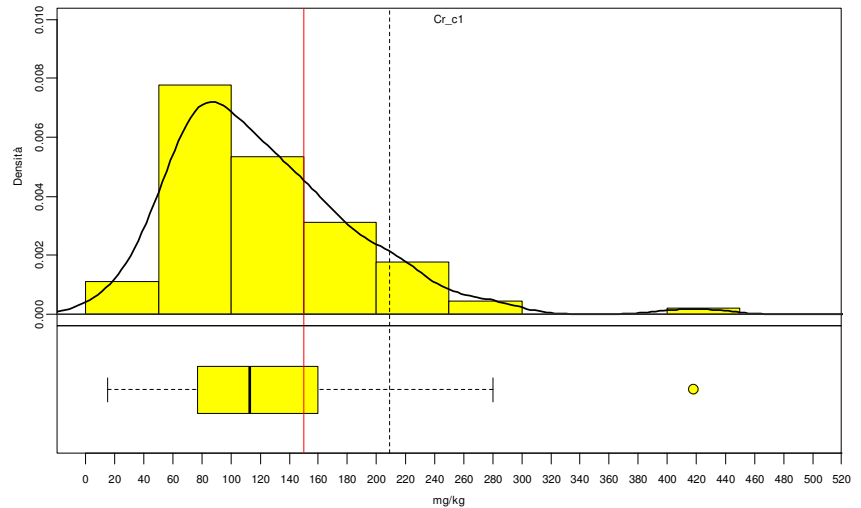
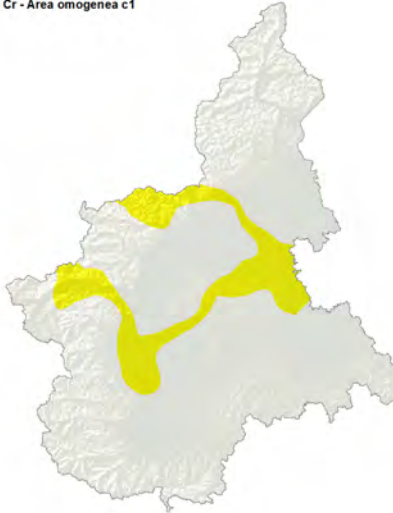
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Figura 20

Parametri statistici del Cromo (Cr)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione **Cr_c1** e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

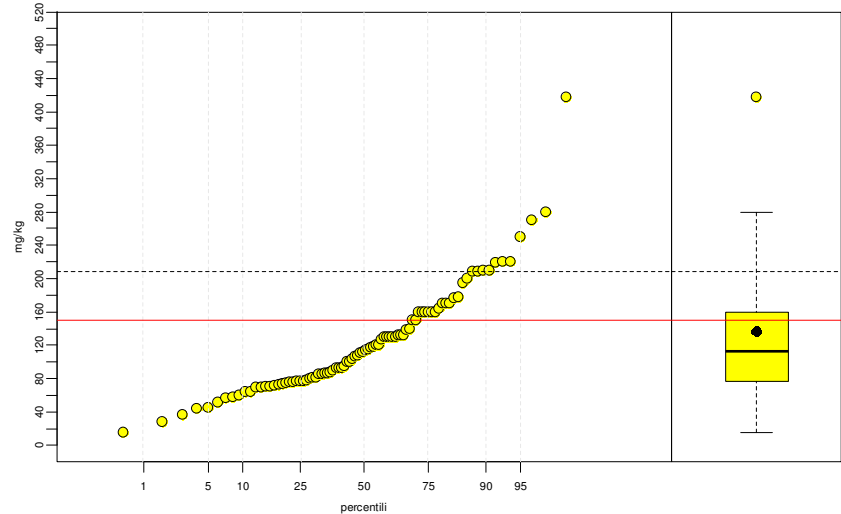
Cr - Area omogenea c1



III

Aree omogenee		Cr_c1
Media	mg/kg	137
Mediana	mg/kg	113
Dev. St	mg/kg	139
CV	-	1,0
Min	mg/kg	15
Max	mg/kg	1300
25° percentile (Q1)	mg/kg	77
50° percentile	mg/kg	113
75° percentile (Q3)	mg/kg	160
90° percentile	mg/kg	210
95° percentile	mg/kg	237
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	284
Numero outliers	n	2
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	209
Campioni	n	90
> Limite di legge ⁽³⁾	n	26
	%	29

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

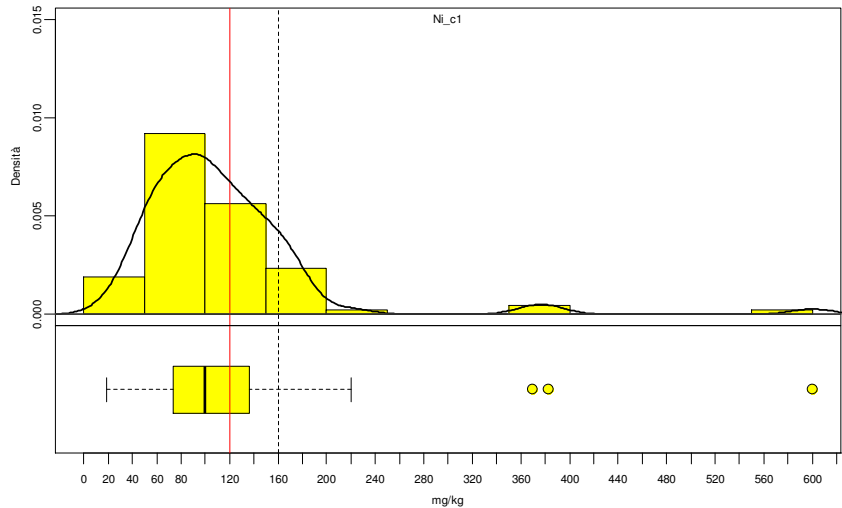
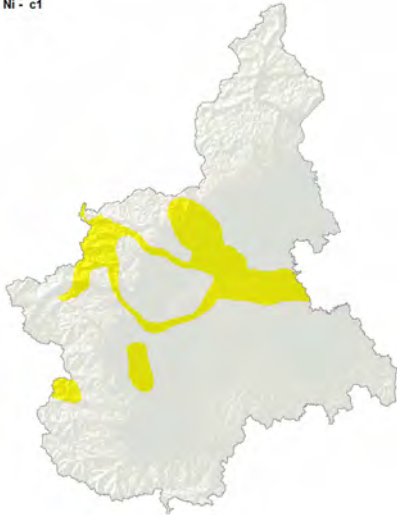
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Figura 21

Parametri statistici del Nichel (Ni)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione **Ni_c1** e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

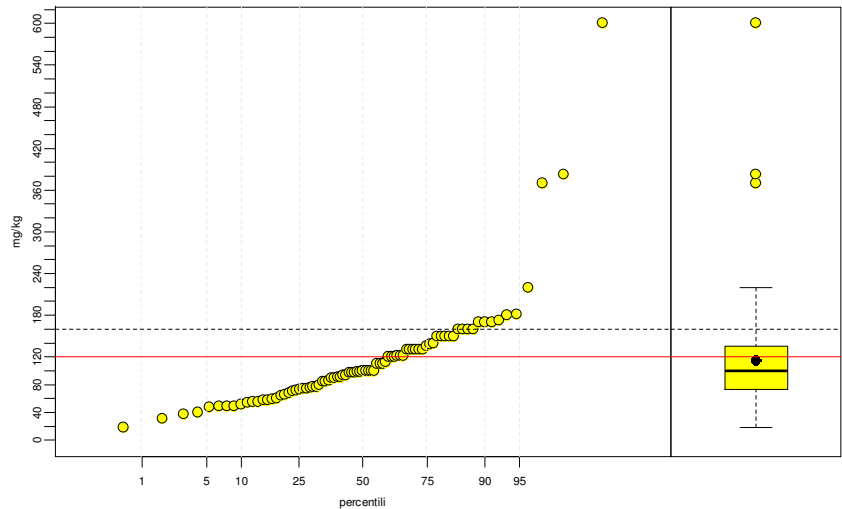
Ni - c1



III

Aree omogenee		Ni_c1
Media	mg/kg	115
Mediana	mg/kg	100
Dev. St	mg/kg	79
CV	-	0,7
Min	mg/kg	19
Max	mg/kg	600
25° percentile (Q1)	mg/kg	73
50° percentile	mg/kg	100
75° percentile (Q3)	mg/kg	136
90° percentile	mg/kg	170
95° percentile	mg/kg	182
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	230
Numero outliers	n	3
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	160
Campioni	n	85
> Limite di legge ⁽³⁾	n	31
	%	36

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

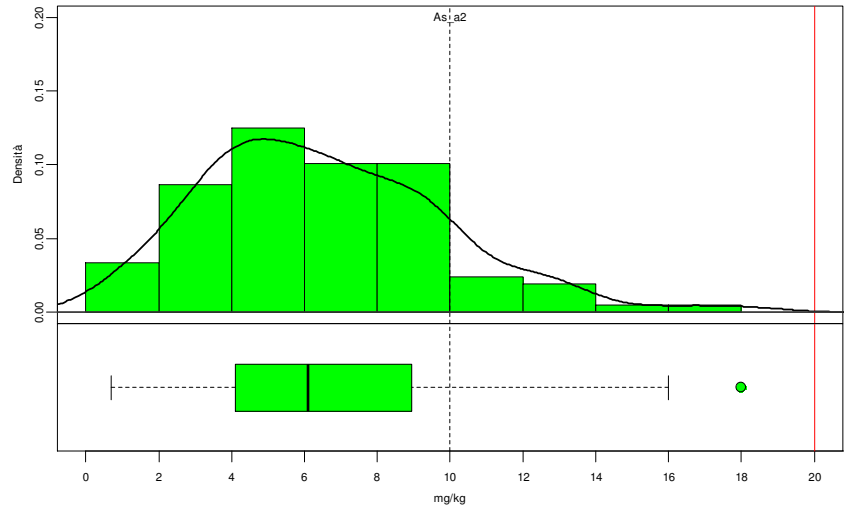
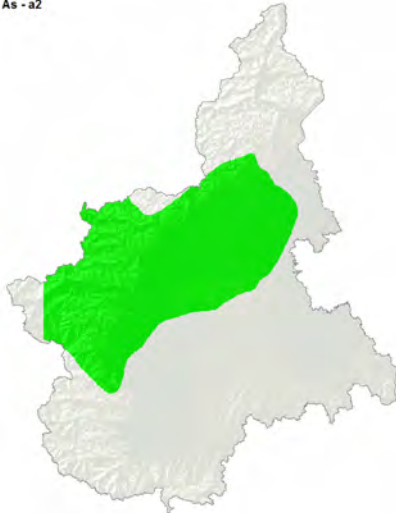
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Figura 22

Parametri statistici del Arsenico (As) ⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione **As_a2** e confronto con valori di fondo ⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge ⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot ⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot ⁽⁴⁾.

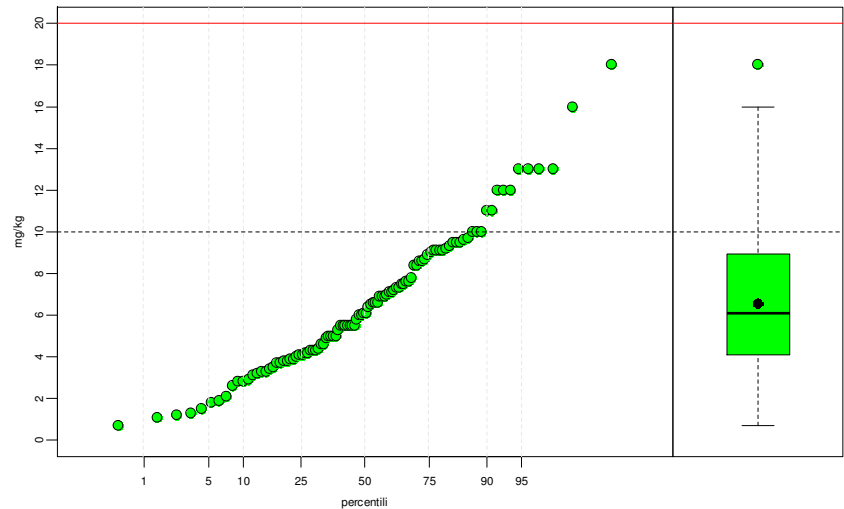
As - a2



III

Aree omogenee		As_a2
Media	mg/kg	7
Mediana	mg/kg	6
Dev. St	mg/kg	3
CV	-	0,5
Min	mg/kg	1
Max	mg/kg	18
25° percentile (Q1)	mg/kg	4
50° percentile	mg/kg	6
75° percentile (Q3)	mg/kg	9
90° percentile	mg/kg	11
95° percentile	mg/kg	13
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	16
Numero outliers	n	1
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	10
Campioni	n	104
> Limite di legge ⁽³⁾	%	0

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Dicembre 2016).

Raccomandazioni generali relative all'utilizzo dei dati

Le elaborazioni statistiche fornite dalla rete di monitoraggio per aree omogenee di concentrazione a scala regionale, rappresentano una fondamentale base conoscitiva scientifica di riferimento per attività correlate alla valutazione della qualità del suolo e dell'ambiente, alla pianificazione territoriale su ampia scala ed all'applicazione delle normative che riguardano la contaminazione del suolo. E' però di fondamentale importanza rilevare che i parametri statistici forniti, essendo elaborati a grande denominatore di scala e con un numero di campioni ridotto in relazione alla eterogeneità delle unità geologiche pedogenizzate, verosimilmente non sono attendibili a livello locale e/o comunale.

Per l'utilizzo e l'interpretazione dei dati è opportuno specificare che:

- I parametri statistici ed i valori di fondo forniti per area omogenea di concentrazione possono essere utilizzati come riferimento esclusivamente per lo strato superficiale interessato da processi chimici, fisici e biologici della pedogenesi e per una profondità coerente con le profondità di campionamento utilizzate nel presente studio (cfr. capitolo sul campionamento dei suoli pagg. 9 – 10);
- Le determinazioni analitiche in laboratorio condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm;
- La concentrazione fornita dalle elaborazioni si riferisce alla totalità dei materiali secchi della sola frazione inferiore a 2 mm, senza includere la frazione di scheletro 2 cm - 2 mm. I dati forniti dalla rete di monitoraggio non sono pertanto direttamente confrontabili con valori di concentrazione relativi a campioni riferiti alla totalità dei materiali secchi (comprensiva dello scheletro frazione 2 cm - 2 mm in base alle modalità previste dal D.Lgs. 152/06);
- I parametri statistici dall'area omogenea di concentrazione ricadente nella zona di interesse devono essere interpretati esclusivamente in termini probabilistici;
- Le rappresentazioni geostatistiche per aree omogenee di concentrazione dei singoli contaminanti sono da interpretare ad una scala di dettaglio indicativa pari a 1:250.000;
- Le concentrazioni dei contaminanti derivate da una o più stazioni di monitoraggio non possono essere considerate rappresentative del livello di contaminazione locale;
- L'ottenimento di parametri statistici rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale è vincolato ad un ulteriore approfondimento con monitoraggio di maggiore dettaglio;
- L'eventuale incongruenza della concentrazione del singolo dato rispetto a quella stimata può essere attribuito, oltre che alla scala di rappresentazione, alla bassa rappresentatività del punto rispetto alla popolazione di dati individuata all'interno dell'area omogenea;
- Nell'ambito delle indagini preliminari sito specifiche richieste dalla normativa riguardante la contaminazione dei suoli, i valori di fondo forniti dalla rete di monitoraggio sono da utilizzare esclusivamente come riferimento conoscitivo scientifico di base e non possono in nessun modo sostituire i valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06.

Utilizzo dei dati della rete nell'ambito del D.M. 10 agosto 2012 n. 161

Per quanto riguarda l'applicazione della normativa concernente le terre e rocce da scavo, l'allegato 4 del D.M. 10 agosto 2012 n. 161 cita: "Qualora si rilevi il superamento di uno o più limiti di cui alle colonne A e B Tabella 1 allegato 5, al Titolo V parte IV del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., è fatta salva la possibilità del proponente di dimostrare, anche avvalendosi di analisi e studi pregressi già valutati dagli Enti, che tali superamenti sono dovuti a caratteristiche naturali del terreno o da fenomeni naturali e che di conseguenza le concentrazioni misurate sono relative a valori di fondo naturale".

Per il territorio piemontese il riferimento ad "analisi e studi pregressi realizzati già valutati dagli Enti", può essere effettuato in prima battuta tramite confronto con i risultati della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli.

I risultati della rete dimostrano la presenza sul territorio piemontese di aree critiche caratterizzate da probabilità elevate di superamento dei limiti di legge (D.Lgs. 152/06 - Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A) attribuibili in prevalenza "a caratteristiche naturali del terreno" per: Cromo (Cr), Nichel (Ni), Cobalto (Co), Arsenico (As) e Vanadio (V).

E' opportuno specificare che l'utilizzo dei parametri di riferimento forniti della rete di monitoraggio per dimostrare che i superamenti dei limiti di legge riscontrati sono principalmente attribuibili a caratteristiche naturali del terreno, può essere effettuata esclusivamente per siti che ricadono nelle aree critiche contrassegnate con le lettere "d" e/o "e", caratterizzate da alte probabilità (>50%) di superamento dei limiti di legge.

Le ipotesi relative alla prevalenza origine naturale sono relative all'analisi di una popolazione di dati statisticamente significativa a grande scala di dettaglio. Nelle aree critiche non è quindi possibile escludere a priori la presenza di casi di superamento dei limiti di legge e/o valori di fondo proposti, riconducibili a contaminazione puntuale di origine antropica come del resto non è possibile escludere localmente la presenza di valori superiori al fondo determinato in termini probabilistici dovuto a cause naturali.

Occorre inoltre considerare che le elevate concentrazioni riscontrate nelle aree critiche, caratterizzate da concentrazioni medie e valori di fondo molto elevati, possono "mascherare" forme di contaminazione da deposizione superficiale anche di intensità rilevante.

Per i motivi sopra elencati, l'ottenimento di dati rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale, è sempre vincolato ad un ulteriore approfondimento con caratterizzazione di maggiore dettaglio ed eventuale speciazione dei metalli per meglio comprendere l'origine dell'elemento considerato.

Per l'interpretazione ed il confronto con i parametri statistici forniti dalla rete di monitoraggio per aree omogenee di concentrazione è opportuno considerare alcuni aspetti di fondamentale importanza:

- I parametri statistici ed i valori di fondo forniti per area omogenea di concentrazione possono essere utilizzati come riferimento esclusivamente per lo strato superficiale interessato da processi chimici, fisici e biologici della pedogenesi, per una profondità coerente con le profondità di campionamento utilizzate nel presente studio (cfr. capitolo sul campionamento dei suoli pagg. 9 – 10)..
- Le determinazioni analitiche in laboratorio sono condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm. La concentrazione del campione si riferisce alla totalità dei materiali secchi della sola frazione inferiore a 2 mm senza includere la frazione di scheletro 2 cm - 2 mm. I dati forniti dalla rete di monitoraggio non sono pertanto direttamente confrontabili con valori di concentrazione relativi a campioni riferiti alla totalità dei materiali secchi (comprensiva dello scheletro frazione 2 cm - 2 mm in base alle modalità previste dal D.M. 161/12).

Bibliografia

- Arpa Piemonte - Analisi ambientale sulla contaminazione diffusa del suolo del territorio regionale per la definizione dei valori di fondo per diverse categorie di inquinanti (Gabriele Fabietti, Piero Rossanigo - 2015).
- Assessment and spatial prediction of soil diffuse contamination by inorganic pollutants in the Province of Turin – northern Italy. 7th European congress on Regional GEOscientific cartography and Information systems. (Gabriele Fabietti, Renzo Barberis, Mattia Biasioli, 2012).
- An appraisal of soil diffuse contamination in an industrial district in northern Italy. Chemosphere 05/2012 (Mattia Biasioli, Gabriele Fabietti, Renzo Barberis e Franco Ajmone Marsan, 2012).
- Statistical and geostatistical large scale assessment of soil diffuse contamination by organic and inorganic pollutants. Tesi di dottorato (Gabriele Fabietti, 2012).
- Heavy metals and rare earth elements in soils of an Italian Province. Tools for assessing their origin and enrichment. ICOBTE 11th International conference on the Biogeochemistry of Trace Elements. (Gabriele Fabietti, Mattia Biasioli, Franco Ajmone Marsan, 2011).
- Soil Contamination by Organic and Inorganic Pollutants at the Regional Scale: the Case of Piedmont, Italy. Journal of Soils and Sediments 10 (2), 290-300. (Gabriele Fabietti, Mattia Biasioli, Renzo Barberis e Franco Ajmone Marsan, 2010).
- Integrating soil data and landscape metrics: a tool for soil management in urban and periurban areas. Uniscape European network of universities for the implementation of the European landscape convention. (Gabriele Fabietti, Mattia Biasioli, Franco Ajmone Marsan, 2010).
- La contaminazione diffusa da metalli pesanti, terre rare e contaminanti organici nei suoli della provincia di Torino. Società Italiana di Chimica Agraria – XXVIII congresso nazionale, 2010. (Gabriele Fabietti, Mattia Biasioli, Franco Ajmone Marsan, 2010).
- La contaminazione diffusa dei suoli torinesi. ISPRA Volume unico pag.33 – 40 ISBN 978-88-448-0387-2, 2009 (Gabriele Fabietti, Mattia Biasioli e Renzo Barberis, 2009).
- The Influence of a Large City on Some Soil Properties and Metals Content. Science of the Total Environment 356 (1-3), 154-164. (Mattia Biasioli, Renzo Barberis e Franco Ajmone Marsan., 2006).
- Elementi di progettazione della rete di monitoraggio del suolo a fini ambientali, 2004. TES-T-MAN-04-02

ALLEGATO 2
ESITI ANALISI CARATTERIZZAZIONE CUMULI CUNICOLO
MADDALENA

Esiti analisi caratterizzazione terreni (cunicolo Maddalena)

CUMULI (SU CAMPIONE TAL QUALE (FRAZIONE <2 mm) - DATI ESPRESSI SULLA TOTALITA' DEI MATERIALI SECCHI < 2 cm (105°C) COMPRESIVA DELLO SCHELETRO)																
da PK	a PK	Unità litologica	Litologia	piazzola e cumulo	scheletro	As	Cd	Co	Ni	Pb	Cu	Zn	Hg	Cr	Be	Se
km	km				g/kg	mg/kg										
colonna A					20	2	20	120	100	120	150	1	150	2	3	
colonna B					50	15	250	500	1000	600	1500	5	800	10	15	
-5,8	43,9	fg	ghiaia in matrice limosa	P1 - 1	442	7	<0,1	5,6	11	6	19	25	0,1	11	0,1	<1
43,9	72,2	gi	depositi glaciali	P2 - 2	490	5	<0,1	5	10	6	16	25	<0,1	8	0,1	<1
72,2	109,6	gi	depositi glaciali	P3 - 3	447	9	<0,1	5,3	13	6	17	23	<0,1	8	<0,1	<1
109,6	143,3	do	dolomie	P1 - 4	496	4	<0,1	2,6	7	2	5	18	<0,1	3	<0,1	<1
143,3	170,6	do	dolomie	P2 - 5	533	8	<0,1	3,2	9	8	8	21	0,1	6	0,1	<1
170,6	198,0	sci	micascisti	P1 - 6	473	11	0,1	4,1	13	6	34	23	<0,1	10	0,1	1
198,0	206,5	A	gneiss aplitici	P2 - 8	616	38	<0,1	4,5	11	5	19	18	<0,1	4	<0,1	<1
206,5	265,7	A	gneiss aplitici	P1 - 9	563	43	<0,1	1,1	7	5	39	5	0,5	2	0,2	<1
265,7	319,1	A	gneiss aplitici	P3 - 10	581	11	<0,1	0,6	<1	5	11	6	0,4	2	0,1	<1
319,1	356,5	A	gneiss aplitici	P2 - 11	486	7	<0,1	0,6	<1	4	2	7	0,2	1	0,2	<1
356,5	396,2	A	gneiss aplitici	P3 - 12	577	4	<0,1	<0,1	1	3	1	5	0,1	1	0,2	<1
396,2	434,5	A	gneiss aplitici	P2 - 13	559	4	<0,1	0,6	2	4	2	5	0,2	1	0,2	<1
434,5	472,3	A	gneiss aplitici	P3 - 14	580	13	<0,1	0,6	<1	4	3	5	0,1	1	0,1	<1
472,3	518,4	A	gneiss aplitici	P2 - 15	534	2	<0,1	0,5	<1	3	2	5	0,1	1	0,1	<1
518,4	580,3	A	gneiss aplitici	P3 - 16	509	2	<0,1	0,6	2	4	1	5	0,1	1	0,1	<1
580,3	675,1	A	gneiss aplitici	P2/P4-17	619	1	<0,1	0,4	23	3	1	5	0,1	6	<0,1	<1
675,1	741,4	A	gneiss aplitici	P3-18	478	1	<0,1	0,5	<1	4	1	5	0,1	1	0,2	<1
741,4	790,7	A	gneiss aplitici	P2-19	552	2	<0,1	0,6	1	3	2	5	<0,1	1	<0,1	<1
790,7	864	A	gneiss aplitici	P3-20	602	<1	<0,1	0,3	<1	3	1	5	0,1	<1	<0,1	<1
864	936,5	A	gneiss aplitici	P2/P4-21	503	1	<0,1	0,4	<1	3	1	5	<0,1	<1	<0,1	<1
936,5	1006	A	gneiss aplitici	P1-22	520	<1	<0,1	1	<1	3	3	5	0,1	1	0,1	1
1006	1071,5	A	gneiss aplitici	P3-23	616	1	0,1	<0,1	1	2	<1	<5	<0,1	1	0,1	<1
1071,5	1114,3	A	gneiss aplitici	P2-24	559	2	<0,1	0,4	2	3	1	<5	<0,1	3	0,2	<1
1114,3	1157,5	A	gneiss aplitici	P1-25	289	1	0,1	3,1	1	5	6	8	0,2	2	<0,1	<1
1157,5	1220,5	A	gneiss aplitici	P3-26	621	<1	<0,1	3,1	3	1	7	9	<0,1	2	0,1	<1
1220,5	1265,9	A	gneiss aplitici	P2-27	565	<1	<0,1	5,6	11	1	10	19	<0,1	9	<0,1	<1
1265,9	1329,4	A	gneiss aplitici	P3-28	587	1	<0,1	4	6	2	6	14	<0,1	6	<0,1	<1
1329,4	1383,4	A	gneiss aplitici	P2-29	711	1	<0,1	3,1	12	2	8	13	<0,1	4	0,1	<1
1383,4	1437,8	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-30	609	<1	<0,1	3	4	2	6	14	<0,1	3	0,1	<1
1437,8	1518	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-31	654	<1	<0,1	2,4	3	2	8	11	0,1	2	<0,1	<1
1518	1559,6	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-32	582	1	<0,1	5,1	7	3	12	19	0,3	5	0,1	<1
1559,6	1624,7	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-33	641	<1	<0,1	4,3	11	2	16	17	0,1	14	<0,1	<1
1624,7	1674,3	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-34	650	2	<0,1	7,8	23	3	14	22	0,5	26	0,1	<0,1
1674,3	1735	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-35	620	1	<0,1	4,5	11	2	11	12	0,5	6	<0,1	<1
1735	1809	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-36	628	1	<0,1	3,6	6	4	7	10	<0,1	4	<0,1	<1
1809	1849,1	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-37	613	1	<0,1	3,4	6	1	8	6	<0,1	3	<0,1	<1
1849,1	1889,7	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-38	635	2	<0,1	5,3	9	1	9	8	<0,1	5	<0,1	<1
1889,7	1927,2	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-39	640	1	<0,1	3,9	9	1	8	6	<0,1	7	<0,1	<1
1927,2	1975,2	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-40	658	3	<0,1	3,6	7	2	8	9	<0,1	4	<0,1	<1
1975,2	2025	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-41	596	3	<0,1	6,7	11	3	5	9	<0,1	7	<0,1	<1
2025	2068	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-42	608	1	<0,1	9,6	13	4	21	30	<0,1	20	<0,1	<1
2068	2130	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-43	633	2	<0,1	4,4	8	3	11	11	<0,1	8	<0,1	<1
2130	2190,8	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-44	674	5	<0,1	5	10	1	11	10	<0,1	9	<0,1	<1
2190,8	2250,6	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-45	649	8	<0,1	9	18	4	20	40	<0,1	23	<0,1	<1
2250,6	2302,3	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-46	609	17	<0,1	7	19	3	18	23	<0,1	15	<0,1	<1
2302,3	2364,8	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-47	623	8	<0,1	5,8	13	3	13	38	<0,1	16	0,1	<1
2364,8	2398,9	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-48	646	2	<0,1	5,6	17	3	18	18	<0,1	21	<0,1	<1
2398,9	2458,4	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-49	637	3	<0,1	7,7	10	4	13	25	<0,1	10	0,1	<1
2458,4	2505,4	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-50	625	6	<0,1	5	16	4	13	18	<0,1	19	<0,1	<1
2505,4	2549,9	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-51	660	5	0,1	4,2	13	4	15	43	<0,1	8	<0,1	<1
2549,9	2607	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-52	663	6	<0,1	3	6	3	22	20	<0,1	4	<0,1	<1
2607	2661,9	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-53	652	2	0,1	3,6	17	6	12	40	<0,1	10	0,1	<1
2661,9	2705,3	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-54	749	2	0,3	3	13	26	10	80	<0,1	8	<0,1	<1
2705,3	2760,3	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-55	673	2	<0,1	4	7	5	13	27	<0,1	6	<0,1	<1
2760,3	2808,2	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-56	625	<1	<0,1	4,9	11	2	10	27	<0,1	17	<0,1	<1
2808,2	2876,3	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-57	656	<1	<0,1	3,5	7	2	10	17	<0,1	9	<0,1	<1
2876,3	2917,4	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-58	650	2	<0,1	3,7	6	24	15	8	<0,1	4	<0,1	<1
2917,4	2973,2	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-59	656	1	0,1	2,8	3	4	8	44	<0,1	2	<0,1	<1
2973,2	3021,7	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-60	656	2	<0,1	2,5	2	2	7	6	<0,1	2	<0,1	<1
3021,7	3072,7	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-61	675	<1	<0,1	2,4	4	3	8	14	<0,1	2	<0,1	<1
3072,7	3124,9	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-62	628	1	<0,1	3,5	5	4	13	17	<0,1	3	<0,1	<1
3124,9	3181,4	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-63	674	<1	<0,1	2,7	4	4	9	17	<0,1	3	0,1	<1
3181,4	3234,4	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-64	680	<1	<0,1	2,3	3	5	9	14	<0,1	3	0,1	<1
3234,4	3295,6	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-65	626	4	<0,1	3,3	5	2	11	11	<0,1	5	0,1	<1
3295,6	3347,8	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-66	598	<1	<0,1	2,8	5	4	11	18	<0,1	5	0,1	<1
3347,8	3392,5	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-67	698	1	<0,1	2,7	4	2	10	5	<0,1	1	<0,1	<1
3392,5	3456,2	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-68	720	1	<0,1	2,9	4	6	9	13	<0,1	2	<0,1	<1
3456,2	3505,1	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-69	750	8	<0,1	4,9	4	6	17	5	0,1	2	<1	<1
3505,1	3535	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-70	773	2	<0,1	2,5	3	2	8	9	<0,1	3	0,1	<1
3535	3575,6	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-71	716	3	<0,1	2,8	4	3	8	13	<0,1	3	0,2	1
3575,6	3637,5	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-72	640	1	<0,1	3,2	4	5	10	21	<0,1	5	<0,1	<1
3637,5	3683,8	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-73	665	4	<0,1	3	4	2	9	15	<0,1	2	<0,1	<1

Esiti analisi caratterizzazione terreni (cunicolo Maddalena)

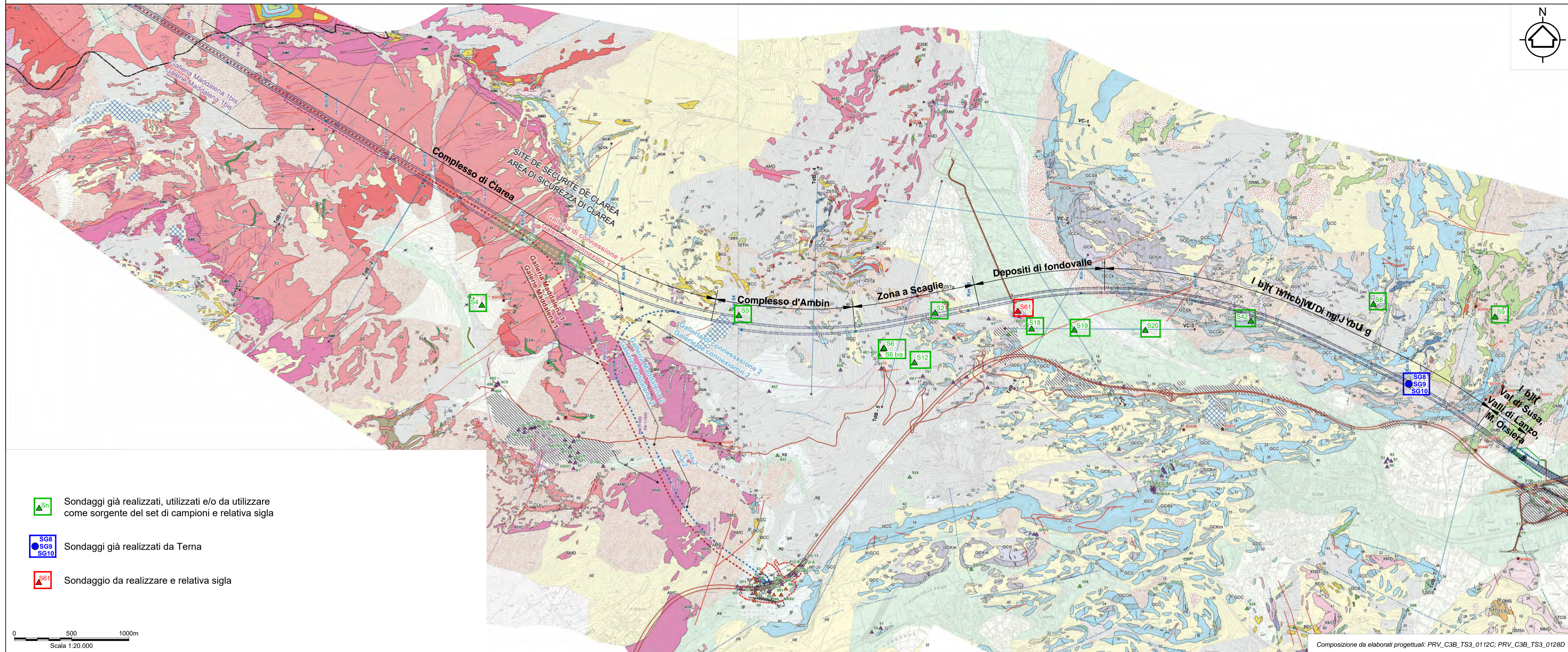
CUMULI (SU CAMPIONE TAL QUALE (FRAZIONE <2 mm) - DATI ESPRESSI SULLA TOTALITA' DEI MATERIALI SECCHI < 2 cm (105°C) COMPRESIVA DELLO SCHELETRO)																
da PK	a PK	Unità litologica	Litologia	piazzola e cumulo	scheletro	As	Cd	Co	Ni	Pb	Cu	Zn	Hg	Cr	Be	Se
km	km					g/kg	mg/kg									
colonna A						20	2	20	120	100	120	150	1	150	2	3
colonna B						50	15	250	500	1000	600	1500	5	800	10	15
3683,8	3725,1	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-74	684	7	<0,1	3,4	4	3	9	10	<0,1	2	<0,1	<1
3725,1	3784,4	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-75	700	1	<0,1	2,6	3	3	22	16	<0,1	2	<0,1	<1
3784,4	3833,9	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-76	709	2	<0,1	3,3	4	5	41	13	<0,1	3	0,1	<1
3833,9	3892,1	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-77	713	1	<0,1	2,4	9	6	7	9	<0,1	3	<0,1	<1
3892,1	3932	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-78	681	3	<0,1	3,8	10	5	13	17	<0,1	4	0,1	1
3932	3989	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-79	660	2	<0,1	2,8	7	3	11	12	<0,1	4	<0,1	<1
3989	4050,9	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-80	640	6	<0,1	3,7	7	6	12	12	<0,1	4	<0,1	<1
4050,9	4099	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-81	569	4	<0,1	3,4	5	3	13	13	<0,1	3	0,1	<1
4099	4151	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-82	666	2	<0,1	2,7	4	4	9	11	<0,1	3	0,1	<1
4151	4204	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-83	619	1	<0,1	4	10	3	11	18	<0,1	6	0,1	<1
4204	4248,7	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-84	567	<1	0,1	4,1	5	7	13	19	<0,1	6	0,1	<1
4248,7	4311,5	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-85	680	1	0,1	0,1	1	1	1	5	0	1	0,1	1
4311,5	4358	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-86	696	<1	<0,1	2,4	5	3	8	18	<0,1	4	<0,1	<1
4358	4403,9	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-87	731	4	<0,1	3,2	3	2	13	8	<0,1	2	<0,1	<1
4403,9	4457,9	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-88	704	5	0,1	4,8	6	15	15	35	<0,1	3	0,1	<1
4457,9	4499,7	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-89	812	5	<0,1	2,6	3	5	9	10	<0,1	2	<0,1	3
4499,7	4546	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-90	800	8	<0,1	2,5	3	3	11	10	<0,1	2	<0,1	<1
4546	4608,2	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-91	682	5	0	3,1	3	2	14	9	<0,1	2	<0,1	<1
4608,2	4648,9	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-92	715	<1	<0,1	2,1	5	4	9	12	<0,1	3	<0,1	<1
4648,9	4710,6	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-93	740	<1	<0,1	1,9	3	4	8	10	<0,1	2	<0,1	<1
4710,6	4753	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-94	707	<1	<0,1	2,8	4	5	13	13	<0,1	4	<0,1	<1
4753	4796	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-95	679	<1	<0,1	2,6	4	3	9	16	<0,1	3	<0,1	<1
4796	4841,1	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-96	780	2	<0,1	2,3	3	3	7	11	<0,1	2	<0,1	<1
4841,1	4900,1	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-97	667	12	<0,1	3,8	4	3	13	10	<0,1	3	0,1	<1
4900,1	4939,5	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-98	657	3	<0,1	3	4	2	8	11	<0,1	3	<0,1	<1
4939,5	4987,6	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-99	750	1	<0,1	2,1	3	2	8	11	<0,1	2	<0,1	<1
4987,6	5046,9	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-100	622	7	<0,1	3,7	11	2	14	9	<0,1	5	<0,1	<1
5046,9	5091,3	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-101	657	4	<0,1	3,2	5	2	9	8	<0,1	3	<0,1	<1
5091,3	5149,8	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-102	740	3	<0,1	4,4	9	4	12	7	<0,1	5	<0,1	<1
5149,8	5219,8	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-103	653	2	0,1	3,5	6	14	11	40	<0,1	4	0,1	<1
5219,8	5267	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-104	637	2	<0,1	3,2	5	6	11	7	<0,1	4	<0,1	<1
5267	5328,9	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-105	671	<1	<0,1	2,9	6	3	9	16	<0,1	5	0,1	<1
5328,9	5397,1	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-106	679	<1	<0,1	2,6	4	29	8	32	<0,1	3	<0,1	<1
5397,1	5447	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-107	622	4	<0,1	4,2	5	4	13	15	<0,1	4	<0,1	<1
5447	5499,5	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-108	476	1	<0,1	3,6	6	6	15	19	<0,1	5	<0,1	<1
5499,5	5566,3	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-109	648	3	0,1	4,4	5	29	11	57	<0,1	4	0,1	<1
5566,3	5615,3	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-110	659	2	<0,1	3,4	5	6	9	21	<0,1	4	<0,1	<1
5615,3	5666,3	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-111	602	3	<0,1	4,5	6	3	14	16	<0,1	4	0,1	<1
5666,3	5729,7	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-112	675	2	<0,1	3,1	5	3	8	14	<0,1	3	<0,1	<1
5729,7	5778	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-113	624	1	<0,1	3,3	6	6	9	21	<0,1	4	0,1	<1
5778	5824,8	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-114	624	1	<0,1	3,4	6	4	11	24	<0,1	4	0,1	<1
5824,8	5883,5	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-115	655	2	<0,1	3,1	5	4	10	15	<0,1	3	0,2	<1
5883,5	5934,8	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-116	669	1	<0,1	3	4	2	9	9	<0,1	3	0,1	<1
5934,8	5984,8	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-117	708	1	<0,1	3,3	5	4	8	18	<0,1	2	0,1	<1
5984,8	6052	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-118	720	<1	<0,1	2,4	4	8	9	12	<0,1	2	0,1	<1
6052	6097,5	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-119	745	<1	<0,1	2,2	3	2	10	12	<0,1	1	0,1	<1
6097,5	6149,2	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-120	691	<1	<0,1	3	4	2	7	14	<0,1	3	<0,1	<1
6149,2	6207,6	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-121	664	<1	<0,1	2,8	4	3	8	16	0	3	0,1	<1
6207,6	6257,4	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-122	744	<1	<0,1	2,6	4	2	8	11	<0,1	2	<0,1	<1
6257,4	6319,1	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-123	679	2	<0,1	3,1	4	2	12	10	<0,1	2	0,1	<1
6319,1	6364,3	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-124	736	2	<0,1	2,3	3	3	7	10	<0,1	3	<0,1	<1
6364,3	6410,6	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-125	715	1	<0,1	2,2	4	2	7	7	<0,1	2	<0,1	<1
6410,6	6470,8	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-126	705	2	<0,1	2,5	4	2	10	11	<0,1	3	<0,1	<1
6470,8	6513,2	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-127	624	3	<0,1	2,8	7	3	7	13	<0,1	4	<0,1	<1
6513,2	6565,5	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-128	707	2	<0,1	2,5	3	3	10	7	<0,1	2	0,1	<1
6565,5	6625,6	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-129	718	2	<0,1	3	3	2	10	10	<0,1	2	0,1	<1
6625,6	6674,6	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-130	737	<1	<0,1	2,2	3	2	7	9	<0,1	2	<0,1	<1
6674,6	6723,7	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-131	776	1	<0,1	1,9	3	2	7	9	<0,1	2	<0,1	<1
6723,7	6786,1	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-132	695	4	<0,1	2,7	4	3	8	16	<0,1	3	0,1	<1

Esiti analisi caratterizzazione terreni (cunicolo Maddalena)

CUMULI (SU CAMPIONE TAL QUALE (FRAZIONE <2 mm) - DATI ESPRESSI SULLA TOTALITA` DEI MATERIALI SECCHI < 2 cm (105°C) COMPRESIVA DELLO SCHELETRO)																
da PK	a PK	Unità litologica	Litologia	piazzola e cumulo	scheletro	As	Cd	Co	Ni	Pb	Cu	Zn	Hg	Cr	Be	Se
km	km				g/kg	mg/kg										
colonna A						20	2	20	120	100	120	150	1	150	2	3
colonna B						50	15	250	500	1000	600	1500	5	800	10	15
6786,1	6830,9	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-133	700	2	<0,1	3,7	6	4	11	15	<0,1	7	<0,1	<1
6830,9	6878,3	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-134	794	<1	<0,1	1,8	3	2	5	8	<0,1	2	<0,1	<1
6878,3	6939,7	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P3-135	711	<1	<0,1	2,6	4	5	10	13	<0,1	3	<0,1	<1
6939,7	6984,3	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P2-136	683	<1	<0,1	3,5	5	3	10	15	<0,1	3	<0,1	<1
6984,3	7020,8	CL	micascisti e gneiss a glaucofane	P1-137	745	<1	0,1	2,8	4	4	9	15	<0,1	3	<0,1	<1

ALLEGATO 3 PLANIMETRIA INDAGINI INTEGRATIVE 2019

CARTA GEOLOGICA - SITO P1 - TUNNEL DI BASE - Scala 1:20.000



TIPO D'INTERVENTO PREVISTO

Il sito P1 prevede lo scavo del tunnel della nuova linea ferroviaria Torino - Lione, in territorio italiano, per complessivi 12,5 km circa, tra la pk 48+672 e la pk 61+203 di progetto.

DETERMINAZIONE DEI SETTORI OMOGENEI CARATTERISTICHE GEO-LITOLOGICHE

- 1) Complesso di Clarea (CL): micascisti polimetamorfici e gneiss minuti a glaucofane, abitzizzati, con locali lenti di metabasiti anfilitiche
- 2) Complesso d'Ambin: Gneiss albitici (AMC), Gneiss albitici passanti a micascisti quarzosi (AMD)
- 3) Zona a scaglie: scisti carbonatici filadici (GCC) con scaglie tettoniche e livelli lenticolari di estensione chilometrica di gneiss albitici (GCK), carniole e calcataste carbonatiche (BCC), marmi dolomitici (DGA) e quarziti (GSE)
- 4) Depositi alluvionali di fondovalle (af) e depositi di conoidi alluvionale (ac)
- 5) Unità tettonometamorfica Puy-Venaus: calcescisti con associati livelli marmorei (GCC) e locali intercalazioni di gneiss albitici (GCK)
- 6) Unità tettonometamorfica Bassa Val di Susa-Valli di Lanzo-M. Orsiera: prasiniti massicce talora con porfiroblasti di albite oculare, prasiniti istate, anfiliti anfilitiche e cloritisciti (OMB)

STRATEGIA DI CAMPIONAMENTO

Da pk 48+672 a pk 55+000: campionamento sistematico-lineare con spaziatura di 100 m circa (dataset: Cunicolo esplorativo Maddalena e sondaggio S4 già realizzati)
 Da pk 55+000 a pk 61+203: campionamento stratificato/stratiglia ibrida, punti distribuiti lungo le carote di sondaggio esistenti, secondo il criterio di rappresentatività litologica

SORGENTI DEL SET DI CAMPIONI

n.	Unità litologiche omogenee	sondaggi/indagini esistenti				nuovi sondaggi/indagini					
		sigla	campagna	pk opera	profondità	campioni analizzati	campioni da analizzare	sigla	pk opera	lunghezza/profondità	campioni da analizzare
1)	CL Complesso di Clarea	S4	pre-2012	-51+900	10	-	-	-	-	-	-
		Cunicolo Maddalena	2017	48+600-53+800	60	70	-	-	-	-	-
2)	AMC/AMD Complesso d'Ambin	S5	pre-2012	53+900	0	-	-	-	-	-	-
		Cunicolo Maddalena	2017	53+800	23	-	-	-	-	-	-
3)	GCC/BCC/DGA/GSE Zona a scaglie	S2	pre-2012	-55+700	0	8	-	-	-	-	-
		S5	pre-2012	-55+700	9	0	-	-	-	-	-
		S6	pre-2012	-55+900	0	13	-	-	-	-	-
		S12	pre-2012	-55+400	9	21	-	-	-	-	-
4)	af/ac Depositi alluvionali di fondovalle e depositi di conoidi alluvionale	S18	pre-2012	-56+400	-	21	-	-	-	-	-
		S19	pre-2012	-56+700	-	21	S61	-56+500	120 m verticale	9	
		S20	pre-2012	-57+100	-	21	-	-	-	-	-
5)	GCC/GCK Unità tettonometamorfica Puy-Venaus	S20p	pre-2012	-57+200	0	2	-	-	-	-	-
		S42	pre-2012	-58+500	5	7	-	-	-	-	-
		S8	pre-2012	-59+550	0	7	-	-	-	-	-
		SGB	TERNA	-60+000	0	3	-	-	-	-	-
		SG10	TERNA	-60+000	0	1	-	-	-	-	-
6)	OMB Unità Bassa Val di Susa-Valli di Lanzo-M. Orsiera	S9	pre-2012	-60+800	-	9	-	-	-	-	

QUADRO DI LOCALIZZAZIONE



NOUVELLE LIGNE LYON TURIN - NUOVA LINEA TORINO LIONE
 PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE - PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE
 CUP C11J0500030001

Chantier Opérationnel 010/ Cantiere Operativo 010
 CIG ZD625323DA

Plan de verification pour la détermination des teneurs de fond naturelle: approche méthodologique
 Piano di accertamento per la determinazione dei valori di fondo naturale: approccio metodologico

ENVIRONNEMENT - AMBIENTE
 SITE DE PRODUCTION P1 - AMBIENTE
 SITO DI PRODUZIONE P1 - TUNNEL DI BASE

PIANO DELLE INDAGINI

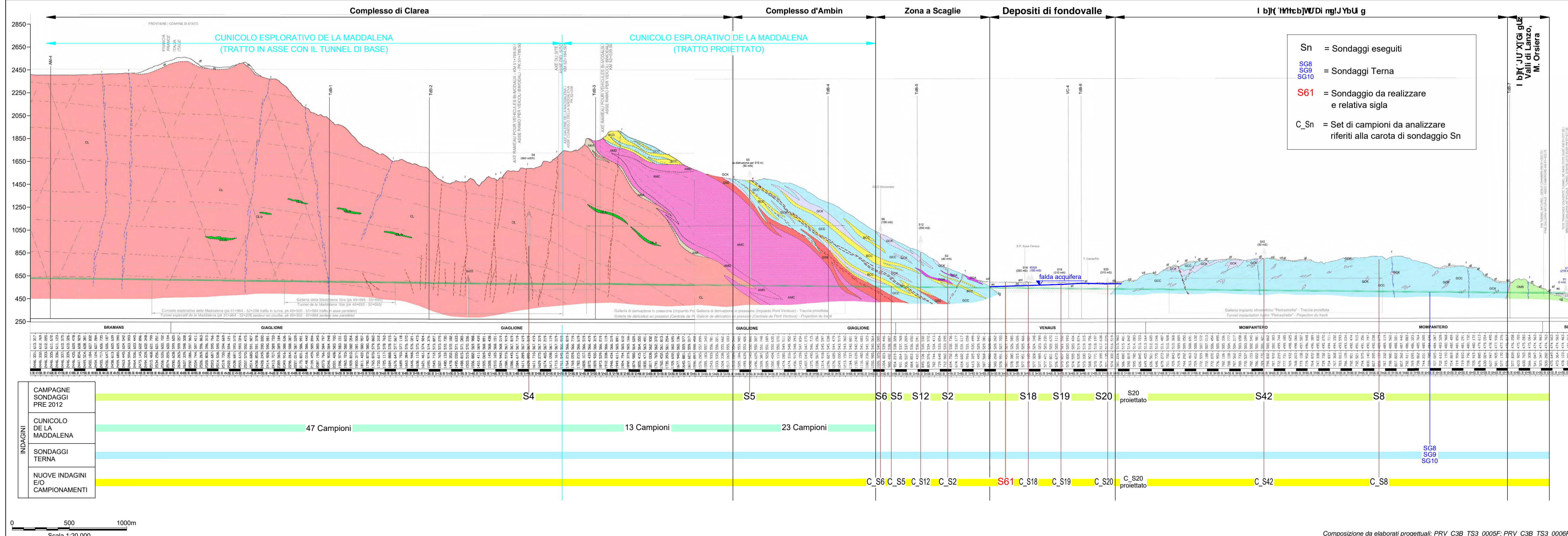
Indice	Data/Descr	Modificatore / Modificatore	Elab per / Constatato da	Verifica per / Constatato da	Autore per / Autorizzato da
0	18/02/2019	Prima emissione Premiere diffusion	G. Varone GDF Consultants	P. Perello GDF Consultants	L. Delle Piane GDF Consultants

4 1 0 0 1 8 1 2 0 7 S P O 2 0 0
 E P L A M O 0 0 2 A



1:20.000
 Scala / Echelle

PROFILO GEOLOGICO - SITO P1 - TUNNEL DI BASE - Scala 1:20.000



SET ANALITI DA TESTARE

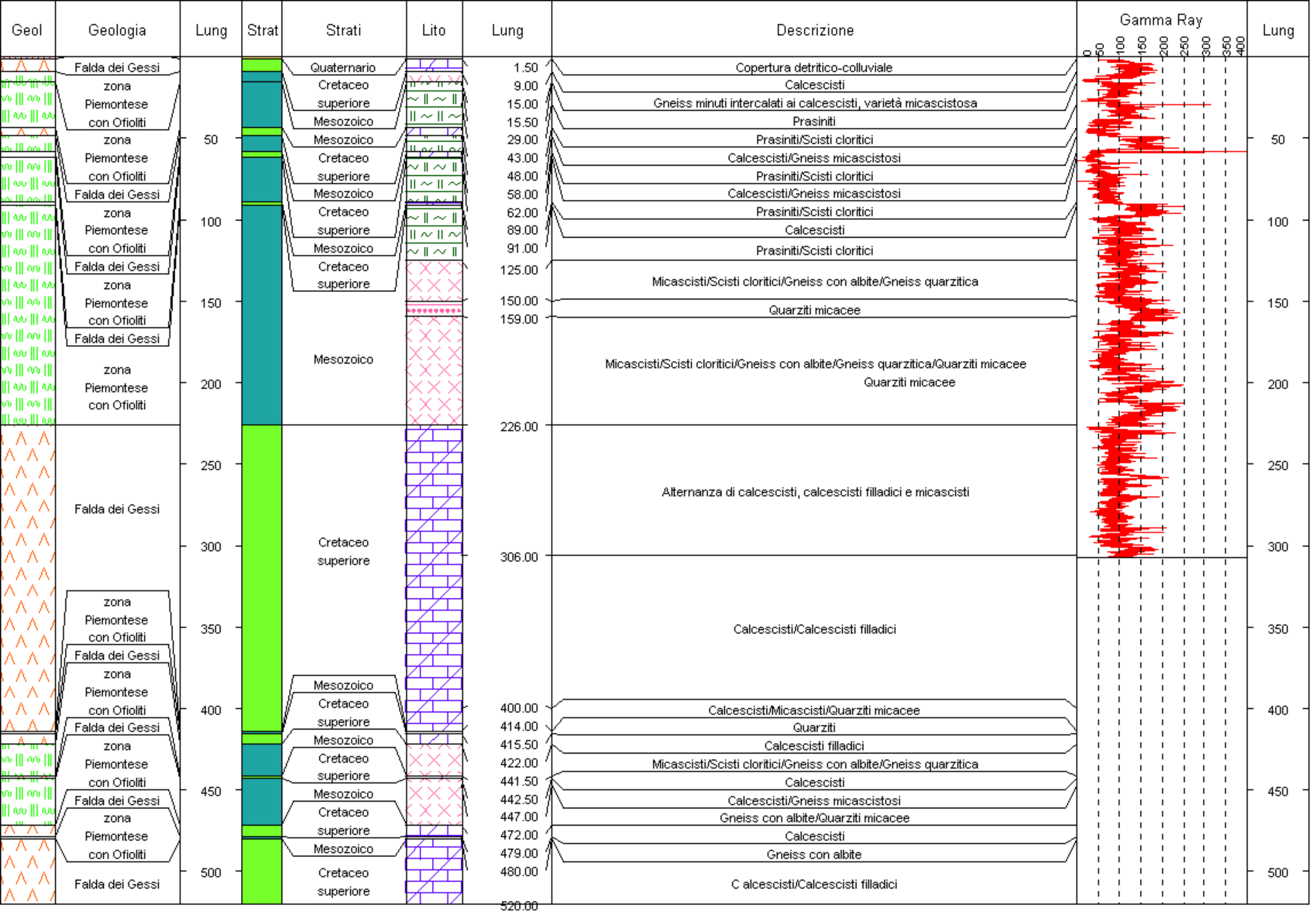
n.	Unità litologiche omogenee	pk opera	campioni analizzati	analisi testati	campioni da analizzare	analisi da testare
1)	CL Complesso di Clarea	Tunnel Maddalena 48+000-53+800	30	Au, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, CrVI, Cr, Sb, Ag, Ba, Be, Se, Sr, Tl, V, cloruri, Fluoruri	-	-
			60	Au, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, CrVI, Cr, Be, Se, Amianto BTEX, n-Alc, Cr3, Mnoc, Cr2, IPA, Benzolo, A)ipirene, Cloruro, Dibenz(a,h)ipirene, Dibenz(a,i)ipirene, Dibenz(a,j)ipirene, Dibenz(a,k)ipirene, Dibenz(b)ipirene, Fipene	-	-
2)	AMC/AMD Complesso d'Ambin	53+800-55+000	23	Au, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, CrVI, Cr, Be, Se, Amianto BTEX, n-Alc, Cr3, Mnoc, Cr2, IPA, Benzolo, A)ipirene, Cloruro, Dibenz(a,h)ipirene, Dibenz(a,i)ipirene, Dibenz(a,j)ipirene, Dibenz(a,k)ipirene, Dibenz(b)ipirene, Fipene	-	-
			21	Au, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, CrVI, Cr, Sb, Ag, Ba, Be, Se, Sr, Tl, V, cloruri, Fluoruri, poliantrone	-	-
3)	GCC/BCC/DGA/GSE Zona a scaglie	55+000-56+050	9	Au, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, CrVI, Cr, Sb, Ag, Ba, Be, Se, Sr, Tl, V, cloruri, Fluoruri	21	Au, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, CrVI, Cr, Sb, Ag, Ba, Be, Se, Sr, Tl, V, cloruri, Fluoruri, poliantrone
			21	Au, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, CrVI, Cr, Sb, Ag, Ba, Be, Se, Sr, Tl, V, cloruri, Fluoruri, poliantrone	-	-
4)	af/ac Depositi alluvionali di fondovalle e depositi di conoidi alluvionale	56+050-57+150	-	-	30	Au, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, CrVI, Cr, Sb, Ag, Ba, Be, Se, Sr, Tl, V, cloruri, Fluoruri, poliantrone BTEX, n-Alc, Cr3, IPA, alifatici clorati can., nitrobenzolo, clorobenzene, fenolo e diossifenoli, microrganismi organici policonstruiti, pesticidi e fitofarmaci
			30	Au, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, CrVI, Cr, Sb, Ag, Ba, Be, Se, Sr, Tl, V, cloruri, Fluoruri, poliantrone	-	-
5)	GCC/GCK Unità tettonometamorfica Puy-Venaus	57+150-60+700	5	Au, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, CrVI, Cr, Sb, Ag, Ba, Be, Se, Sr, Tl, V, cloruri, Fluoruri	25	Au, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, CrVI, Cr, Sb, Ag, Ba, Be, Se, Sr, Tl, V, cloruri, Fluoruri, poliantrone
			25	Au, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, CrVI, Cr, Sb, Ag, Ba, Be, Se, Sr, Tl, V, cloruri, Fluoruri, poliantrone	-	-
6)	OMB Unità Bassa Val di Susa-Valli di Lanzo-M. Orsiera	60+700-61+023	9	-	-	-

ALLEGATO 4 STRATIGRAFIE INDAGINI

Sondaggio LTF S02

Sondaggio LTF S06

Sondaggio LTF S08



Sondaggio LTF S12

Sondaggio LTF S18

LEGENDA DIZIONARI

CH CHIUSO
AP APERTO
PS CAMPIONATORE A PARETE SOTTILE (SHELBY)
RC A ROTAZIONE
C2 CAROTIERE DOPPIO T2 d 101 mm
DM CORONA DIAMANTATA

DESCRIZIONE STRATIGRAFICA

- (1) SABBIA M/F CON GHIAIA F DA SUBANGOLARE A SUBARROTONDATA MOLTO ADDENSATA. COLORE GRIGIO GIALLASTRO. PRESENZA DI CLASTI TOTALMENTE ALTERATI
- (2) SABBIA M/F LIMOSA LOCALMENTE ARGILLOSA CON RARA GHIAIA F. COLORE GRIGIO SCURO. MOLTO COMPATTO.
- (3) SABBIA F LIMOSA LOCALMENTE SABBIA CON LIMO PASSANTE GRADUALMENTE A LIMO SABBIOSO COLORE DA GRIGIO GIALLASTRO A GRIGIO
- (4) LIMO CON SABBIA ARGILLOSO E RARA GHIAIA M/F SUBARROTONDATA. COLORE GRIGIO BRUNO CHIARO.

Elaborazione del 29.LUG.97




ESECUZIONE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE
INTEGRATIVE RELATIVE AL TUNNEL DI BUSSOLENO
PER IL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO
TORINO-LIONE

LOTTO 2

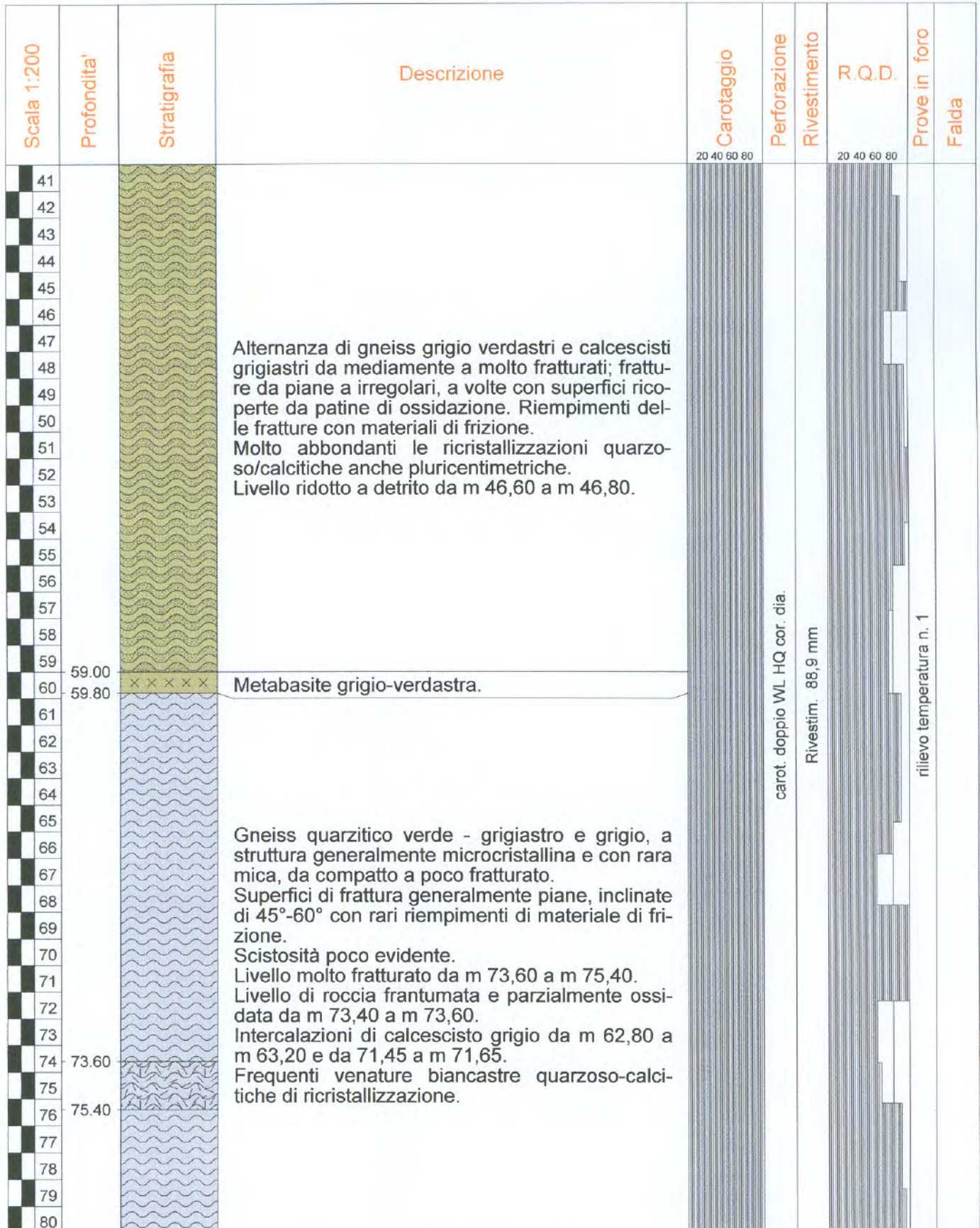
SONDAGGIO S 42

**DESCRIZIONE
STRATIGRAFICA**

Cantiere: LOTTO 2 - Campagna Integrativa 2003	N. disegno 07 / 2003-05
Committente: LTF	N. sondaggio S42
Ubicazione: Mompantero (TO)	Inclinazione: verticale
Lunghezza totale: 452,30 m	Data esecuzione: novembre-dicembre 2005

Scala 1:200	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Carotaggio	Perforazione	Rivestimento	R.Q.D.	Prove in foro	Falda
				20 40 60 80			20 40 60 80		
1	2.00 2.50		Terreno di copertura marrone nocciola sabbio limoso con ciottoli e resti vegetali.	cd 180 mm	carot. doppio WL PQ cor. dia.	Rivestim. 117,5 mm			
2			Ciottoli poligenici e ghiaia.						
3									
4	16.00 17.00		Calcescisto di colore grigio e grigio-verdastro passante a micascisto grigio. Abbondanti venature quarzose di colore biancastro. Fratturazione modesta; superfici di frattura generalmente ossidate e a volte ricoperte da patine argillose. Da m 16,00 a m 17,00 fratturazione elevata e roccia a tratti frantumata.	carot. doppio WL PQ cor. dia.	Rivestim. 117,5 mm				
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16			24.30 25.40						
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26	36.90		Lente quarzosa bianca con venature grigiastre poco fratturate.	carot. doppio WL HQ cor. dia.	Rivestim. 88,9 mm				
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									

Cantiere: LOTTO 2 - Campagna Integrativa 2003	N. disegno 07 / 2003-05
Committente: LTF	N. sondaggio S42
Ubicazione: Mompantero (TO)	Inclinazione: verticale
Lunghezza totale: 452,30 m	Data esecuzione: novembre-dicembre 2005



Cantiere: LOTTO 2 - Campagna Integrativa 2003	N. disegno 07 / 2003-05
Committente: LTF	N. sondaggio S42
Ubicazione: Mompantero (TO)	Inclinazione: verticale
Lunghezza totale: 452,30 m	Data esecuzione: novembre-dicembre 2005

Scala 1:200	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Carotaggio	Perforazione	Rivestimento	R.Q.D.	Prove in foro	Falda
				20 40 60 80			20 40 60 80		
81									
82									
83									
84									
85	84.50								
86	85.50								
87									
88									
89									
90									
91									
92									
93									
94									
95									
96									
97									
98									
99									
100									
101									
102									
103									
104									
105									
106									
107									
108									
109									
110	110.05								
111									
112	111.90								
113	112.70								
114									
115									
116									
117									
118									
119									
120									

Gneiss quarzítico verde-grigiastro e grigio, a struttura generalmente microcristallina e con rara mica, da compatto a poco fratturato. Superfici di frattura generalmente piane, inclinate di 45°-60° con rari riempimenti di materiale di frizione. Scistosità poco evidente. Livello molto fratturato da m 84,50 a m 85,50. Livello di roccia frantumata e parzialmente ossidata da m 83,70 a m 83,80. Intercalazioni di calcescisto grigio da m 62,80 a m 63,20 e da 71,45 a m 71,65. Frequenti venature biancastre quarzoso-calciatiche di ricristallizzazione. A m 110,05 contatto litologico con litotipo sottostante con superficie piana inclinata 45° e patina di scivolamento nerastra.

Calcescisto grigio poco fratturato.

Gneiss micaceo grigio verdastro compatto.









Calcescisto prevalente alternato a micascisto entrambi grigi con abbondanti venature biancastre. Fratturazione da modesta a media; fratture generalmente piane poco inclinate e, solo a volte, irregolari. Rari livelli grigio verdastri micaceo-cloritici. A tratti la differenziazione cromatica grigio e biancastra risulta meno evidente.

carot. doppio WL HQ cor. dia.

Rivestim. 88,9 mm

rilievo temperatura n. 1

Cantiere: LOTTO 2 - Campagna Integrativa 2003	N. disegno 07 / 2003-05
Committente: LTF	N. sondaggio S42
Ubicazione: Mompantero (TO)	Inclinazione: verticale
Lunghezza totale: 452,30 m	Data esecuzione: novembre-dicembre 2005





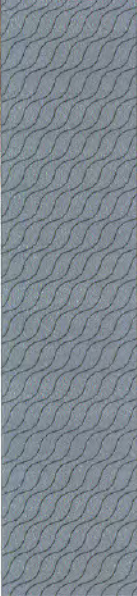






Scala 1:200	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Carotaggio	Perforazione	Rivestimento	R.Q.D.	Prove in foro	Falda
				20 40 60 80			20 40 60 80		
121			<p>Calcescisto prevalente alternato a micascisto entrambi grigi con abbondanti venature biancastre.</p> <p>Fratturazione da modesta a media; fratture generalmente piane poco inclinate e, solo a volte, irregolari.</p> <p>Rari livelli grigio verdastri micaceo-cloritici.</p> <p>Mineralizzazioni cloritiche tra m 137,80 e m 138,50.</p> <p>A tratti la differenziazione cromatica grigio e biancastra risulta meno evidente.</p>		carot. doppio WL HQ cor. dia.	Rivestim. 88,9 mm		rilievo temperatura n. 1	
122									
123									
124									
125									
126									
127									
128									
129									
130									
131									
132									
133									
134									
135									
136									
137									
138									
139									
140									
141									
142	141.90								
143			<p>Quarzite di colore grigio chiaro-verdastra prevalente alternata a micascisto grigio chiaro-verdastro.</p> <p>La quarzite si presenta generalmente poco fratturata e raramente fratturata.</p> <p>Le fratture si presentano piane e suborizzontali, solo saltuariamente subverticali.</p> <p>Il micascisto si presenta poco fratturato con fratture piane da inclinate a suborizzontali impostate su piani di scistosità evidenti.</p> <p>Intercalazione di serpentinoscisto grigio-nerastro con venature biancastre da m 147,10 a m 148,00 con superfici di frattura untuose al tatto e a volte con riempimenti di materiale di frizione.</p>		carot. doppio WL HQ cor. dia.	Rivestim. 88,9 mm		rilievo temperatura n. 2	
144									
145									
146									
147									
148	147.10								
149	148.00								
150									
151									
152									
153									
154									
155									
156									
157									
158									
159									
160									

Cantiere: LOTTO 2 - Campagna Integrativa 2003	N. disegno 07 / 2003-05
Committente: LTF	N. sondaggio S42
Ubicazione: Mompantero (TO)	Inclinazione: verticale
Lunghezza totale: 452,30 m	Data esecuzione: novembre-dicembre 2005

Scala 1:200	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Carotaggio	Perforazione	Rivestimento	R.Q.D.	Prove in foro	Falda
				20 40 60 80	cd WL HQ cor. dia.	88,9 mm	20 40 60 80		
161	162.40		<p>Quarzite di colore grigio chiaro-verdastra prevalente alternata a micascisto grigio chiaro-verdastro.</p> <p>La quarzite si presenta generalmente poco fratturata e raramente fratturata.</p> <p>Le fratture si presentano piane e suborizzontali, solo saltuariamente subverticali.</p> <p>Il micascisto si presenta poco fratturato con fratture piane da inclinate a suborizzontali impostate su piani di scistosità evidenti.</p> <p>Intercalazione di serpentinoscisto grigio-nerastro con venature biancastre da m 162,40 a m 163,70 con superfici di frattura untuose al tatto e a volte con riempimenti di materiale di frizione.</p>		cd WL HQ cor. dia.	88,9 mm			
162									
163									
164									
165									
166									
167									
168									
169									
170									
171									
172									
173									
174									
175									
176									
177									
178									
179									
180									
181									
182									
183									
184									
185									
186									
187									
188	195.80		<p>Quarzite microcristallina e micascisto quarzítico di colore grigio scuro e grigio verdastro, generalmente compatti ad aspetto marcatamente striato su piani generalmente suborizzontali.</p>						
189									
190									
191									
192									
193									
194									
195									
196									
197									
198									
199									
200									

rilievo temperatura n. 2

Cantiere: LOTTO 2 - Campagna Integrativa 2003	N. disegno 07 / 2003-05
Committente: LTF	N. sondaggio S42
Ubicazione: Mompantero (TO)	Inclinazione: verticale
Lunghezza totale: 452,30 m	Data esecuzione: novembre-dicembre 2005

Scala 1:200	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Carotaggio	Perforazione	Rivestimento	R.Q.D.	Prove in foro	Falda								
				20 40 60 80			20 40 60 80										
201			Quarzite microcristallina e micascisto quarzítico di colore grigio scuro e grigio verdastro, generalmente compatti ad aspetto marcatamente striato su piani generalmente suborizzontali.														
202																	
203																	
204																	
205																	
206																	
207																	
208																	
209																	
210																	
211																	
212																	
213	212.40													carot. doppio WL NQ cor. dia.			
214																	
215																	
216																	
217																	
218																	
219																	
220																	
221																	
222																	
223	222.00		Calcescisto prevalente alternato a micascisto, entrambi grigi-biancastri, da compatti a poco fratturati, con scistosità alternativamente più o meno evidente. Abbondanti venature calcitico-quarzose. Livelli di colorazione grigio-nerastra tra m 222,00 e m 238,00.			Rivest. 69,9 mm			rilievo temperatura n. 2								
224																	
225																	
226																	
227																	
228																	
229																	
230																	
231																	
232																	
233																	
234																	
235																	
236																	
237																	
238	238.00																
239																	
240																	

Cantiere: LOTTO 2 - Campagna Integrativa 2003	N. disegno 07 / 2003-05
Committente: LTF	N. sondaggio S42
Ubicazione: Mompantero (TO)	Inclinazione: verticale
Lunghezza totale: 452,30 m	Data esecuzione: novembre-dicembre 2005

Scala 1:200	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Carotaggio	Perforazione	Rivestimento	R.Q.D.	Prove in foro	Falda
				20 40 60 80			20 40 60 80		
	241		<p>Calcescisto prevalente alternato a micascisto, entrambi grigi-biancastri, da compatti a poco fratturati, con scistosità alternativamente più o meno evidente. Abbondanti venature calcitico-quarzose.</p>		carot. doppio WL NQ cor. dia.	Rivest. 69,9 mm		rilievo temperatura n. 2	
	242								
	243								
	244								
	245								
	246								
	247								
	248								
	249								
	250								
	251								
	252								
	253								
	254								
	255								
	256								
	257								
	258								
	259								
	260								
	261								
	262								
	263								
	264								
	265	265.00							
	266		<p>Calcescisto alternato a micascisto con rari livelli quarzitici, da compatto a poco fratturato, con scistosità generalmente evidente e colorazione alternata biancastra grigio scura a livelli da millimetrici a centimetrici. Abbondanti venature irregolari calcitico-quarzose.</p>		carot. doppio WL NQ cor. dia.	Rivest. 69,9 mm		rilievo temperatura n. 2	
	267								
	268								
	269								
	270								
	271								
	272								
	273								
	274								
	275								
	276								
	277								
	278								
	279								
	280								

Cantiere: LOTTO 2 - Campagna Integrativa 2003	N. disegno 07 / 2003-05
Committente: LTF	N. sondaggio S42
Ubicazione: Mompantero (TO)	Inclinazione: verticale
Lunghezza totale: 452,30 m	Data esecuzione: novembre-dicembre 2005

Scala 1:200	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Carotaggio 20 40 60 80	Perforazione	Rivestimento	R.Q.D. 20 40 60 80	Prove in foro	Falda
281									
282									
283									
284	283.80		Calcescisto alternato a micascisto di colore grigiastro, compatto, con rari livelli quarzitici.						
285									
286									
287									
288	288.30		Micascisto grigio verdastro compatto, con scistosità irregolare, alternato a livelli di colore grigiastro. Tratti a struttura brecciata a ricementazione carbonatica biancastri.						
289									
290									
291									
292									
293									
294									
295									
296									
297									
298									
299									
300									
301									
302									
303									
304									
305									
306									
307	307.00		Calcescisto alternato a micascisto con rari livelli quarzitici, da compatto a poco fratturato, con scistosità generalmente evidente e colorazione alternata biancastra grigio scura a livelli da millimetrici a centimetrici. Abbondanti venature irregolari calcitico-quarzose. Livelli marmorei verdi chiari da m 290,00 a m 290,20; da m 307,00 a m 308,60 e da m 309,60 a m 310,00 .						
308	308.60		Livello completamente fratturato da m 310,20 a m 310,30.						
309	309.60								
310	310.00								
311									
312									
313									
314									
315									
316									
317									
318									
319									
320									

carot. doppio WL NQ cor. dia.



Rivest. 69,9 mm

rilievo temperatura n. 2





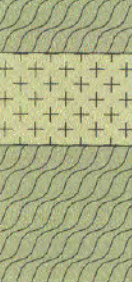
Cantiere: LOTTO 2 - Campagna Integrativa 2003	N. disegno 07 / 2003-05
Committente: LTF	N. sondaggio S42
Ubicazione: Mompantero (TO)	Inclinazione: verticale
Lunghezza totale: 452,30 m	Data esecuzione: novembre-dicembre 2005

Scala 1:200	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Carotaggio 20 40 60 80	Perforazione	Rivestimento	R.Q.D. 20 40 60 80	Prove in foro	Falda
321			<p>Calcescisto alternato a micascisto con rari livelli quarzifici, da compatto a poco fratturato, con scistosità generalmente evidente e colorazione alternata biancastra grigio scura a livelli da millimetrici a centimetrici. Abbondanti venature irregolari calcitico-quarzose. Livello nerastro fratturato ad aspetto traslucido e talcoso al tatto da m 324,50 a m 324,55. Livello quarzoso microcristallino compatto grigio verde chiaro da m 333,40 a m 335,00. Differenziazione cromatica meno evidente da m 339,50 a m 351,00.</p>		carot. doppio WL NQ cor. dia. Rivest. 69,9 mm		rilievo temperatura n. 2		
322									
323									
324									
325									
326									
327									
328									
329									
330									
331									
332									
333									
334									
335									
336									
337									
338									
339									
340									
341									
342									
343									
344									
345									
346									
347									
348									
349									
350									
351									
352									
353									
354									
355									
356									
357									
358									
359									
360									

Cantiere: LOTTO 2 - Campagna Integrativa 2003	N. disegno 07 / 2003-05
Committente: LTF	N. sondaggio S42
Ubicazione: Mompantero (TO)	Inclinazione: verticale
Lunghezza totale: 452,30 m	Data esecuzione: novembre-dicembre 2005

Scala 1:200	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Carotaggio 20 40 60 80	Perforazione	Rivestimento	R.Q.D. 20 40 60 80	Prove in foro	Falda
361			<p>Calcescisto alternato a micascisto con rari livelli quarziticci, da compatto a poco fratturato, con scistosità generalmente evidente e colorazione alternata biancastra grigio scura a livelli da millimetrici a centimetrici. Abbondanti venature irregolari calcitico-quarzose. Mineralizzazioni calcitico-cloritiche da m 364,60 a m 364,75 e da 365,30 a m 365,60.</p>						
362									
363									
364									
365									
366									
367									
368									
369									
370									
371									
372									
373									
374									
375	374.80								
376									
377									
378									
379									
380									
381									
382									
383									
384									
385									
386									
387									
388									
389									
390									
391									
392									
393									
394									
395									
396									
397									
398									
399									
400									

Cantiere: LOTTO 2 - Campagna Integrativa 2003	N. disegno 07 / 2003-05
Committente: LTF	N. sondaggio S42
Ubicazione: Mompantero (TO)	Inclinazione: verticale
Lunghezza totale: 452,30 m	Data esecuzione: novembre-dicembre 2005

Scala 1:200	Profondità	Stratigrafia	Descrizione	Carotaggio	Perforazione	Rivestimento	R.Q.D.	Prove in foro	Falda
				20 40 60 80			20 40 60 80		
401	411.20		Micascisto con passaggi a calcescisto grigio chiaro-verdastro chiaro. Fratturazione modesta impostata sui piani di scistosità. Scistosità generalmente evidente e, solo a tratti, meno marcata. Abbondante la presenza di mica e di venature quarzoso calcitiche spesso ad andamento irregolare.						
402									
403									
404									
405									
406									
407									
408									
409									
410									
411									
412	417.35		Quarzite microcristallina verde chiaro - grigiastra compatta. Le fratture sono generalmente piane da mediamente a molto inclinate.						
413									
414									
415									
416									
417									
418									
419	433.85		Calcescisto di colore da grigio-verdastro a grigio-biancastro da compatto a poco fratturato; fratture piane da poco a mediamente inclinate. Scistosità evidente generalmente da suborizzontale a poco inclinata. Venature irregolari di ricementazione quarzoso-calcitiche di spessore anche pluricentrico. Presenti inclusi quarzosi grigiastri a grana fine con scistosità poco evidente. Livelli a prevalenza calcitico-quarzosa da m 418,30 a m 418,90; da m 425,50 a m 426,00 e da m 430,00 a m 431,00.						
420									
421									
422									
423									
424									
425									
426									
427									
428									
429									
430									
431									
432									
433	436.30		Quarzite microcristallina grigio verde, poco fratturata. Abbondante presenza di vene calcitiche anche pluricentriche biancastre.						
434									
435									
436									
437			Calcescisto di colore da grigio-verdastro a grigio-biancastro da compatto a poco fratturato; fratture piane da poco a mediamente inclinate. Scistosità evidente generalmente da suborizzontale a poco inclinata.						
438									
439									
440									

carot. doppio WL NQ cor. dia.

Rivest. 69,9 mm

rilievo temperatura n. 2

Cantiere: LOTTO 2 - Campagna Integrativa 2003	N. disegno 07 / 2003-05
Committente: LTF	N. sondaggio S42
Ubicazione: Mompantero (TO)	Inclinazione: verticale
Lunghezza totale: 452,30 m	Data esecuzione: novembre-dicembre 2005

Scala 1:200	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Carotaggio	Perforazione	Rivestimento	R.Q.D.	Prove in foro	Falda
				20 40 60 80			20 40 60 80		
441	452.30		<p>Calcescisto di colore da grigio-verdastro a grigio-biancastro da compatto a poco fratturato; fratture piane da poco a mediamente inclinate. Scistosità evidente generalmente da suborizzontale a poco inclinata. Venature irregolari di ricementazione quarzo-calcitiche di spessore anche pluricentimetrico. Presenti inclusi quarzosi grigiastri a grana fine con scistosità poco evidente.</p>		carot. doppio WL NQ cor. dia.	Rivest. 69,9 mm		rilievo temperatura n. 2	
442									
443									
444									
445									
446									
447									
448									
449									
450									
451									
452									
453									
454									
455									
456									
457									
458									
459									
460									
461									
462									
463									
464									
465									
466									
467									
468									
469									
470									
471									
472									
473									
474									
475									
476									
477									
478									
479									
480									

ALLEGATO 5
ESITI ANALISI CARATTERIZZAZIONE TERRENI INDAGINI
INTEGRATIVE 2019

ALLEGATO 6

RAPPORTI DI PROVA INDAGINI INTEGRATIVE 2019

ALLEGATO 7

DATASET CAMPIONARIO (FORMATO EDITABILE)