

# LIAISON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne  
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese  
Sezione transfrontaliera

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

PARTE IN TERRITORIO ITALIANO – PROGETTO IN VARIANTE  
(OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE N. 235 DELLA DELIBERA CIPE 19/2015)

CUP C11J05000030001 – PROGETTO DEFINITIVO

APPROFONDIMENTI PROGETTUALI PER OSSERVAZIONI MATTM - REGIONE PIEMONTE / MIBACT  
Riscontro Osservazione n. II.k (rif. prot. n. CTVA/3958 del 24/11/17)

GEOLOGIE – GEOLOGIA

GENERAL – GENERALE

GESTION DES MATERIAUX D'EXCAVATION – GESTIONE DEL MATERIALE DI SCAVO

Plan de vérification pour la détermination des teneurs de fond naturelle - Approche méthodologique  
Piano di accertamento per la determinazione dei valori di fondo naturale – Approccio metodologico

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	07/12/2017	Première diffusion / Prima emissione	M. BIASIOLI (LOMBARDI)	M. ZAMPIERI V. GRISOGLIO	A. MORDASINI C. OGNIBENE
A	15/12/2017	Revision suite commentaires TELT/ Revisione a seguito di commenti TELT	M. BIASIOLI (LOMBARDI)	M. ZAMPIERI V. GRISOGLIO	A. MORDASINI C. OGNIBENE



CODE DOC	P	R	V	C	3	B	L	O	M	6	8	0	9	A
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C3B	//	//	00	04	96	10	01

ECHELLE / SCALA
-

  
Maire Technimont Group  
Dott. Ing. Carlo Ognibene  
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 8366 T



TELT sas – Savoie Technolac - Bâtiment "Homère"  
13 allée du Lac de Constance – 73370 LE BOURGET DU LAC (France)  
Tél : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75  
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952  
Propriété TELT Tous droits réservés – Propriété TELT Tutti i diritti riservati

Ce projet  
est cofinancé par  
l'Union européenne  
(DG-TREN)



Questo progetto  
è cofinanziato  
dall'Unione europea  
(TEN-T)

## SOMMAIRE / INDICE

1. INTRODUZIONE .....	4
2. QUADRO NORMATIVO APPLICATIVO IN MATERIA DI GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO .....	5
3. SINTESI DELLE INDAGINI AMBIENTALI PREGRESSE .....	5
4. SITI DI DESTINAZIONE DEL MATERIALE DI SCAVO E RELATIVE CSC DI RIFERIMENTO .....	10
5. UBICAZIONE DELLE INDAGINI PROPOSTE – SITI DI PRODUZIONE .....	11
6. UBICAZIONE DELLE INDAGINI PROPOSTE – SITI DI DESTINAZIONE .....	14
7. PROPOSTA METODOLOGICA PER LA DETERMINAZIONE DEI VALORI DI FONDO .....	16
7.1 Confronto con i dati bibliografici della rete di monitoraggio di ARPA Piemonte..	17
7.2 Gestione statistica dei dati sito specifici .....	19
7.2.1 Definizione del dataset campionario .....	20
7.2.2 Analisi statistica dei dati .....	20
7.2.3 Determinazione dei valori di fondo .....	23
8. ALLEGATO 1: NOTA TECNICA ARPA PIEMONTE SU VALORI DI FONDO .....	24
9. ALLEGATO 2: PLANIMETRIA INDAGINI DA REALIZZARE .....	25

## LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Indagini previste nei settori dell’Ambin e della Val Cenischia del Tunnel di Base. I sondaggi previsti per l’esecuzione di indagini ambientali sono i S060, S061 e S062 .....	12
Figura 2 – Ubicazione delle indagini previste per il settore d’interconnessione di Bussoleno. I sondaggi previsti per l’esecuzione di indagini ambientali sono i S073, S101 e S102 .....	13
Figura 3 – Indagini previste nell’area del cantiere di Salbertrand. Il sondaggio previsto per l’esecuzione di indagini ambientali è il S12_PRV .....	13
Figura 4 – Ubicazione indagini previste – Sito di Caprie .....	15
Figura 5 – Ubicazione indagini previste – Sito di Torrazza Piemonte .....	16
Figura 6 – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) e aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge (parametri Cromo e Nichel) .....	18
Figura 7 – Esempio di parametri statistici rappresentati tramite box plot .....	22
Figura 8 – Esempio di curva cumulativa di frequenza per il Cr .....	22
Figura 9 – Esempio di curva cumulativa di frequenza .....	23

## LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Elenco dei parametri analizzati sui campioni prelevati nel 2012.....	6
Tabella 2 – Esiti delle analisi condotte sui campioni prelevati nel corso del 2012 (concentrazioni espresse in mg/kg s.s.).....	8
Tabella 3 – Concentrazioni di As registrate sui campioni analizzati durante lo scavo del Cunicolo della Maddalena (in rosso sono evidenziati i superamenti delle CSC) .....	9
Tabella 4 – Tabella dei parametri da analizzare, *parametri indicati dal DM 161 del 10 agosto 2012.....	14
Tabella 5 – Valori di fondo siti di destinazione – ARPA Piemonte .....	19
Tabella 6 – Principali descrittori statistici.....	21

## RESUME / RIASSUNTO

Ce rapport constitue la proposition méthodologique pour la définition des teneurs de fond à assumer comme référence en ce qui concerne les sites de production et de destination aux fins de la gestion des matériaux d'excavation issus pendant les activités de réalisation de la Nouvelle Ligne Turin Lyon (NLTL).

Ce document, objet d'un partage préalable avec ARPA Piemonte, prévoit une approche méthodologique à la détermination des teneurs de fond naturelles des sites de production et destination, à l'aval de l'exécution d'une campagne d'investigations intégratives réalisées en plein partage avec ARPA Piemonte (en termes d'emplacement des investigation et de la liste des analyses), en prévoyant éventuellement des analyses en procédure contradictoire des échantillons prélevés. De façon analogue on procédera définir avec ARPA les méthodologies de gestion statistique des données pour la définition des teneurs de fond à adopter pour l'ouvrage.

Il presente elaborato costituisce la proposta metodologica per la definizione dei valori di fondo da assumere come riferimento per quanto riguarda i siti di produzione e di destinazione ai fini della gestione dei materiali da scavo generati durante le attività di realizzazione della Nuova Linea Torino Lione (NLTL).

Il presente documento, oggetto di una condivisione preventiva con ARPA Piemonte prevede, un approccio metodologico alla determinazione dei valori di fondo naturale dei siti di produzione e destinazione, a valle dell'esecuzione di una campagna di indagini integrative svolte in piena condivisione con ARPA Piemonte (sia in termini di ubicazione delle indagini che di set analitico, prevedendo eventualmente analisi in contraddittorio dei campioni prelevati). Analogamente, si procederà a definire congiuntamente con ARPA le metodologie di gestione statistica dei dati per la definizione dei valori di fondo da adottarsi per l'opera.

## 1. Introduzione

Il presente elaborato costituisce la proposta metodologica per la definizione dei valori di fondo da assumere come riferimento per quanto riguarda la gestione dei materiali da scavo generati durante le attività di realizzazione della Nuova Linea Torino Lione (NLTL).

Il documento è redatto ai sensi del D.M. 161/2012 articolo 5 comma 4 e in risposta a quanto richiesto dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM)– Commissione Tecnica di Verifica dell'impatto Ambientale –VIA e VAS il quale al capitolo II paragrafo k) del parere di competenza trasmesso con prot. n. CTVA/3958 del 24/11/2017 osserva che:

*“su 50 campioni estratti dalle carote, sono state effettuate nel 2012 le determinazioni analitiche dei soli composti inorganici per la misura delle concentrazioni previste dall'allegato 2 al titolo V della parte IV del D.Lgs 152/2006 che evidenziano superamenti diffusi delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) per la destinazione d'uso verde-residenziale dei seguenti metalli: Sb, As, Ba, Be, Co, Cr, Hg, Ni, Sn, Tl, V, Zn; le analisi di alcuni campioni hanno mostrato inoltre, superamenti puntuali dei valori limite previsti della destinazione d'uso commerciale e industriale per i parametri Sb e As. Il Proponente, attraverso una propria valutazione basata su dati bibliografici e su caratteristiche delle formazioni litologiche, attribuisce i predetti superamenti al fondo naturale (par. 5.5 pag. 92 e par. 5.6 pagg. 93, 94 e 95 del “Piano di utilizzo del materiale di scavo”), senza avere svolto uno specifico accertamento in campo in contraddittorio con ARPA Piemonte o coerentemente con le indicazioni di ARPA, integrare ai sensi del D.M. 161/2012, art. 5 comma 4, per come peraltro richiamato nella prescrizione n. 6, che in fase di predisposizione del PUT dovrà essere condiviso con ARPA Piemonte un PdA ai fini della determinazione dei valori di fondo da assumere, nel “Piano di utilizzo del materiale di scavo” viene soltanto inserita una nota in cui si esplicita che nelle fasi progettuali successive e durante il corso d'opera, **attivare la condivisione preventiva con ARPA Piemonte di un Piano di Accertamento ex articolo 5 comma 4 del D.M. 161/12”**.*

Sulla base di quanto sopra citato, allo scopo di soddisfare le osservazioni richieste dal MAATM, è stato predisposto il presente approccio metodologico all'elaborazione del Piano di Accertamento (PdA) ai sensi dell'articolo 5 comma 4 del D.M. 161/2012.

Il presente elaborato è stato presentato all'ARPA in occasione di una riunione tenutasi il 7 dicembre presso gli uffici dell'ARPA al fine di avviare una condivisione sulla metodologia che verrà sviluppata. Si baserà su dati desunti non solo da documentazione bibliografica ma anche su dati sito-specifici ottenuti a seguito dell'esecuzione di indagini ambientali di dettaglio come meglio descritto nel presente elaborato. Il PdA verrà eseguito in contraddittorio con ARPA Piemonte e sarà finalizzato a definire la qualità ambientale del sottosuolo in corrispondenza dei:

- siti di produzione del materiale di scavo;
- siti di destinazione previsti per il riutilizzo del materiale di scavo generato.

per stabilire i valori di fondo da assumere.

I dettagli metodologici per la stesura del PdA sono descritti nei capitoli seguenti.

## 2. Quadro normativo applicativo in materia di gestione delle terre e rocce da scavo

Il Piano di Utilizzo dei materiali di scavo dell'opera (documento PRV\_C3B\_0084\_00-04-03\_10-01) è stato redatto ai sensi del DM 161/12.

Ai fini dell'elaborazione del presente documento, il cui obiettivo è quello di descrivere una proposta metodologica per la definizione dei valori di fondo dei siti di produzione e destinazione dei materiali oggetto di scavo, si fa pertanto riferimento al quadro ambientale riportato all'interno del Piano di Utilizzo (PRV\_C3B\_0084\_00-04-03\_10-01), definito sulla base delle indagini condotte nel corso del 2012.

Le indagini ambientali condotte in fase di Progettazione Definitiva dell'opera hanno infatti evidenziato diffusi superamenti delle CSC fissate dal D.Lgs. 152/06 e s.m.i. per siti a destinazione d'uso residenziale/verde pubblico (Col. A, Tabella 1, All. 5 parte IV) e locali superamenti delle CSC di riferimento per siti a destinazione d'uso commerciale/industriale (Col. B, Tabella 1, All. 5 parte IV). Tutti i superamenti riscontrati risultano riconducibili a fenomeni di fondo naturale.

L'articolo 5 comma 4 del D.M. 161/2012 e l'allegato 4 del medesimo documento riportano come *“nel caso in cui la realizzazione dell'opera interessi un sito in cui, per fenomeni naturali, nel materiale da scavo le concentrazioni degli elementi e composti di cui alla tabella 4.1 dell'allegato 4, superino le concentrazioni soglia di contaminazione...è fatta salva la possibilità che le concentrazioni di tali elementi vengano assunte pari al valore di fondo naturale esistente per tutti i parametri superati. A tal fine, in fase di predisposizione del Piano di Utilizzo, il proponente segnala il superamento [...] presentando un **piano di accertamento** per definire i valori di fondo da assumere”*. A seguito della definizione dei valori di fondo naturale *“l'utilizzo dei materiali di scavo sarà consentito nell'ambito dello stesso sito di produzione o in altro sito diverso rispetto a quello di produzione, solo a condizione che non vi sia un peggioramento della qualità del sito di destinazione e che tale sito sia nel medesimo ambito territoriale di quello di produzione per il quale è stato verificato che il superamento dei limiti è dovuto a fondo naturale”*.

## 3. Sintesi delle indagini ambientali pregresse

Come riportato nel “Piano di utilizzo dei materiali di scavo” (PRV\_C3B\_0084\_00-04-03\_10-01), a cui si rimanda per maggiori dettagli, nel corso del 2012 e in fase di progettazione definitiva dell'opera è stata eseguita una campagna di analisi ambientali sulle carote di materiale estratto da sondaggi precedentemente realizzati, ubicati in prossimità del tracciato previsto per l'opera stessa.

In totale sono stati prelevati 50 campioni di materiale da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio ai sensi del D. Lgs 152/06 e s.m.i. per la determinazione dei composti inorganici di cui alla tabella seguente.

Composti inorganici	
Antimonio	Tallio
Argento	Nichel
Arsenico	Piombo
Bario	Rame
Berillio	Selenio
Cadmio	Stagno
Cobalto	Vanadio
Cromo VI	Zinco
Cromo totale	Cianuri liberi
Mercurio	Floruri

*Tabella 1 – Elenco dei parametri analizzati sui campioni prelevati nel 2012*

Le determinazioni analitiche condotte sui campioni prelevati dalle perforazioni effettuate in corrispondenza del tracciato della NLTL hanno evidenziato la presenza di:

- diffusi superamenti delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) fissate dal D.Lgs. 152/06 e s.m.i. per siti a destinazione d'uso residenziale/verde pubblico (Col. A, Tab. 1, all. 5 parte IV) relativamente ai parametri As, Be, Co, Cr, Hg, Ni, Tl, V e Zn locali superamenti delle CSC di riferimento per siti a destinazione d'uso commerciale /industriale (Col. B, Tab. 1, all. 5 parte IV) per i parametri As e Sb.

I risultati analitici evidenziano inoltre locali superamenti dei limiti previsti dalla Banca Dati dell'Istituto Superiore di Sanità relativamente al parametro bario (Ba) (Col. A=150 mg/kg e Col. B=1900 mg/kg) per cui il D. Lgs 152/06 non prevede delle CSC di riferimento.

Per quanto riguarda il parametro stagno (Sn) non si fa più riferimento alle CSC fissate dal D. Lgs. 152/06 (Col. A=1 mg/kg e Col. B=350 mg/kg) in quanto a partire dal 2014 a seguito dell'entrata in vigore della Legge 11 agosto 2014 n°116 i succitati limiti di riferimento sono stati attribuiti ai composti organostannici e ogni riferimento al parametro Sn eliminato dalla Tabella 1 dell'Allegato 5 alla parte IV del D.Lgs 152/06.

Si segnala infine che per il parametro Argento (Ag), non essendo fissate CSC di riferimento, è stato preso come valore limite quello previsto per le aree agricole/residenziali della Tabella LAB della L.R. 42/2000 e s.m.i. e pari a 20 mg/kg.

Gli esiti delle analisi eseguite sui campioni prelevati sono riportati nella tabella seguente; con campitura gialla sono evidenziati in tabella i superamenti delle CSC di Col. A mentre con campitura arancione sono evidenziati i superamenti delle CSC di Col. B.

Plan de vérification pour la détermination des teneurs de fond naturelle - Approche méthodologique / Piano di accertamento per la determinazione dei valori di fondo naturale – Approccio metodologico

Campione	Cianuri	Fluoruri	Sb	Ag	As	Ba	Be	Cd	Co	Cr VI	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	Tl	V	Zn
F16-C1_20	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	391,4	1,9	< 0,5	18,1	< 0,2	62,1	< 0,5	30,2	8,5	16,1	< 1	< 1	< 1	40,2	34,2
F16-C2_28	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	7,4	283,2	1,5	< 0,5	7,5	< 0,2	144	< 0,5	71	9	5,4	< 1	< 1	< 1	49,2	21,7
F16-C3_40	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	14,2	244,1	2	< 0,5	32,2	< 0,2	33,4	< 0,5	22,4	11,2	36,5	< 1	< 1	< 1	70,1	21
F16-C4_52	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	2,4	481	< 1,0	< 0,5	< 2,0	< 0,2	102	< 0,5	42,8	2,7	< 5,0	< 1	< 1	< 1	45,5	16
F16-C5_62	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	19	285	1,8	< 0,5	< 2,0	< 0,2	61,7	< 0,5	61,4	11	7,1	< 1	12	< 1	84,2	58
F16-C6_72	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	73,7	2,7	< 0,5	4,5	< 0,2	90,5	< 0,5	79,7	7,9	< 5,0	< 1	< 1	< 1	93,7	28,1
F16-C7_81	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	3,2	175	1,8	< 0,5	2,7	< 0,2	24,5	< 0,5	28	2,8	15,1	1,1	< 1	< 1	41,5	58
F16-C8_90	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	3	< 50	1,1	< 0,5	3,1	< 0,2	129,4	< 0,5	83,6	8	13,7	< 1	< 1	< 1	67,2	33,7
F16-C9_99	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	2,5	< 50	1,9	< 0,5	12,5	< 0,2	550,8	< 0,5	360	13,9	21,1	< 1	3,4	< 1	67,2	98,3
F30b-C1_149	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	< 50	2,2	< 0,5	11,6	< 0,2	33,4	< 0,5	17,3	4,3	12,7	< 1	< 1	< 1	44	22,9
F30b-C2_179	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	< 50	1,8	< 0,5	13,9	< 0,2	43,2	< 0,5	24,6	8,4	31,2	< 1	< 1	< 1	42,4	23,3
F30b-C3_197	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	< 50	2,5	< 0,5	12,1	< 0,2	31,2	< 0,5	16,4	12,4	< 5,0	< 1	< 1	< 1	46,8	16,2
F30b-C4_219	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	97,5	1,7	< 0,5	10,8	< 0,2	33,1	< 0,5	21,6	12,4	< 5,0	< 1	< 1	< 1	35,6	20
F30b-C5_236	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	647	1,8	< 0,5	7,5	< 0,2	90,5	< 0,5	76	23,2	73	< 1	< 1	< 1	37	214,4
F30b-C6_252	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	62,6	1,5	< 0,5	6,6	< 0,2	57	< 0,5	36,3	15,6	27,2	< 1	< 1	< 1	94,2	123,5
F30b-C7_275	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	< 50	1,1	< 0,5	7,5	< 0,2	66,6	< 0,5	64,2	17,1	8,1	< 1	5	< 1	59,6	21,3
F30b-C8_287	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	< 50	2	< 0,5	7,3	< 0,2	48,4	< 0,5	34	< 2,0	44,5	< 1	< 1	< 1	75	21,9
F30b-C9_299	< 0,1	< 10,0	9	< 2	< 2,0	< 50	1,4	< 0,5	9,6	< 0,2	131,2	< 0,5	75,1	14,1	20,4	< 1	< 1	< 1	63,4	46,7
S42-C1_19	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	< 50	1,5	< 0,5	14,7	< 0,2	32,3	< 0,5	23	6,3	6,8	< 1	< 1	< 1	54,3	39,2
S42-C2_46	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	8,1	< 50	< 1,0	< 0,5	16,1	< 0,2	67,6	< 0,5	50,8	7,3	13,6	< 1	< 1	< 1	20,1	12,4
S42-C3_54	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	5,3	228,7	< 1,0	< 0,5	14,2	< 0,2	22,3	< 0,5	18,6	5,9	12,6	< 1	< 1	< 1	21,6	20
S42-C4_60	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	< 50	1,8	< 0,5	< 2,0	< 0,2	195	< 0,5	155,4	11,6	11,6	< 1	< 1	< 1	60,4	36,8
S42-C5_65	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	< 50	< 1,0	< 0,5	15,1	< 0,2	120,2	< 0,5	95,6	53	33,3	< 1	6,5	< 1	85,2	70,8
S4-C1_34	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	< 50	1,7	< 0,5	7	< 0,2	49,3	< 0,5	41,3	5,7	< 5,0	< 1	< 1	< 1	40,2	19,6
S4-C2_56	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	216,7	1,5	< 0,5	8,2	< 0,2	48,3	< 0,5	29,6	8,5	< 5,0	< 1	< 1	< 1	43,1	10,3
S4-C3_86	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	2,9	722,1	< 1,0	< 0,5	8,5	< 0,2	360	< 0,5	222	11,6	11,2	< 1	< 1	< 1	14,3	13,4
S4-C4_122	< 0,1	< 10,0	5,4	< 2	17,8	< 50	1,8	< 0,5	4,7	< 0,2	54,6	< 0,5	21,2	8,9	5,8	< 1	< 1	< 1	100,5	13,5
S4-C5_144	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	3,4	470	1,4	< 0,5	6,2	< 0,2	53,1	< 0,5	31,1	54	47	< 1	< 1	< 1	80,5	103
S4-C6_164	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	66,1	1,2	< 0,5	< 2,0	< 0,2	84,6	< 0,5	41,9	7,6	< 5,0	< 1	< 1	< 1	69,2	21,3

Plan de vérification pour la détermination des teneurs de fond naturelle - Approche méthodologique / Piano di accertamento per la determinazione dei valori di fondo naturale – Approccio metodologico

Campione	Cianuri	Fluoruri	Sb	Ag	As	Ba	Be	Cd	Co	Cr VI	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	Tl	V	Zn
S4-C7_170	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	11,3	56,1	1,4	< 0,5	17	< 0,2	55,7	< 0,5	47,6	13,4	10,3	< 1	4,5	< 1	25,3	13,4
S4-C8_174	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	59,6	< 1,0	< 0,5	< 2,0	< 0,2	56,7	< 0,5	90,6	15,8	21,3	< 1	29	< 1	52,2	31,2
S4-C9_186	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	14	108	1,9	< 0,5	13,4	< 0,2	250,2	1,42	265,1	12,5	19,1	< 1	< 1	< 1	94,2	56,5
S4-C10_204	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	2,9	< 50	2	< 0,5	4	< 0,2	165,5	< 0,5	129,6	14,4	9,4	< 1	12,1	< 1	103,3	24,7
S5-C1_3	< 0,1	< 10,0	61	< 2	180	130	1,5	< 0,5	9	< 0,2	13	< 0,5	13,4	6,5	39,5	< 1	< 1	1,4	13,5	26
S5-C2_50	< 0,1	< 10,0	5,6	< 2	73	116	2,8	< 0,5	< 2,0	< 0,2	17	< 0,5	8,1	14,5	< 5,0	1,1	< 1	< 1	11	32
S5-C3_94	< 0,1	< 10,0	6,4	< 2	27	151,7	2,4	< 0,5	2	< 0,2	42,3	< 0,5	16,6	9,1	< 5,0	< 1	< 1	< 1	13,1	12,4
S5-C4_123	< 0,1	< 10,0	5,4	< 2	19,1	2561	2,9	< 0,5	< 2,0	< 0,2	210	< 0,5	91	14,3	7,4	< 1	< 1	< 1	41,2	44,4
S5-C5_136	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	158	1,9	< 0,5	< 2,0	< 0,2	83,9	< 0,5	43,2	7,4	< 5,0	< 1	< 1	< 1	8,5	34,5
S5-C6_146	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	4	< 50	2	< 0,5	< 2,0	< 0,2	73,5	< 0,5	67,5	10,5	< 5,0	< 1	< 1	< 1	16,2	39,7
S5-C7_156	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	< 50	1,2	< 0,5	< 2,0	< 0,2	46,3	< 0,5	46,6	6,3	< 5,0	< 1	< 1	< 1	16	24
S5-C8_163	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	14,6	54,7	1,7	< 0,5	< 2,0	< 0,2	132,9	< 0,5	64,7	15,8	< 5,0	< 1	< 1	< 1	13,5	37,3
S5-C9_166	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	14,8	< 50	1,7	< 0,5	< 2,0	< 0,2	32,4	< 0,5	32,9	2,7	< 5,0	< 1	< 1	< 1	19,9	39,9
S8-C1_37	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	231,1	< 1,0	< 0,5	13,3	< 0,2	54,9	< 0,5	33,6	4,5	8,3	< 1	< 1	< 1	39,6	28,2
S8-C2_50	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	4,7	< 50	1,2	< 0,5	14,9	< 0,2	38,6	< 0,5	22,6	9	9,7	< 1	< 1	< 1	64,2	32,3
S8-C3_68	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	80,9	1,8	< 0,5	14,6	< 0,2	49,3	< 0,5	25,6	12,7	16,7	< 1	< 1	< 1	58,2	37,3
S8-C4_78	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	5,8	125,5	2,1	< 0,5	7,1	< 0,2	38,6	< 0,5	22,3	14,2	21,4	< 1	< 1	< 1	16,8	12,2
S8-C5_84	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	< 50	< 1,0	< 0,5	7,3	< 0,2	338,9	< 0,5	192,4	2,7	14,9	< 1	< 1	< 1	47,2	31,1
S8-C6_88	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	< 50	< 1,0	< 0,5	6,3	< 0,2	61,3	1,23	32,3	9,7	< 5,0	< 1	< 1	< 1	65,2	25,9
S8-C7_93	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	< 50	1,2	< 0,5	9,8	< 0,2	39,9	< 0,5	52,8	16,6	< 5,0	< 1	< 1	< 1	114	46,7
S8-C8_96	< 0,1	< 10,0	< 5,0	< 2	< 2,0	77,8	2,5	< 0,5	25,4	< 0,2	81,6	< 0,5	101,4	13,4	30,7	< 1	18,2	< 1	145,2	120,7
<b>CSC – Col. A (mg/kg)</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>10</b>	<b>20*</b>	<b>20</b>	<b>150**</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>20</b>	<b>2</b>	<b>150</b>	<b>1</b>	<b>120</b>	<b>100</b>	<b>120</b>	<b>3</b>	<b>--</b>	<b>1</b>	<b>90</b>	<b>150</b>
<b>CSC – Col. B (mg/kg)</b>	<b>100</b>	<b>2000</b>	<b>30</b>	<b>40*</b>	<b>50</b>	<b>1900**</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>250</b>	<b>15</b>	<b>800</b>	<b>5</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>600</b>	<b>15</b>	<b>--</b>	<b>10</b>	<b>250</b>	<b>1500</b>

\*: limite di riferimento previsto per il parametro Ag dalla L.R. 42/2000 per aree agricole/residenziali  
\*\*: limiti di riferimento previsti per il parametro Ba dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS)

Tabella 2 – Esiti delle analisi condotte sui campioni prelevati nel corso del 2012 (concentrazioni espresse in mg/kg s.s.)

Plan de vérification pour la détermination des teneurs de fond naturelle - Approche méthodologique / Piano di accertamento per la determinazione dei valori di fondo naturale – Approccio metodologico

Come riportato nel “Piano di utilizzo dei materiali di scavo” (PRV\_C3B\_0084\_00-04-03\_10-01), sulla base delle elaborazioni statistiche dei dati acquisiti a seguito dell’esecuzione delle analisi e tenuto conto della natura litologica dei materiali campionati nel corso della perforazione dei sondaggi, è emerso che i valori dei parametri eccedenti i limiti di riferimento risultano coerenti con quelli riscontrabili normalmente per ammassi rocciosi con le medesime caratteristiche e indicano quindi l’origine naturale dei valori misurati.

Durante le attività di scavo del Cunicolo della Maddalena è stata inoltre eseguita una campagna di indagini ambientali sul materiale scavato al fine di verificarne l’idoneità all’utilizzo per la produzione di inerti da calcestruzzo. Tale campagna di indagini, come richiamato al Paragrafo 5.5 del “Piano di Utilizzo dei materiali di scavo” (PRV\_C3B\_0084\_00-04-03\_10-01), ha evidenziato la presenza di elevate concentrazioni di Arsenico (As) nei cumuli di smarino campionati e su ulteriori campioni prelevati dalle cassette catalogatrici di alcuni dei sondaggi già presi in considerazione nel corso delle indagini condotte nel 2012.

Le anomale concentrazioni di As riscontrate durante la realizzazione del Cunicolo della Maddalena e localizzate tra le pk 200 e pk 300 del cunicolo stesso risulterebbero tuttavia ascrivibili alla presenza di fenomeni di origine idrotermale localizzati al contatto tra unità geologiche differenti.

Nella tabella seguente vengono riportate le anomalie relative alle concentrazioni di As registrate a seguito delle analisi condotte in fase di realizzazione del Cunicolo della Maddalena.

	Composti inorganici	A	B	superamenti CSC				
		Siti ad uso Verde pubblico, privato e residenziale(mg *kg-1 espressi come ss)	Siti ad uso Commerciale e Industriale(mg* kg-1 espressi come ss)	concentrazioni misurate (mg/kg)	codice prelievo	località	litologia	FASE
As	Arsenico	20	50	160	solido in vena PK 205	Cunico Maddalena	AMC (gneiss aplitici Ambin)	ritorno esperienza Maddalena
				410	solido in vena PK 222			
				85	solido in vena PK 246			
				57	solido in vena PK 255			
				33	solido in vena PK 270			
				27	solido in vena PK 276			
				340	fraz granul. >50 mm	cumulo 9 (pk 206.5 - pk 265.7)	AMC (gneiss aplitici Ambin)	
				110	fraz granul. <50 >20 mm			
				110	fraz granul. <20 >2 mm			
				140	fraz granul. <2 >0,5 mm	cumulo 10 (pk 265.7 - pk 319.1)	AMC (gneiss aplitici Ambin)	
				150	fraz granul. <0,5 mm			
				5	fraz granul. >50 mm			
				5	fraz granul. <50 >20 mm			
				22	fraz granul. <20 >2 mm			
				14	fraz granul. <2 >0,5 mm	S5_Pra Piano (Giaglione)	AMC (gneiss aplitici Ambin) facies cataclastiche AMC (gneiss aplitici Ambin) facies sane	
				30	fraz granul. <0,5 mm			
				5300	S5/353,5			
				160	S5/405			
				24	S5/483			
				34	S5/774			
				270	S5/374,7			
				31	S5/529,6			
				36	S5/651,2			
				25	S4/558			
				104	S4/602*			
				27	S4/652			

**Tabella 3** – Concentrazioni di As registrate sui campioni analizzati durante lo scavo del Cunicolo della Maddalena (in rosso sono evidenziati i superamenti delle CSC)

#### 4. Siti di destinazione del materiale di scavo e relative CSC di riferimento

Sulla base di quanto riportato nel “Piano di Utilizzo dei materiali di scavo” (PRV\_C3B\_0084\_00-04-03\_10-01) i materiali provenienti dagli scavi delle opere in progetto saranno destinati ai seguenti siti:

- sito di deposito intermedio di Salbertrand presso il quale il materiale di scavo sarà alternativamente:
  - processato in impianto di valorizzazione inerti per produrre aggregati da utilizzare per produzione di Cls nelle aree di cantiere;
  - processato in impianto di valorizzazione inerti per produrre aggregati da utilizzare nell’impianto di prefabbricazione conci;
  - allontanato via treno presso i siti di ripristino ambientale di Caprie e Torrazza Piemonte;
- siti di destinazione della Piana di Susa e di Bussoleno presso i quali il materiale di scavo sarà utilizzato per la realizzazione di rilevati nell’ambito delle opere in progetto.

La destinazione d’uso prevista per i siti di destinazione, come specificato dal Piano di Utilizzo di cui sopra, è stata determinata sulla base delle informazioni reperite dalla Banca Dati del Sistema Informativo Urbanistico (SIUrb) della Regione Piemonte.

Secondo quanto ricavato a seguito della consultazione del SIUrb (si veda documento Piano di Utilizzo dei materiali di scavo per maggiori informazioni) si evince che:

- le aree della Piana di Susa e di Bussoleno per le quali è previsto l’utilizzo del materiale per la realizzazione di rilevati risultano comprese all’interno di aree destinate a servizi e impianti. Per tali aree è quindi previsto il rispetto delle CSC fissate dal D.Lgs 152/06 per siti a destinazione d’uso commerciale/industriale (Col. B, Tab. 1, all. 5 parte IV);
- l’area della cava di Caprie, è localizzata nel PRGC vigente in “aree per attività Estrattive” il cui utilizzo è regolato dall’art. 2.36 delle Norme Tecniche di Attuazione. Le attività estrattive nelle aree interessate dal progetto appaiono esaurite essendo in corso le attività di ripristino ambientale. L’attuale cava insiste altresì sul territorio del comune di Condove per una superficie marginale, e più precisamente nell’area urbanistica “F - Aree di interesse generale”. In tale area il PRGC prevede la possibilità di realizzazione e potenziamento di attrezzature pubbliche e d’interesse pubblico per servizi sovra comunali. Per tale sito, oggetto di riambientalizzazione, è quindi previsto il rispetto delle CSC fissate dal D.Lgs 152/06 per siti a destinazione d’uso residenziale/verde pubblico (Col. A, Tab. 1, all. 5 parte IV);
- l’area della cava di Torrazza Piemonte è localizzata nel PRGC vigente in area “Area DLS - Zona destinata alle attività produttive, logistiche e di servizio alla produzione”. In quest’area è dunque consentita l’edificazione privata di tipo “produttivo” anche se con alcune limitazioni relative alla necessità di approvare appositi Strumenti Urbanistici Esecutivi con conseguente convenzionamento con l’Amministrazione Comunale. L’attività estrattiva è quasi totalmente completata ad eccezione di una piccola porzione a sud del sito che non sembra essere interessata dalle occupazioni temporanee. Inoltre alcune delle parti per le quali è prevista l’occupazione temporanea ed il conseguente recupero ambientale, insistono in area definita dal PRGC “SP.II/F – Aree riservate alle funzioni ferroviarie in attività” (raccordo ferroviario) e marginalmente in area “EE.A3 – zone destinate ad attività agricole in attuazione del piano d’area del parco fluviale del Po”. Per tale sito, oggetto di riambientalizzazione, è quindi previsto il rispetto delle CSC fissate dal D.Lgs 152/06 per siti a destinazione d’uso commerciale/industriale (Col. B, Tab. 1, all. 5 parte IV).

Per quanto riguarda l'area industriale di Salbertrand non risulta necessario definire la destinazione d'uso del sito e le CSC di riferimento in quanto il materiale sarà stoccato in silos sopraelevati e riutilizzato in cicli produttivi che si configurano come normale pratica industriale (impianto di valorizzazione inerti) o come processo industriale di riutilizzo (impianto di produzione dei conci) ai sensi dell'Allegato 3 al D.M. 161/2012. In entrambi i casi la lavorazione finale a cui è destinato il materiale di scavo (produzione cls/conci prefabbricati) è compatibile con la gestione di materiale conforme alle CSC di cui alla Col. B Tab. 1 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.

Ai siti di destinazione sopra descritti si aggiungono inoltre le aree di cantiere in cui sarà depositato il materiale di scavo scavato in corrispondenza degli imbocchi delle gallerie e dei cunicoli. La gestione di tali materiali rientra nel campo di applicazione dell'art. 185 del D.Lgs 152/06 e s.m.i.. In questo caso il materiale di scavo (avente volumetria pari a circa 93.356 m<sup>3</sup>) sarà stoccato direttamente sul sito di produzione a formare dune di scavo con funzioni di schermo visivo e successivamente utilizzato per ripristini dei siti a seguito della dismissione delle aree di cantiere.

## 5. Ubicazione delle indagini proposte – Siti di produzione

Per quanto riguarda le indagini di caratterizzazione ambientale previste per i siti di produzione del materiale di scavo il presente elaborato fa riferimento alla proposta di indagini riportata nel “Piano di indagini” (PRV\_C3B\_0107\_00-05-05\_10-01) redatto in fase di progettazione definitiva dell'opera e di seguito sintetizzata.

I punti di indagine proposti per l'esecuzione delle verifiche ambientali finalizzate ad integrare i dati acquisiti nel corso delle indagini condotte nel periodo compreso tra il 2003 e il 2012 relativamente ai siti di produzione del materiale di scavo consistono nella realizzazione di:

- 1 sondaggio inclinato (codice S060) effettuato a carotaggio continuo con inclinazione pari a 30° rispetto alla verticale e lunghezza pari a circa 600 m tale da intercettare la quota prevista per il Tunnel di Base; il sondaggio risulta ubicato nel comune di Giaglione, all'interno della proprietà della società Iren, lungo il versante orientale del Massiccio dell'Ambin;
- 2 sondaggi verticali (codici S061 e S062) effettuati a carotaggio continuo e spinti fino ad una profondità di 120 m dal piano campagna (p.c.); i sondaggi risultano ubicati nella piana alluvionale della Valle Cenischia, in corrispondenza dell'asse del tracciato previsto per il Tunnel di Base. Nel dettaglio il sondaggio S61 è localizzato in destra orografica e all'interno della proprietà della società Iren mentre il sondaggio S62 è localizzato in prossimità del torrente Cenischia;
- 1 sondaggio verticale (codice S073) effettuato a carotaggio continuo e spinto fino alla profondità di 50 m dal p.c.; tale sondaggio risulta localizzato in corrispondenza di un by-pass della galleria Prapontin il cui tracciato è ubicato a quote altimetricamente superiori (circa 25 m) rispetto alle Gallerie di Interconnessione;
- 2 sondaggi orizzontali (codici S101 e S102) effettuati a carotaggio continuo e aventi lunghezza rispettivamente pari a 300 m e 150 m; i suddetti sondaggi verranno realizzati in corrispondenza degli imbocchi delle gallerie e lungo il tracciato delle stesse;
- 1 sondaggio verticale (denominato S12\_PRV) effettuato a carotaggio continuo e spinto fino alla profondità di 30 m dal p.c.; il sondaggio risulta ubicato nel settore di

Plan de vérification pour la détermination des teneurs de fond naturelle - Approche méthodologique / Piano di accertamento per la determinazione dei valori di fondo naturale – Approccio metodologico

fondovalle dell'area di Salbertrand in corrispondenza della spalla in sinistra idrografica del ponte provvisorio ad uso del cantiere sulla Dora Riparia.

Nelle figure seguenti sono riportate le ubicazioni dei punti di indagine proposti per la caratterizzazione ambientale dei siti di produzione del materiale di scavo.

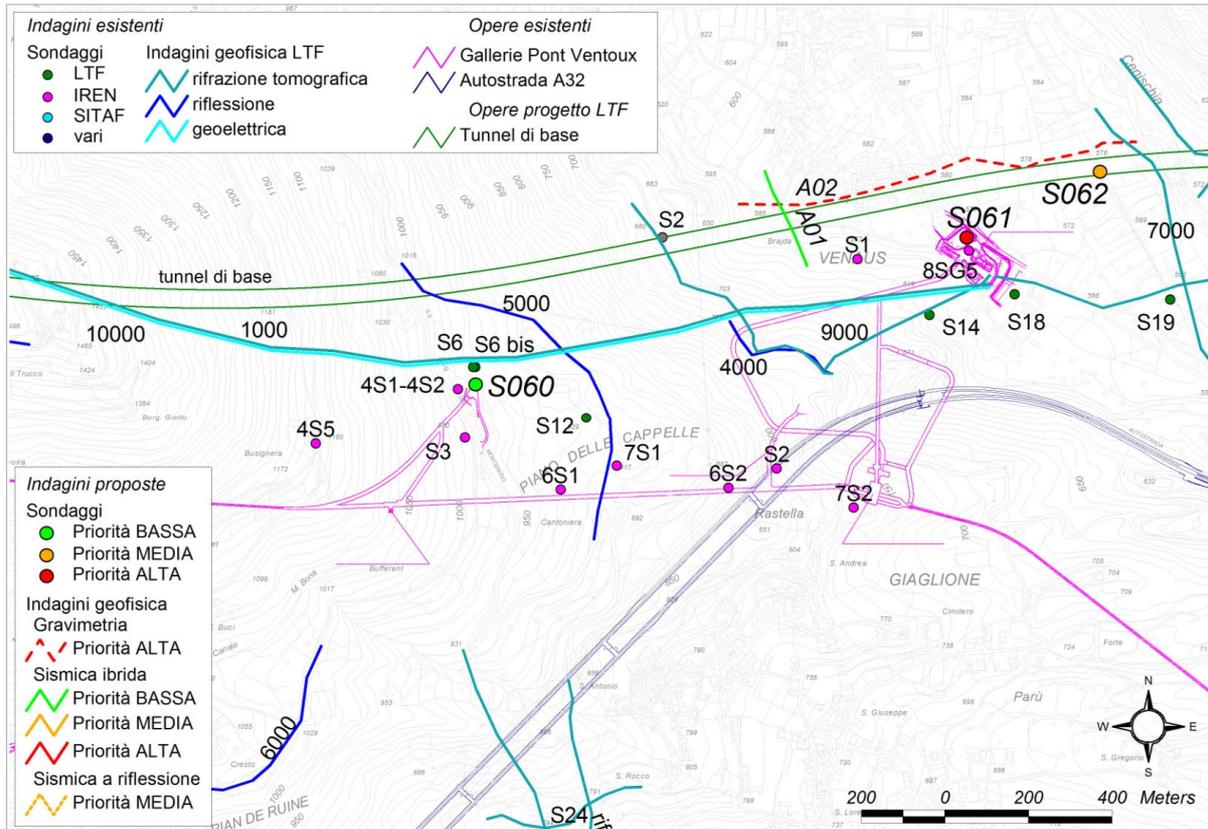


Figura 1 – Indagini previste nei settori dell'Ambin e della Val Cenischia del Tunnel di Base. I sondaggi previsti per l'esecuzione di indagini ambientali sono i S060, S061 e S062

Plan de vérification pour la détermination des teneurs de fond naturelle - Approche méthodologique / Piano di accertamento per la determinazione dei valori di fondo naturale – Approccio metodologico

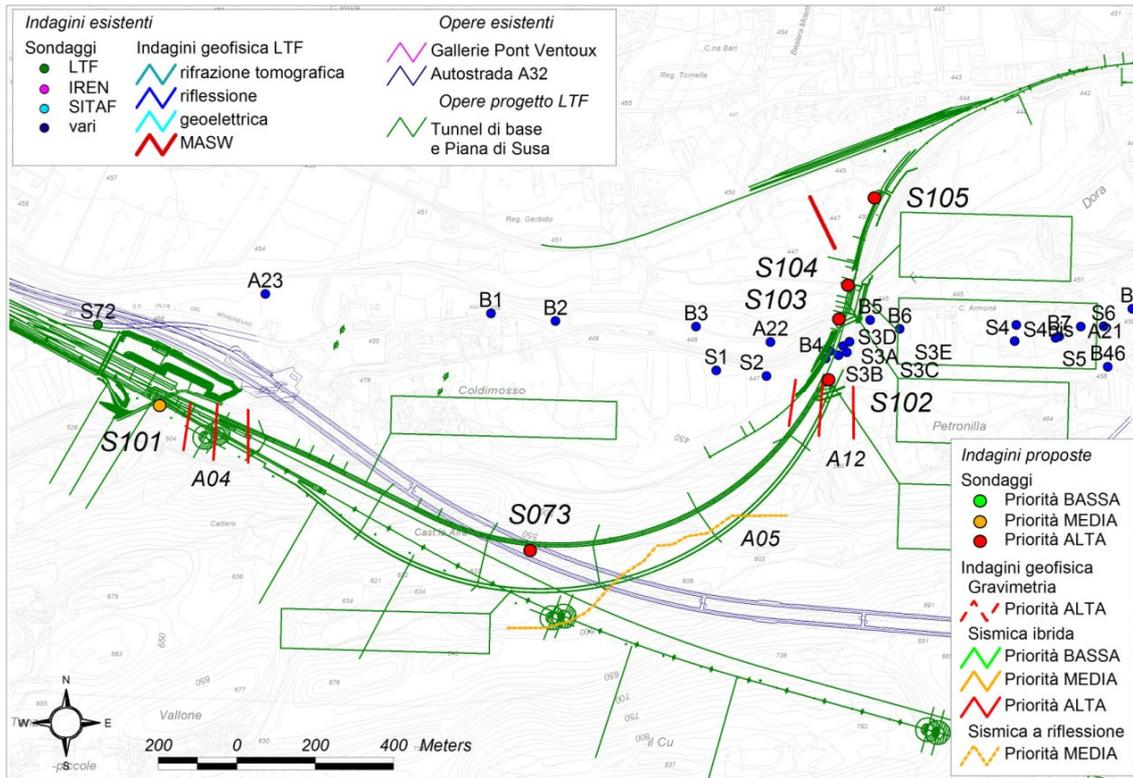


Figura 2 – Ubicazione delle indagini previste per il settore d'interconnessione di Bussoleno. I sondaggi previsti per l'esecuzione di indagini ambientali sono i S073, S101 e S102

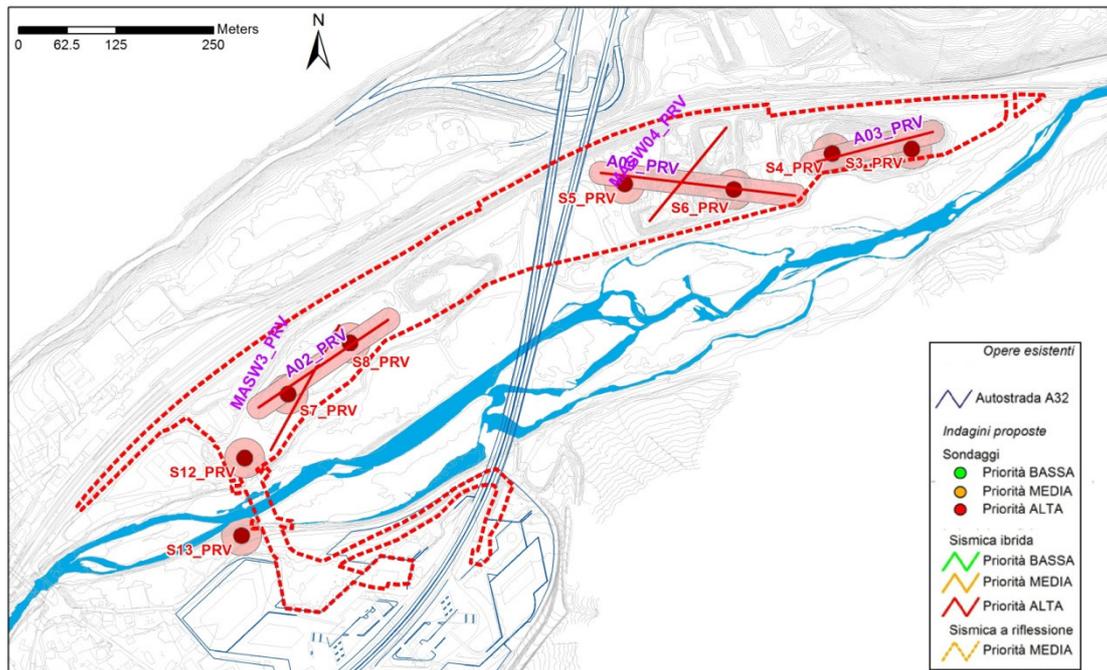


Figura 3 – Indagini previste nell'area del cantiere di Salbertrand. Il sondaggio previsto per l'esecuzione di indagini ambientali è il S12\_PRV

Nel corso dell'esecuzione delle indagini è previsto il prelievo di campioni da sottoporre ad analisi chimiche presso laboratorio accreditato.

Il prelievo dei campioni verrà eseguito sulle carote estratte dagli intervalli di profondità previsti per le quote di scavo. Per ciascun sondaggio e in corrispondenza dell'intervallo di interesse verranno quindi prelevati 3 incrementi di materiale mediante i quali verrà

Plan de vérification pour la détermination des teneurs de fond naturelle - Approche méthodologique / Piano di accertamento per la determinazione dei valori di fondo naturale – Approccio metodologico

successivamente formato il campione rappresentativo da sottoporre a determinazioni analitiche.

I campioni prelevati saranno sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio ai sensi del D.Lgs. 152/06 e s.m.i. e alla determinazione del Test di Cessione ai sensi del D.M. 05/02/1998 e s.m.i. per i parametri riportati nella tabella seguente.

Composti inorganici			Altre sostanze	
Antimonio	Cadmio *	Tallio	Stagno	Amianto *
Argento	Cobalto *	Nichel *	Vanadio	
Arsenico *	Cromo VI *	Piombo *	Zinco *	
Bario	Cromo totale *	Rame *	Cianuri liberi	
Berillio	Mercurio *	Selenio	Fluoruri	
<b>Composti organici</b>				
<b>Alifatici clorurati cancerogeni</b>	<b>Clorobenzeni</b>	<b>Fenoli e clorofenoli</b>	<b>Micronquinanti organici policlorurati</b>	<b>Idrocarburi policiclici Aromatici (IPA)*</b>
Cloruro vinile	1,2-diclorobenzene	2-clorofenolo	Sommatoria OCDD, PCDF	Benzo(a)antracene
1,2-dicloroetano	Esaclorobenzene	2,4-diclorofenolo	PCB	Benzo(a)pirene
Triclorometano	Monoclorobenzene	2,4,6-triclorofenolo	1,4-diclorobenzene	Benzo(b)fluorantene
Diclorometano	1,2,4,5-tetraclorobenzene	Pentaclorofenolo		Benzo(k)fluorantene
1,1-dicloroetano	1,2,4-triclorobenzene	Fenolo		Dibenzo(a)pirene
1,1,2- tricloroetano				Inedo(1,2,3-c,d)pirene
1,1,2,2-tetracloroetano				
1,2-dicloropropano				
<b>Nitrobenzeni</b>	<b>Composti organici aromatici</b>	<b>Pesticidi e fitofarmaci</b>		
1,2-dinitrobenzene	BTEX (Benzene, Toluene, Etilbenzene, Xilene); Stirene *	Alaclor		
1,3-dinitrobenzene	Idrocarburi C>12 *	Aldrin		
Cloronitrobenzeni		Atrazina		
Nitrobenzene		DDD, DDT, DDE		
<b>Altri parametri</b>				
Conducibilità elettrica	CSC	Ca, Mg, Na, K		
pH	TOC	CaCO <sub>3</sub>		

Tabella 4 – Tabella dei parametri da analizzare, \*parametri indicati dal DM 161 del 10 agosto 2012

## 6. Ubicazione delle indagini proposte – Siti di destinazione

Come descritto nel “Piano di indagini” (PRV\_C3B\_0107\_00-05-05\_10-01) redatto in fase di progettazione definitiva dell’opera, è prevista l’esecuzione di una campagna di indagini di carattere ambientale sui siti di destinazione del materiale di scavo previsti.

Nel dettaglio le indagini ambientali prevedono l’esecuzione di:

- sondaggi a carotaggio continuo per il prelievo di campioni da destinare alle analisi chimiche per la caratterizzazione ambientale dei siti di destinazione. Le indagini saranno eseguite secondo il seguente schema:
  - *Sito di Torrazza P.te*: esecuzione di 10 sondaggi a carotaggio continuo (denominati S14\_PRV÷S23\_PRV), spinti ad una profondità di 10 m dal p.c.;
  - *Sito di Caprie*: esecuzione di 5 sondaggi a carotaggio continuo (denominati S24\_PRV÷S28\_PRV), spinti ad una profondità di 10 m.
  - Installazione di un piezometro per ciascun foro di sondaggio che intercetti la falda freatica.
- pozzetti esplorativi per il prelievo di campioni da destinare alle analisi chimiche per la caratterizzazione ambientale dei siti di destinazione:
  - Per il sito di Torrazza P.te si prevede l’esecuzione di circa 40 pozzetti esplorativi spinti alla profondità di 1 m dal p.c. I pozzetti saranno realizzati secondo una maglia quadrata di 100 m di lato.
  - Per il sito di Caprie si prevede l’esecuzione di circa 30 pozzetti esplorativi spinti ad una profondità di 1 m da p.c. (o comunque fino al substrato affiorante

se posto a profondità inferiore) e saranno realizzati secondo una maglia quadrata di 50 m.

- Per i siti di destinazione della Piana di Susa si prevede l'esecuzione di 52 pozzetti spinti a profondità di 1 m secondo una maglia quadrata di lato pari a 250 m
- Per i siti di destinazione nel settore di Bussoleno si prevede l'esecuzione di 16 pozzetti spinti a profondità di 1 m secondo una maglia quadrata di lato pari a 250 m.

Per quanto riguarda il sito di destinazione di Caprie verranno inoltre prelevati ulteriori 30 campioni di roccia da sottoporre ad analisi chimiche per la valutazione della qualità ambientale dei fronti di cava, secondo una maglia quadrata di 50 m di lato.

Negli stralci planimetrici seguenti si riportano i punti di indagini previste per i siti di destinazione di Caprie e Torrazza Piemonte. Per dettagli si rimanda all'elaborato PRV\_C3B\_0108\_00-05-05\_30-01. Con il simbolo grafico del rombo sono indicati negli stralci planimetrici i pozzetti geognostici eseguiti con escavatore a benna rovescia, con il cerchio i sondaggi da eseguirsi a carotaggio continuo (con relativo codice identificativo del sondaggio).

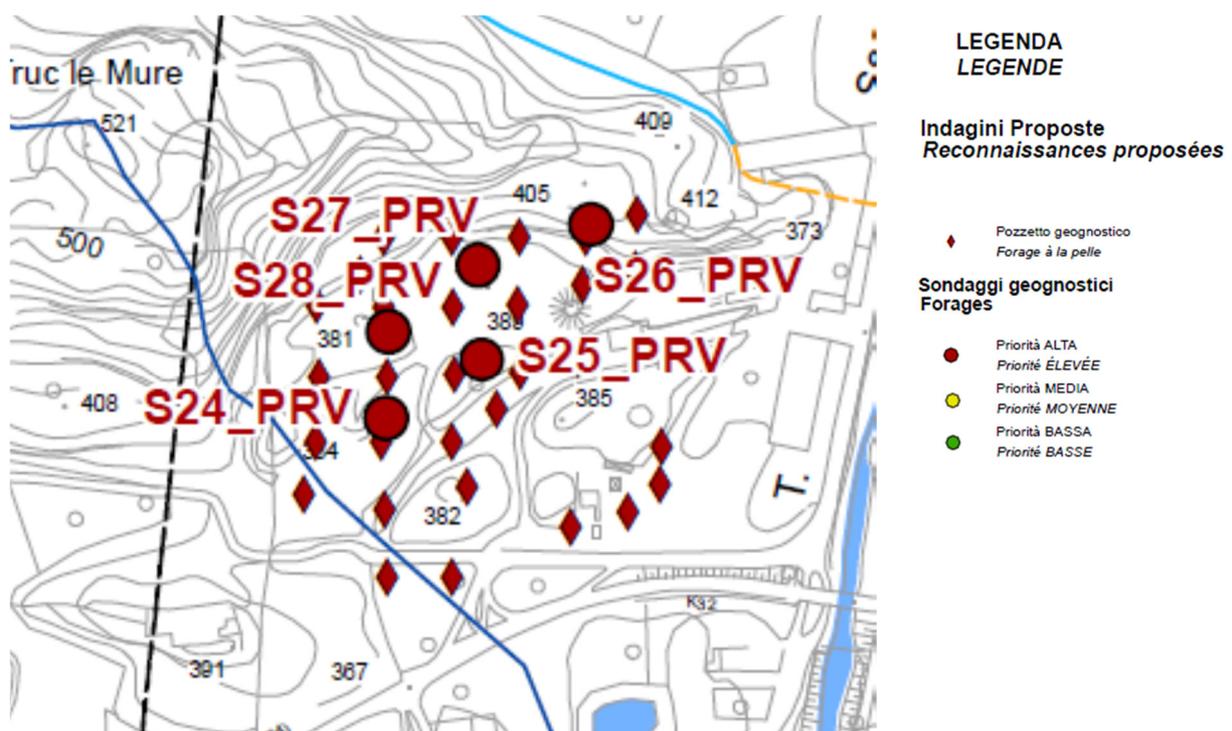


Figura 4 – Ubicazione indagini previste – Sito di Caprie

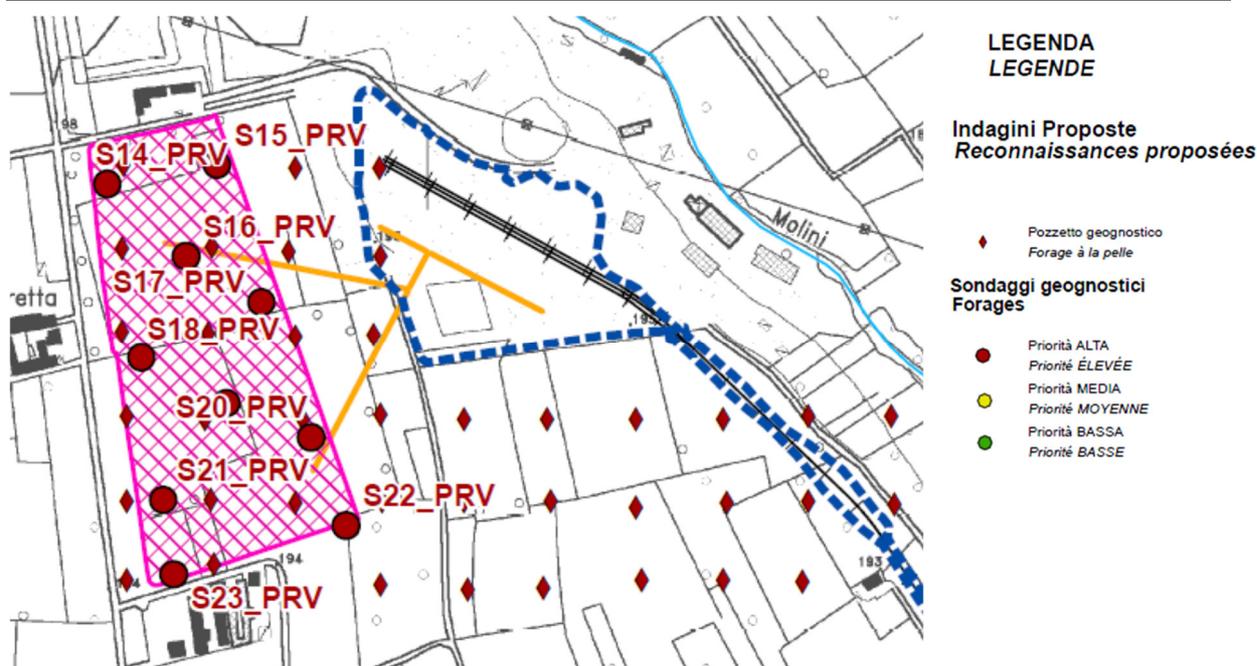


Figura 5 – Ubicazione indagini previste – Sito di Torrazza Piemonte

Analogamente a quanto previsto per i campioni prelevati in corrispondenza dei siti di produzione del materiale di scavo, i campioni provenienti dalle aree identificate come siti di destinazione saranno sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio ai sensi del D.Lgs. 152/06 e s.m.i. e alla determinazione del Test di Cessione ai sensi del D.M. 05/02/1998 e s.m.i. (qualora in presenza di materiale di riporto) per i parametri riportati nella Tabella 4.

Gli esiti delle analisi chimiche condotte ai sensi del D. Lgs. 152/06 e s.m.i. saranno confrontati con le CSC di riferimento stabilite sulla base delle destinazioni d'uso previste per ciascun sito di destinazione (si veda **Capitolo 4** del presente elaborato) o con i valori di fondo definiti per i siti (si veda **Paragrafo 7.2.3.**).

## 7. Proposta metodologica per la determinazione dei valori di fondo

Nel presente capitolo viene descritta la proposta metodologica per la determinazione dei valori di fondo relativi sia alle aree oggetto di produzione dei materiali di scavo derivanti dalle attività di realizzazione della NLTL sia alle aree oggetto di destinazione dei materiali di scavo stessi.

Quanto sopra risulta in accordo con il D.M. 161/2012 (articolo 5 comma 4 e Allegato 4) che prevede la possibilità di un utilizzo del materiale di scavo presentante superamenti delle CSC di riferimento non solamente all'interno del sito di produzione ma anche in siti differenti a condizione che ciò non comporti un peggioramento delle caratteristiche delle matrici ambientali di questi ultimi.

Il D.M. 161/2012 prevede inoltre che la determinazione dei valori di fondo naturale da considerare quali riferimento per i siti di interesse venga effettuata mediante l'utilizzo di un approccio metodologico basato:

- in parte sulla disamina della documentazione bibliografica esistente con particolare riferimento alle analisi e agli studi pregressi già valutati dagli Enti, che attestino che le concentrazioni dei parametri considerati siano legate alle caratteristiche naturali del terreno o a fenomeni naturali;
- in parte sull'interpretazione dei dati sito specifici ricavati dalle indagini condotte direttamente in sito.

La determinazione dei valori di fondo dovrà quindi tenere conto:

- della documentazione bibliografica inerente la determinazione dei valori di fondo disponibile alla data di stesura del presente documento;
- degli esiti analitici dei campioni prelevati nel corso del 2012 dalle cassette catalogatrici dei sondaggi eseguiti nel periodo compreso tra il 2003 e il 2006 in aree adiacenti al tracciato dell'opera in progetto e sintetizzati al Capitolo 3 del presente documento;
- degli esiti delle indagini condotte sui terreni di scavo in Sito e in cumulo durante la realizzazione del cunicolo esplorativo de La Maddalena;
- del piano di indagini proposto in fase di progettazione definitiva dell'opera e sintetizzato ai Capitoli 5 e 6 del presente elaborato.

Le attività di indagini integrative descritte in precedenza verranno svolte in piena condivisione con ARPA Piemonte (sia in termini di ubicazione delle indagini che di set analitico, prevedendo eventualmente analisi in contraddittorio dei campioni prelevati). Analogamente, si procederà a definire congiuntamente con ARPA le metodologie di gestione statistica dei dati per la definizione dei valori di fondo da adottarsi per l'opera.

## **7.1 Confronto con i dati bibliografici della rete di monitoraggio di ARPA Piemonte**

Per quanto riguarda la consultazione di elaborati e studi valutati dagli Enti competenti, si farà riferimento alle banche dati disponibili presso gli Enti competenti in materia ambientale, con particolare riferimento al documento “Analisi ambientale sulla contaminazione diffusa (suolo e acque sotterranee) del territorio regionale per la definizione di valori di fondo per diverse categorie di inquinanti” pubblicato da ARPA Piemonte – Dipartimento Tematico Geologia e Dissesto nel mese di ottobre 2014 nonché ai relativi studi di aggiornamento successivi.

Lo studio sopracitato ha avuto come obiettivo principale la valutazione dell'origine dei principali contaminanti e la distribuzione spaziale degli stessi nel suolo del territorio regionale piemontese per la determinazione dei valori di fondo da assumere come riferimento per i parametri per i quali sono previste le CSC dal D. Lgs 152/06.

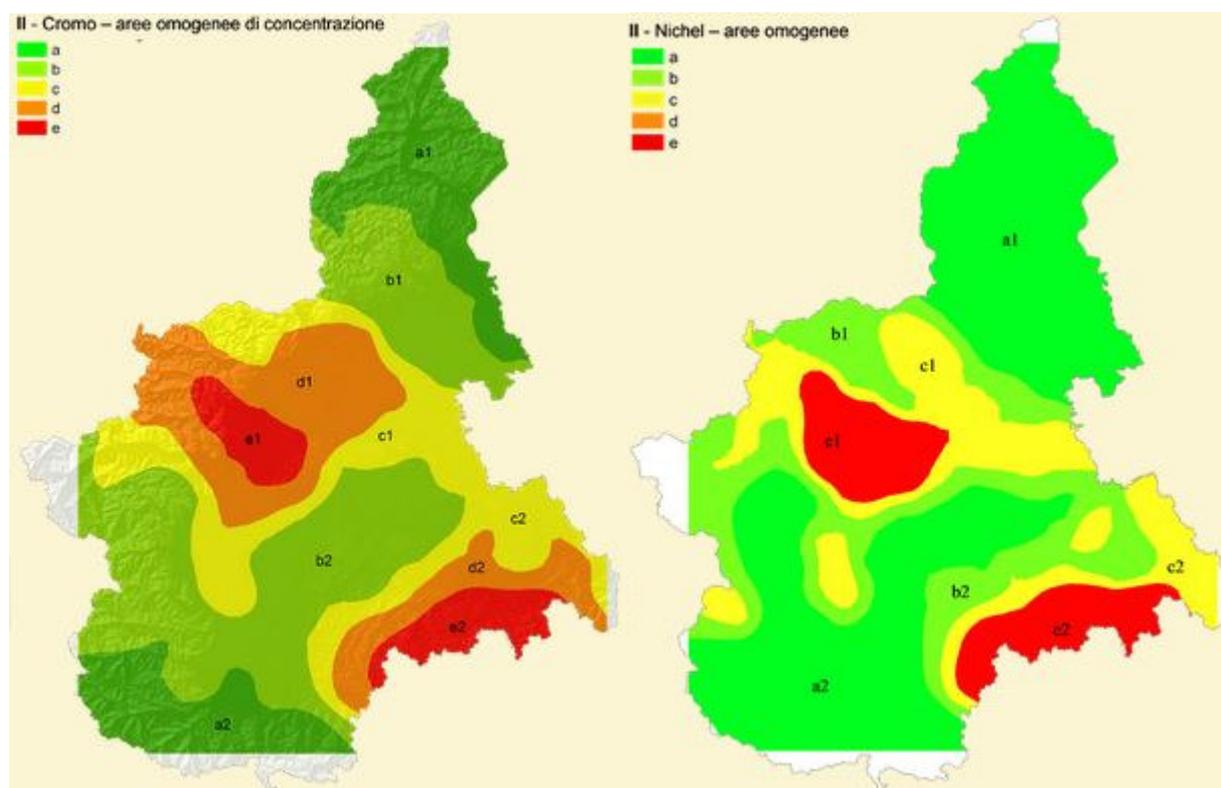
La determinazione dei valori di fondo è stata condotta da ARPA sulla base degli standard internazionali previsti dalla normativa ISO 19258:2005 “Soil quality – Guidance on the determination of background values”.

Lo studio, condotto su numero rilevante di campioni prelevati distribuiti in corrispondenza di tutto il territorio piemontese secondo maglie generalmente regolari, ha permesso di identificare le porzioni di territorio caratterizzate da fenomeni di superamenti delle CSC di riferimento attribuibili al fondo naturale, nonché il possibile impatto di contaminazioni di origine antropica.

In particolare per ciascuno dei campioni analizzati sono stati ricercati diversi gruppi di contaminanti organici e inorganici allo scopo di definire l'estensione delle aree caratterizzate dalla presenza di contaminanti di prevalente origine naturale o antropica.

Ai fini della determinazione dei valori di fondo si farà quindi riferimento alla parte di studio inerente le valutazioni espresse da ARPA Piemonte circa l'origine e l'estensione delle aree con presenza di contaminanti di origine prevalentemente naturale e ascrivibili al gruppo dei metalli pesanti/metalloidi (in particolare arsenico, berillio, cobalto, cromo, nichel, antimonio, vanadio e zinco).

Nella figura seguente vengono riportati alcuni esempi di elaborazioni cartografiche di ARPA Piemonte relative alla contaminazione diffusa da metalli pesanti/metalloidi, con particolare riferimento a Cr e Ni, nel sottosuolo del territorio piemontese.



*Figura 6 – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) e aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge (parametri Cromo e Nichel)*

ARPA Piemonte ha già provveduto, ad effettuare un proprio approfondimento in fase di istruttoria tecnica del Progetto di Variante in merito alla definizione dei valori di fondo di As, Cr e Ni nei siti di interesse del Progetto. Tali approfondimenti sono riassunti nel documento “Parametri statistici e valori di fondo di As, Cr e Ni per le aree omogenee di concentrazione dei suoli dei Comuni di Caprie, Bussoleno, Susa e Torrazza Piemonte” (ARPA Piemonte, 2017). Tale studio è riportato in **Allegato 1** al presente documento. Il suddetto studio sarà quindi utilizzato in fase di raccolta dei dati bibliografici disponibili per la determinazione dei valori di fondo dei Siti di deposito individuati. Gli approfondimenti di ARPA Piemonte hanno permesso di proporre i valori di fondo per i suoli dei Comuni di Caprie, Bussoleno, Susa e Torrazza Piemonte riportati nella tabella seguente:

Comune	As	Cr	Ni
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Caprie	10	271	160
Bussoleno	10	209	160
Susa	10	209	160
Torrazza Piemonte	10	271	160
<b>CSC – Col. A (mg/kg)</b>	<b>20</b>	<b>150</b>	<b>150</b>
<b>CSC – Col. B (mg/kg)</b>	<b>50</b>	<b>800</b>	<b>800</b>

*Tabella 5 – Valori di fondo siti di destinazione – ARPA Piemonte*

Ovviamente tali valori sono al momento attuale da considerarsi come previsionali, da approfondirsi e dettagliarsi a seguito dell'esecuzione delle indagini descritte nei Capitoli precedenti, che permetteranno di ampliare il set campionario ed analitico a disposizione e quindi di definire con maggiore accuratezza i valori di fondo sito-specifici. Tuttavia, pur in via preliminare, risulta già evidente dalle elaborazioni di ARPA Piemonte l'influenza del fondo naturale di Cr e Ni nei siti di destinazione individuati.

## 7.2 Gestione statistica dei dati sito specifici

A seguito dell'esecuzione delle indagini integrative sui siti di produzione e destinazione dei materiali di scavo descritte al Capitolo 5 e Capitolo 6, si procederà ad una gestione statistica dei dati finalizzata alla determinazione dei valori di fondo secondo l'approccio descritto nei paragrafi seguenti. Tale studio verrà svolto adottando i seguenti riferimenti bibliografici:

- Protocollo Operativo APAT/ISS per la determinazione di valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli di Siti di Interesse Nazionale (2006);
- Linee guida ISPRA per la determinazione dei valori di fondo per i suoli e per le acque sotterranee (ISPRA, novembre 2017)
- ISO 19258:2005 “Soil quality – Guidance on the determination of background values”.

In particolare, per quanto concerne i valori di fondo dei siti di produzione, si farà riferimento a quanto riportato nelle linee guida ISPRA al paragrafo A.4 – Materiali Lapidei che riporta quanto segue:

*“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.”*

### **7.2.1 Definizione del dataset campionario**

In ogni stazione di campionamento saranno prelevati 3 campioni: il top soil, un campione rappresentativo dello strato superficiale 0-1 m, e uno rappresentativo dello terreno profondo (compreso tra il primo metro ed il tetto del terreno saturo). L'analisi per la determinazione dei valori di fondo sarà condotta per comparti omogenei in termini di litologia e classi di profondità. Non saranno prelevati campioni costituiti da materiale di riporto.

I documenti consultati inerenti la stima dei valori del fondo, indicano che il numero minimo di campioni necessari a garantire la significatività statistica del dato è compreso fra 10 e 30. Con più rigore, il numero di campioni su cui basare l'analisi per derivare il valore rappresentativo del fondo dipende dal tipo di distribuzione dei valori e dal livello di accettabilità dell'errore definito a priori dal decisore. Il numero minimo di campioni necessari per la determinazione della distribuzione di concentrazioni di fondo è posto pari a 30. Tale numero deve essere rispettato per ogni strato omogeneo, come definito nel paragrafo precedente.

Come ovvio un numero di campioni maggiore aumenta la significatività del dato.

### **7.2.2 Analisi statistica dei dati**

Una volta definito il set di dati corrispondente al campione rappresentativo, si procederà alla determinazione del fondo mediante l'applicazione di test statistici secondo i passaggi indicati nel seguito:

- analisi preliminare del set di dati (identificazione e trattamento di outliers e nondetect);
- definizione della distribuzione dei dati (test statistici di distribuzione);
- rappresentazione della distribuzione dei dati (descrittori numerici e grafici);
- definizione dei valori di concentrazione rappresentativi del fondo.

La valutazione dei dati, finalizzata a stabilire l'applicabilità di criteri statistici sui valori di concentrazione analiticamente determinati, prevede i seguenti passaggi:

- identificare gli outlier e distinguere i “veri outlier” dai “falsi outlier”. I “veri outlier” possono derivare da errori di trascrizione, di codifica dei dati o da una qualsiasi inefficienza degli strumenti del sistema di rilevazione dei dati. I “falsi outlier” sono valori estremi reali. È dunque necessario identificare e differenziare i tipi di outlier, in modo da rimuovere i primi e gestire i secondi;
- identificare i non-detect. Si ritiene opportuno porre, in ogni caso e quindi in corrispondenza a qualsiasi distribuzione dell'insieme dei dati, i non-detect pari a metà del corrispondente detection limit (n.d. = d.l.).

Lo scopo dell'analisi preliminare dei dati è quello di individuare la distribuzione di probabilità che meglio approssima l'insieme dei dati disponibili. Quando si ha a che fare con dati ambientali (in particolare concentrazioni di specie chimiche nella matrice suolo), infatti, le distribuzioni di probabilità che più comunemente le rappresentano sono:

- distribuzione gaussiana o normale;
- distribuzione lognormale;
- distribuzione gamma.

Plan de vérification pour la détermination des teneurs de fond naturelle - Approche méthodologique / Piano di accertamento per la determinazione dei valori di fondo naturale – Approccio metodologico

L'individuazione del tipo di distribuzione che meglio approssima il campione dei dati serve a definire i descrittori statistici più appropriati per stimare il valore del fondo. Dal tipo di distribuzione dipendono inoltre i test statistici da applicare per il confronto tra due set di dati (ad es. per valutare la compatibilità del fondo naturale dei siti di destinazione con quelli del sito di produzione).

Il tipo di distribuzione del set di dati può essere rappresentato con descrittori numerici o con metodi grafici, differenti in funzione del tipo di distribuzione. I principali descrittori numerici che saranno adottati nello studio statistico della distribuzione campionaria sono riportati nella tabella seguente.

DESCRITTORE STATISTICO	DEFINIZIONE
Massimo e Minimo	Rappresentano il valore massimo e quello minimo nell'insieme dei dati.
Media aritmetica	È data dalla somma di tutti i valori divisa per il numero dei casi.
Mediana	Rappresenta il valore centrale di una distribuzione ordinata in senso crescente.
Percentile	Sono quei valori che dividono la distribuzione in cento parti, in modo che, ad esempio, il 25° percentile (o primo quartile) sia quel valore che supera il 25% della distribuzione ed è superato dal 75%, il 50° percentile (o secondo quartile) sia il valore che divide la distribuzione in due parti uguali (e quindi il secondo quartile coincide con la mediana), il 75° percentile (terzo quartile) sia quel valore superato dal 25% della distribuzione.
Range	Rappresenta la differenza fra il valore massimo e il minimo.
Range interquartile	Rappresenta la differenza tra il 75° e il 25° percentile.
Varianza	Rappresenta la distanza di un valore dalla media aritmetica della distribuzione.
Deviazione Standard o scarto tipo o scarto quadratico medio	Rappresenta la misura della dispersione di n misure in un set di dati. È la radice quadrata della media degli scarti, al quadrato.
Coefficiente di skewness	Fornisce una stima della asimmetria della forma di distribuzione dei dati.
Coefficiente di curtosi	Fornisce una stima della acutezza della curva di distribuzione dei dati.
Coefficiente di variazione	È un indice che permette di analizzare la dispersione dei valori attorno alla media indipendentemente dall'unità di misura, fornendo un'indicazione sulla variabilità delle osservazioni rilevate.

*Tabella 6 – Principali descrittori statistici*

Le modalità di rappresentazione grafica del set di dati che saranno utilizzate sono:

- istogrammi;
- box-plot;
- curve cumulative di frequenza

Nelle figure seguenti vengono riportati alcuni esempi relativi alle rappresentazioni grafiche che verranno utilizzate.

Plan de vérification pour la détermination des teneurs de fond naturelle - Approche méthodologique / Piano di accertamento per la determinazione dei valori di fondo naturale – Approccio metodologico

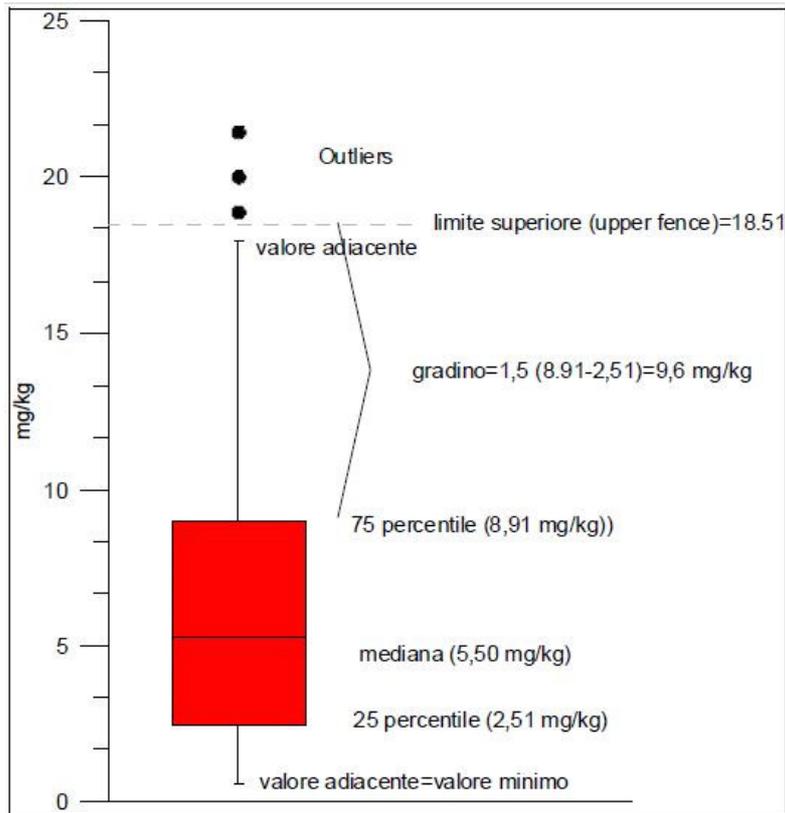


Figura 7 – Esempio di parametri statistici rappresentati tramite box plot

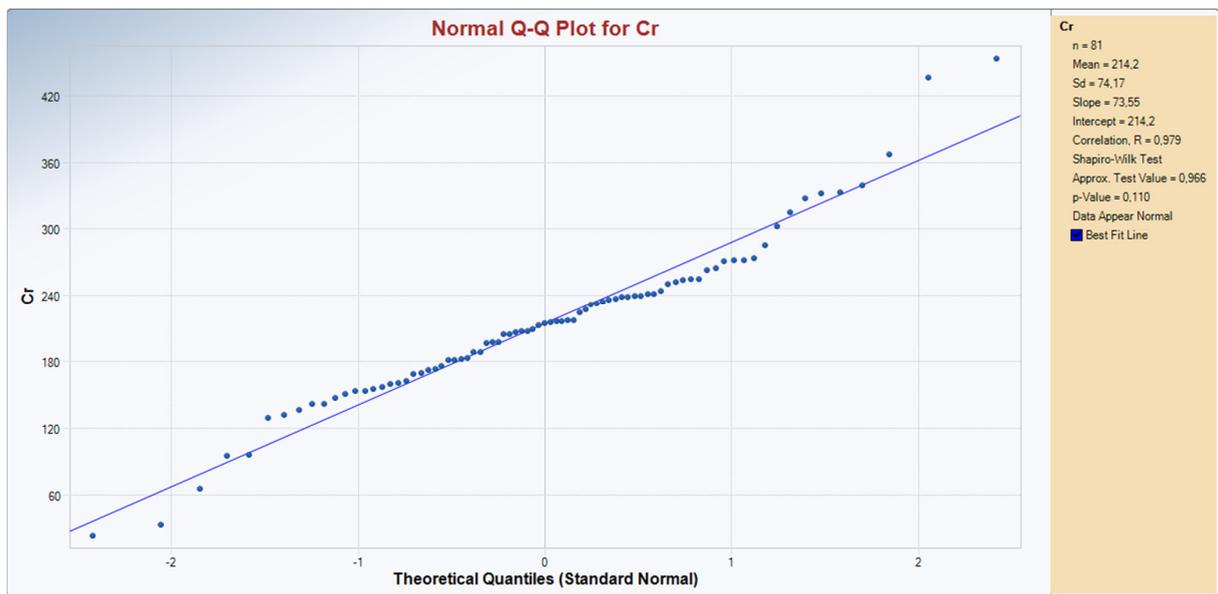


Figura 8 – Esempio di curva cumulativa di frequenza per il Cr

In particolare, l'utilizzo delle curve cumulative di frequenza permette di individuare punti di discontinuità. In tal caso si potranno considerare due popolazioni campionarie distinte, separate proprio dal punto di discontinuità, che potrebbe essere assunto quale indicatore del fondo naturale, come nell'esempio riportato nell'immagine seguente (rappresentativa dell'As).

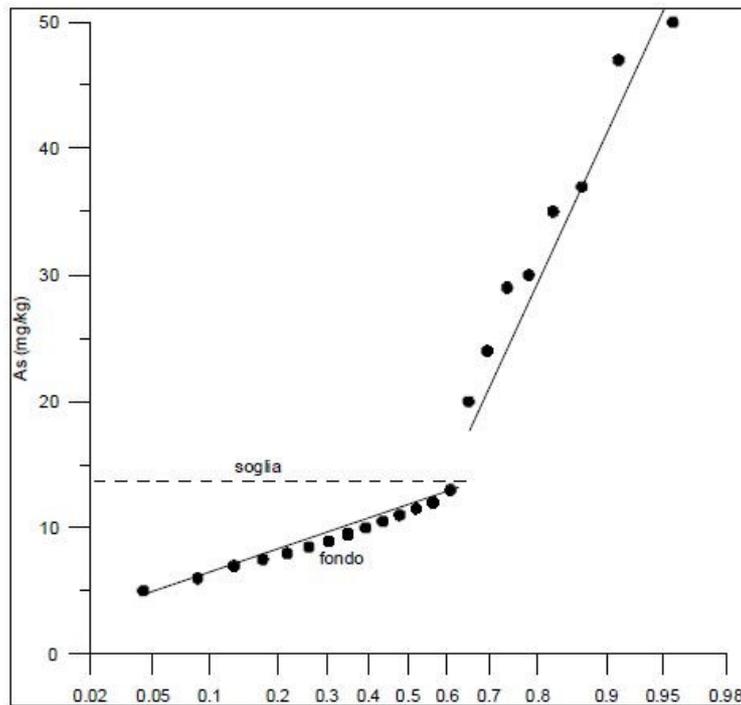


Figura 9 – Esempio di curva cumulativa di frequenza

### 7.2.3 Determinazione dei valori di fondo

Per la definizione dei valori di fondo si adatterà il seguente approccio (sia per i siti di produzione quanto per quelli di destinazione):

- verifica dell'adeguatezza del numero di dati utili disponibili (minimo 30);
- applicazione di test statistici per la verifica del tipo di distribuzione (es. Shapiro-Wilk, Lilliefors, Kolmogorov-Smirnov)
- calcolo e presentazione dei descrittori statistici;
- costruzione della curva cumulativa di frequenza e individuazione di eventuali punti di discontinuità;
- selezione del valore di fondo in funzione dell'indicatore condiviso con ARPA Piemonte e del tipo di distribuzione campionaria (UTL, UCL, ecc.).

I valori di fondo così definiti, previa condivisione con ARPA Piemonte, saranno assunti (qualora superiori alle CSC di riferimento) quali limiti di riferimento sito-specifici per i siti di produzione ed i siti di destinazione, al fine della verifica della compatibilità del trasporto di materiale di scavo presso i Siti.

## **8. Allegato 1: Nota tecnica ARPA Piemonte su valori di fondo**

Documento allegato alla presente relazione: nota tecnica ARPA Piemonte “*Parametri statistici e valori di fondo di As, Cr e Ni per le aree omogenee di concentrazione dei suoli dei Comuni di Caprie, Bussoleno, Susa e Torrazza Piemonte*” (ARPA Piemonte, 2017)”.

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](mailto:gabriele.fabietti@arpa.piemonte.it)



## Indice

<b>La rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte.....</b>	<b>3</b>
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
<b>Concentrazioni di Cromo, Nichel, Cobalto e Arsenico a scala regionale .....</b>	<b>19</b>
<b>Concentrazioni di Cromo, Nichel e Arsenico per le aree omogenee che interessano il territorio dei comuni di Caprie, Bussoleno, Susa e Torrazza Piemonte. ....</b>	<b>28</b>
<b>Raccomandazioni generali relative all'utilizzo dei dati .....</b>	<b>34</b>
<b>Utilizzo dei dati della rete nell'ambito del D.M. 10 agosto 2012 n. 161 .....</b>	<b>35</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>36</b>

## 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.

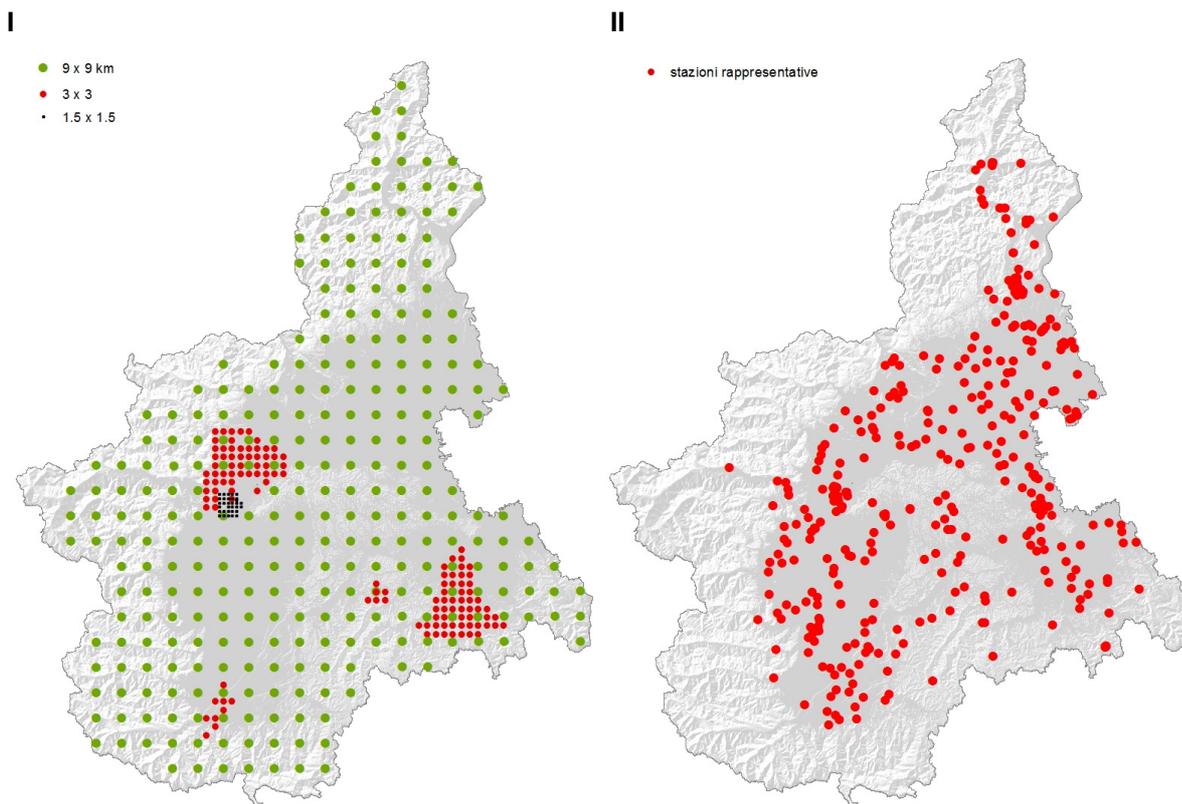
Allo stato attuale sono stati campionati e analizzati i suoli di 470 stazioni su maglia sistemica 9x9 km, realizzata su tutto il territorio piemontese, e 3x3 o 1,5x1,5 km realizzate in aree caratterizzate da problemi rilevanti di contaminazione diffusa del suolo (Figura 1 - I).

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:

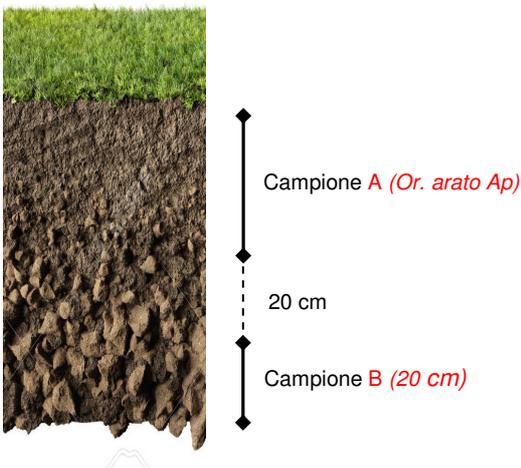
- per i suoli agricoli periodicamente lavorati la profondità di campionamento A corrisponde all'orizzonte arato (Ap) e B al campionamento effettuato a 20 cm dal limite inferiore di Ap (Figura 2);
- per i suoli naturali (bosco, prato – pascolo) e/o indisturbati (incolto) il campione A corrisponde alla 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 m<sup>2</sup> (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.

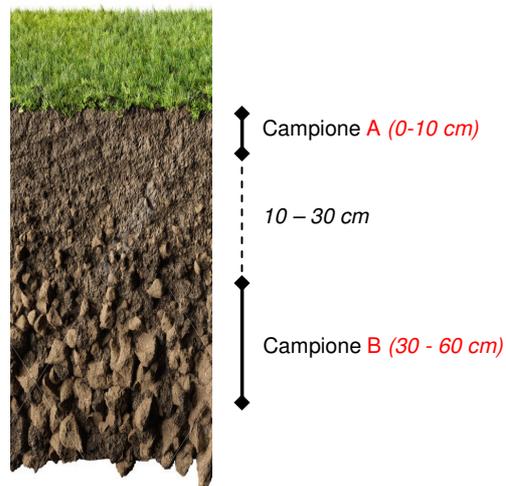
Figura 2

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:

- **lantanoide o "terre rare"** non normati dal D.Lgs. 152/06, ma di notevole interesse per la valutazione della contaminazione diffusa del suolo: (Cerio - Ce, Disprozio - 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 <sup>(1)</sup>, confronto con i limiti di legge (120 mg/kg) <sup>(2)</sup> e conteggio di campioni analizzati del Nichel (Ni) nei suoli <sup>(3)</sup> 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
<b>Media</b>	mg/kg	33	34	61	61	115	112	217	435
<b>Mediana</b>	mg/kg	27	32	54	55	100	80	136	140
<b>Dev. St</b>	mg/kg	38	17	28	30	79	95	250	819
<b>CV</b>	-	1,1	0,5	0,5	0,5	0,7	0,8	1,2	1,9
<b>Min</b>	mg/kg	4	4	8	15	19	23	30	89
<b>Max</b>	mg/kg	350	96	120	155	600	500	1600	3500
<b>25° percentile (Q1)</b>	mg/kg	15	21	39	44	73	60	92	120
<b>50° percentile</b>	mg/kg	27	32	54	55	100	80	136	140
<b>75° percentile (Q3)</b>	mg/kg	40	44	82	69	136	124	225	280
<b>90° percentile</b>	mg/kg	51	56	110	98	170	237	364	708
<b>95° percentile</b>	mg/kg	57	64	111	120	182	264	502	1371
<b>Soglia outliers ≥ <sup>(5)</sup></b>	mg/kg	77	79	147	108	230	219	424	520
<b>Numero outliers</b>	n	5	2	0	4	3	5	3	4
<b>Valore di fondo <sup>(1)</sup></b>	mg/kg	48	55	110	86	160	132 <sup>(4)</sup>	344	262 <sup>(4)</sup>
<b>Campioni</b>	n	143	142	77	49	85	34	47	17
<b>&gt; Limite di legge <sup>(2)</sup></b>	n	3	0	0	2	31	9	29	12
	%	2	0	0	4	36	26	62	71

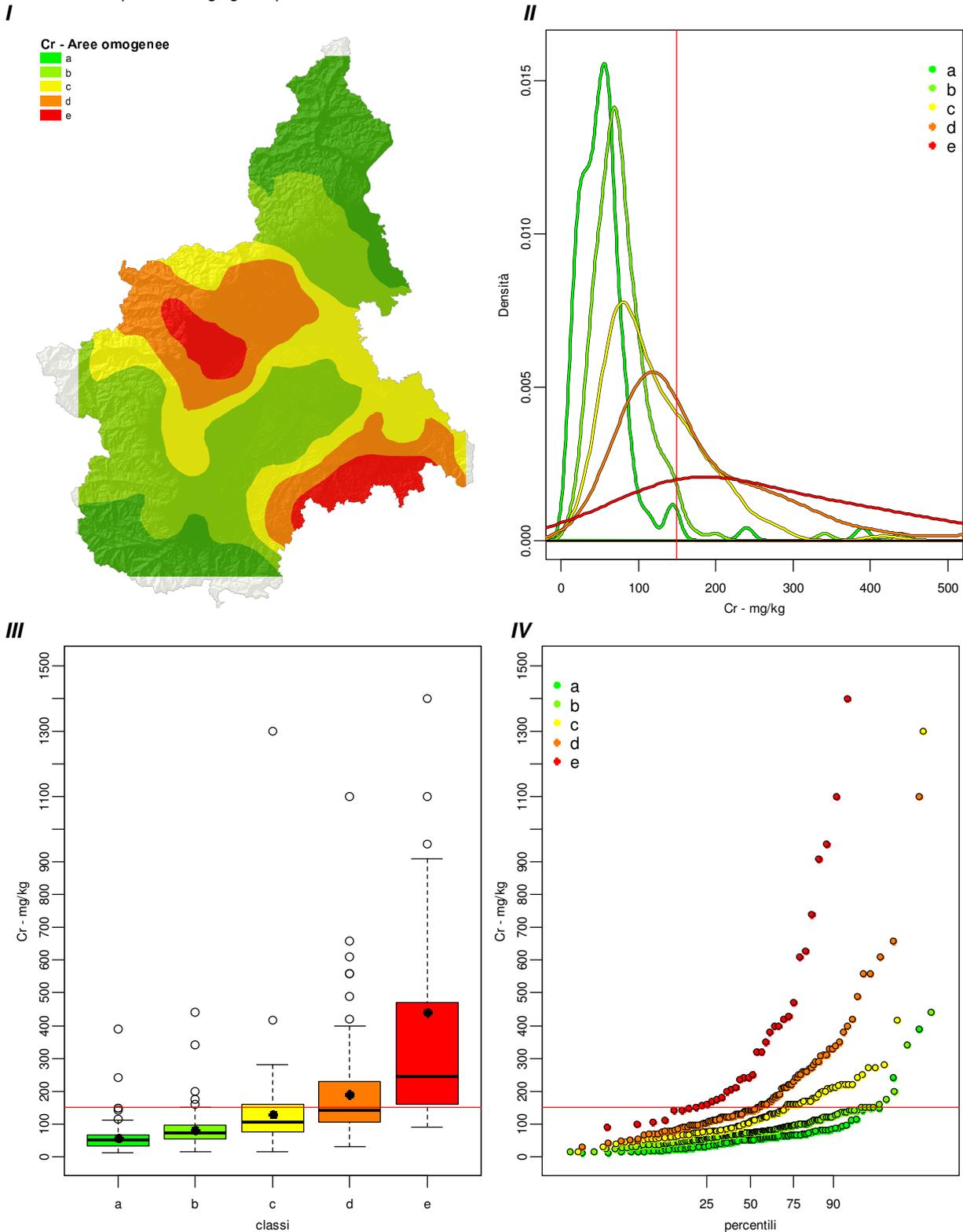
<sup>(1)</sup> Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. <sup>(2)</sup> Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. <sup>(3)</sup> 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).

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

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

Figura 3

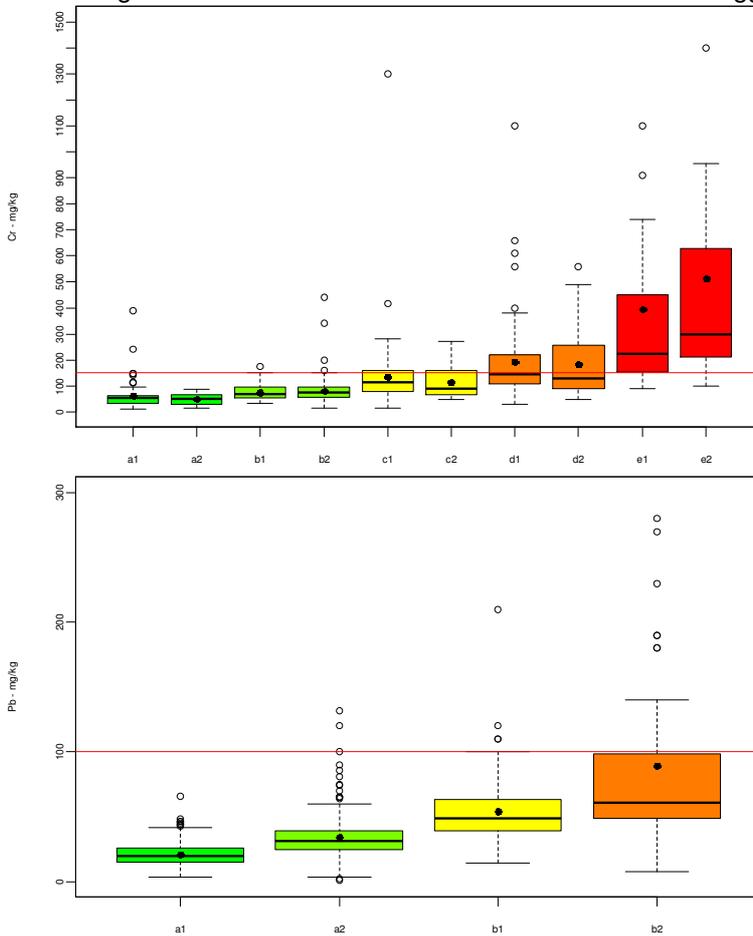
Elaborazione dei dati del Cromo (Cr)<sup>(1)</sup> per aree omogenee di concentrazione (a, b, c, d, e) e confronto con i limiti di legge<sup>(2)</sup> (linee rosse). *I* - Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge<sup>(2)</sup>. *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.



<sup>(1)</sup> 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). <sup>(2)</sup> 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<sup>(1)</sup> 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<sup>(3)</sup> (linea orizzontale rossa).

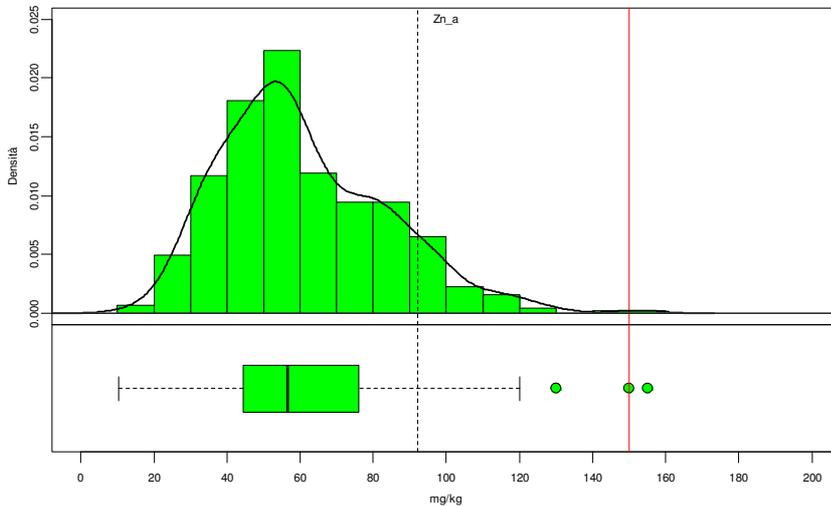


<sup>(1)</sup> rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (>Q3+1,5\*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. <sup>(2)</sup> Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) <sup>(3)</sup> 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

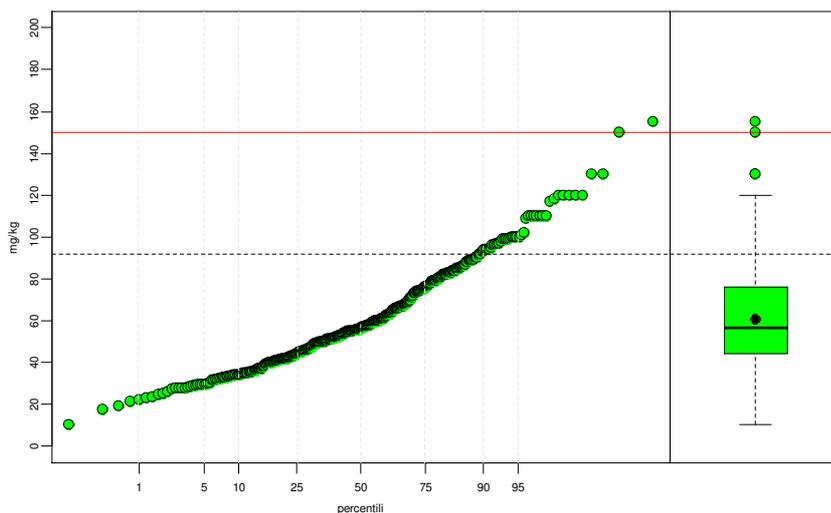
Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot<sup>(4)</sup> della concentrazione di Zinco<sup>(1)</sup> in mg/kg per l'area omogenea di concentrazione Zn\_a1, e confronto con valori di fondo<sup>(2)</sup> (linea tratteggiata nera) e limiti di legge<sup>(3)</sup> (linea continua rossa).



<sup>(1)</sup> Elaborazione degli orizzonti A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). <sup>(2)</sup> 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. <sup>(3)</sup> Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. <sup>(4)</sup> 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<sup>(4)</sup> della concentrazione di Zinco<sup>(1)</sup> in mg/kg per l'area omogenea di concentrazione Zn\_a1, e confronto con valori di fondo<sup>(2)</sup> (linea tratteggiata nera) e limiti di legge<sup>(3)</sup> (linea continua rossa).



<sup>(1)</sup> Elaborazione degli orizzonti A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). <sup>(2)</sup> 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. <sup>(3)</sup> Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. <sup>(4)</sup> 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:

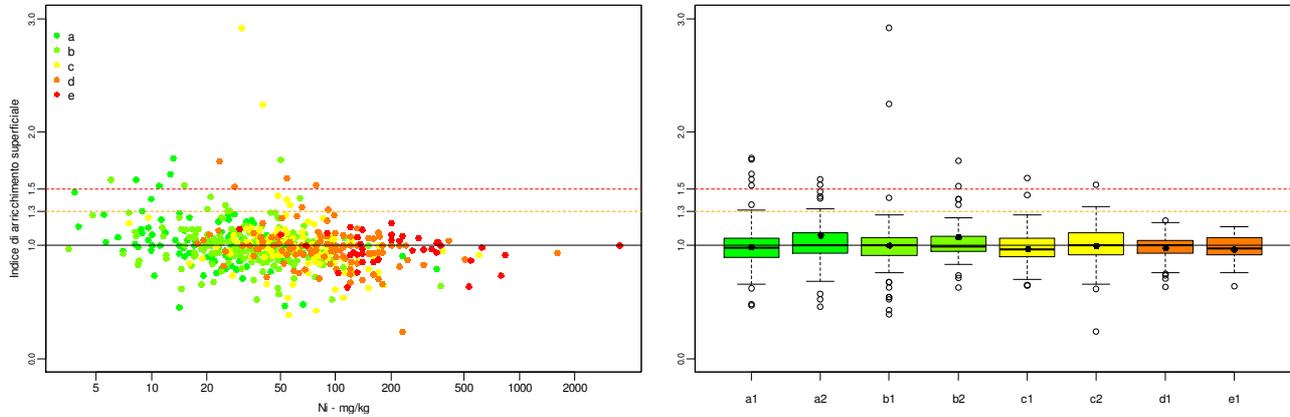
$$fA = \frac{\frac{X}{RE}}{\frac{X_{vf}}{RE_{vf}}}$$

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) <sup>(1)</sup> dell'indice di arricchimento superficiale <sup>(2)</sup> 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).

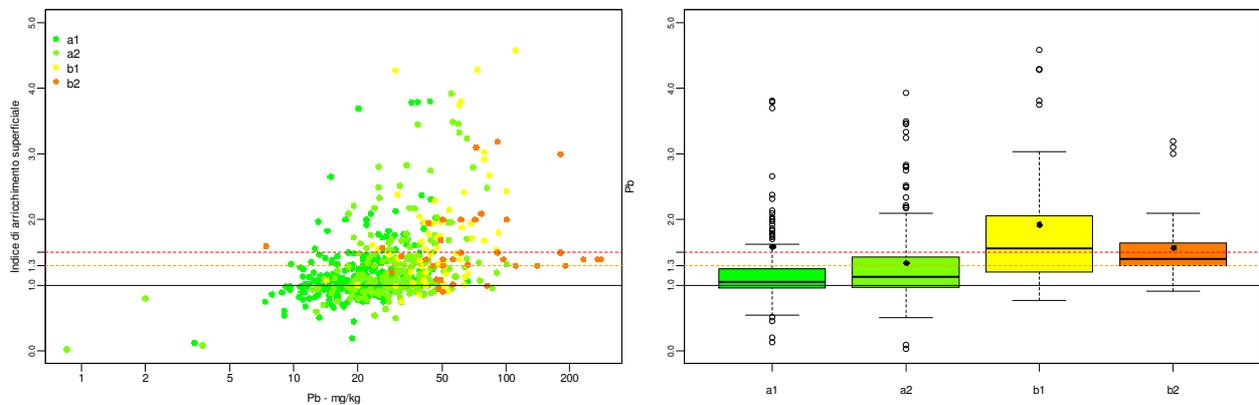


<sup>(1)</sup> rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ( $>Q3 \pm 1,5 \cdot IQR$ ), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers.

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

Figura 8

Scatterplot (I) e Box plot (II) <sup>(1)</sup> dell'indice di arricchimento superficiale <sup>(2)</sup> 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).



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

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

### **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.

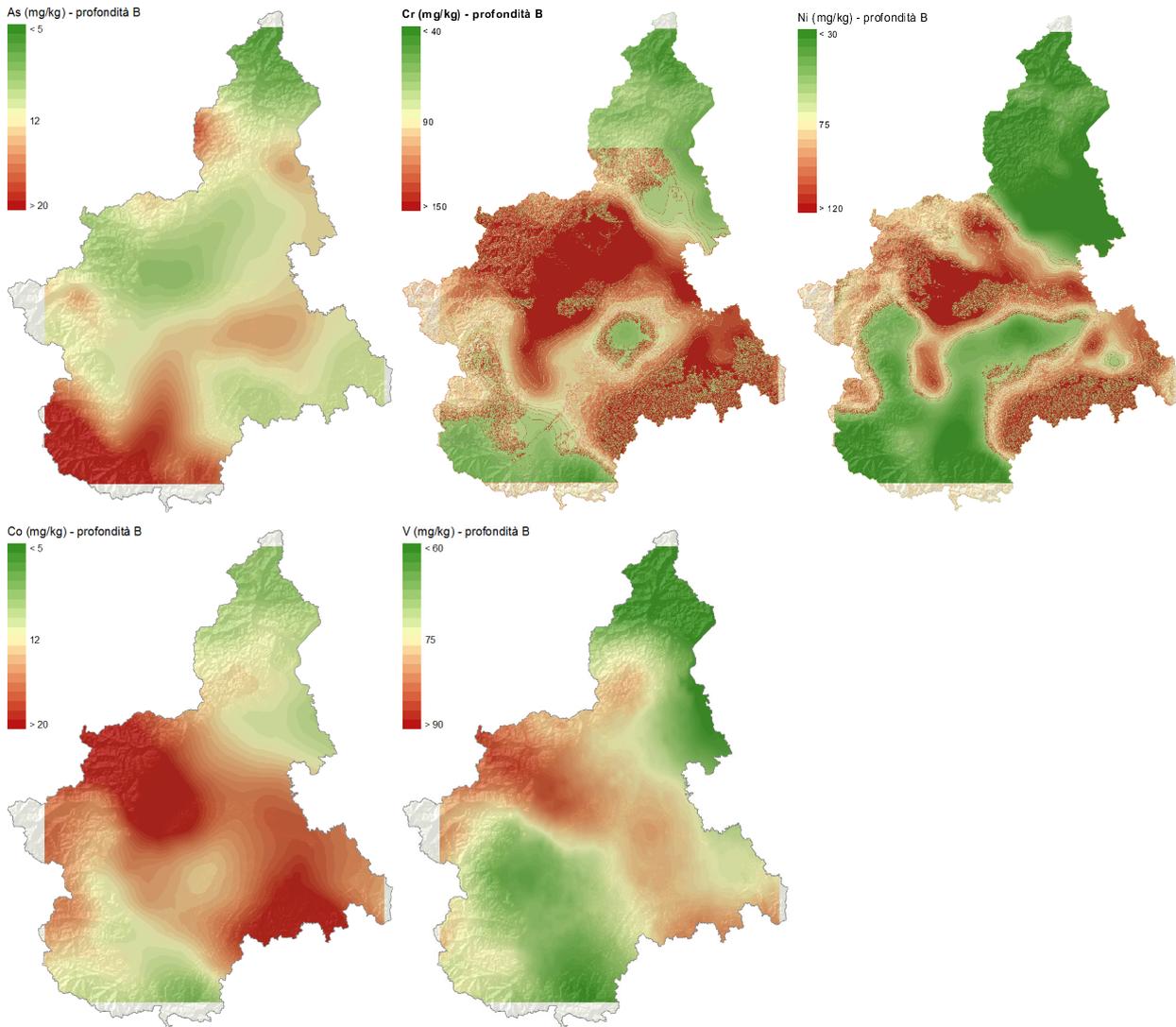
Per i contaminanti soggetti a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo di naturale - antropico*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli 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

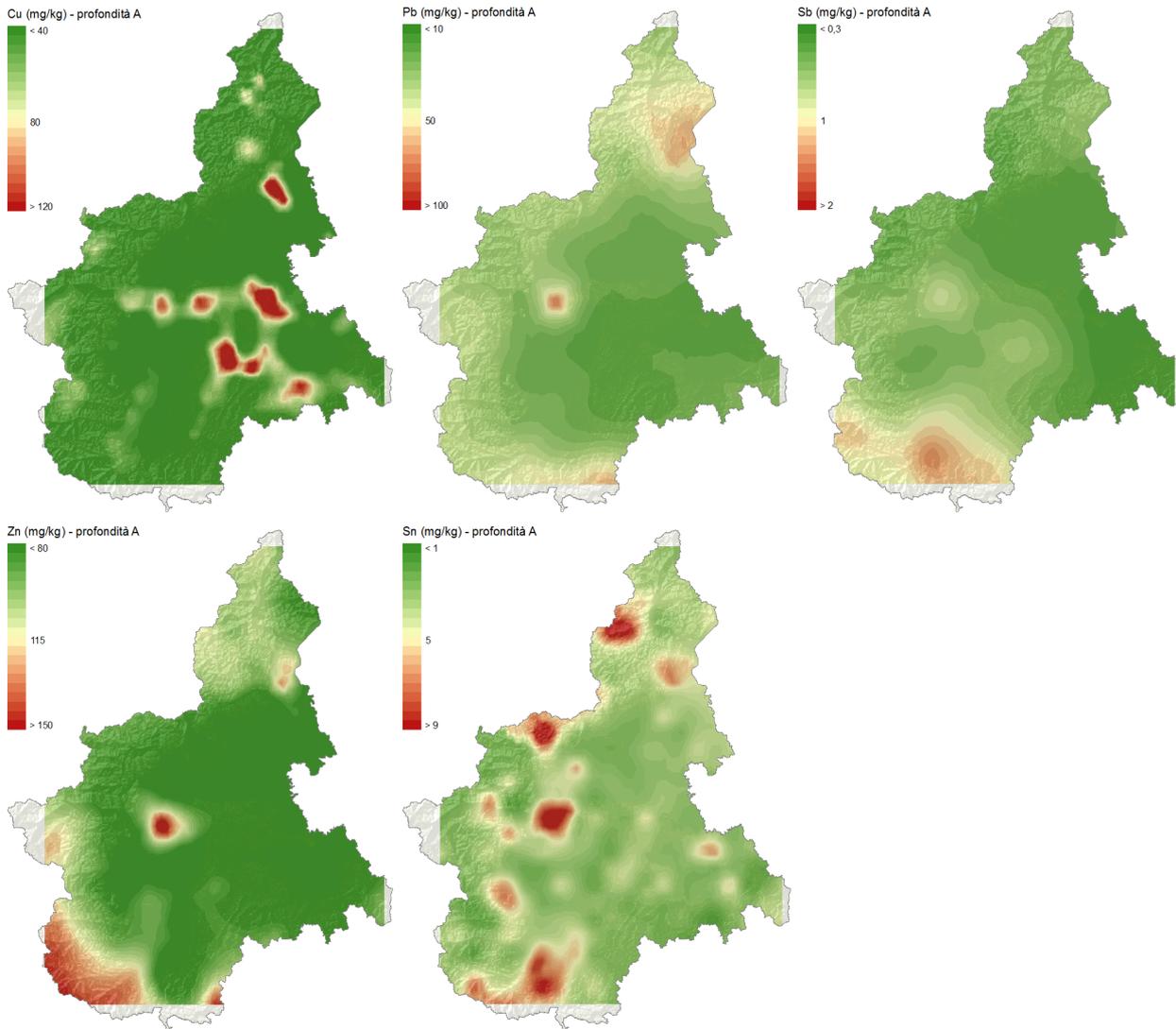
Spazializzazione della concentrazione di metalli pesanti<sup>(1)</sup> nei suoli<sup>(2)</sup> del territorio piemontese, che presentano aree critiche attribuibili in prevalenza alla composizione chimica del substrato geologico.



<sup>(1)</sup> Arsenico (As), Cromo (Cr), Nichel (Ni), Cobalto (Co) e Vanadio (V). <sup>(2)</sup> 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 10

Spazializzazione della concentrazione di metalli pesanti<sup>(1)</sup> nei suoli<sup>(2)</sup> 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.



<sup>(1)</sup> Rame (Cu), Piombo (Pb), Antimonio (Sb), Stagno (Sn), e Zinco (Zn). <sup>(2)</sup> 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”.

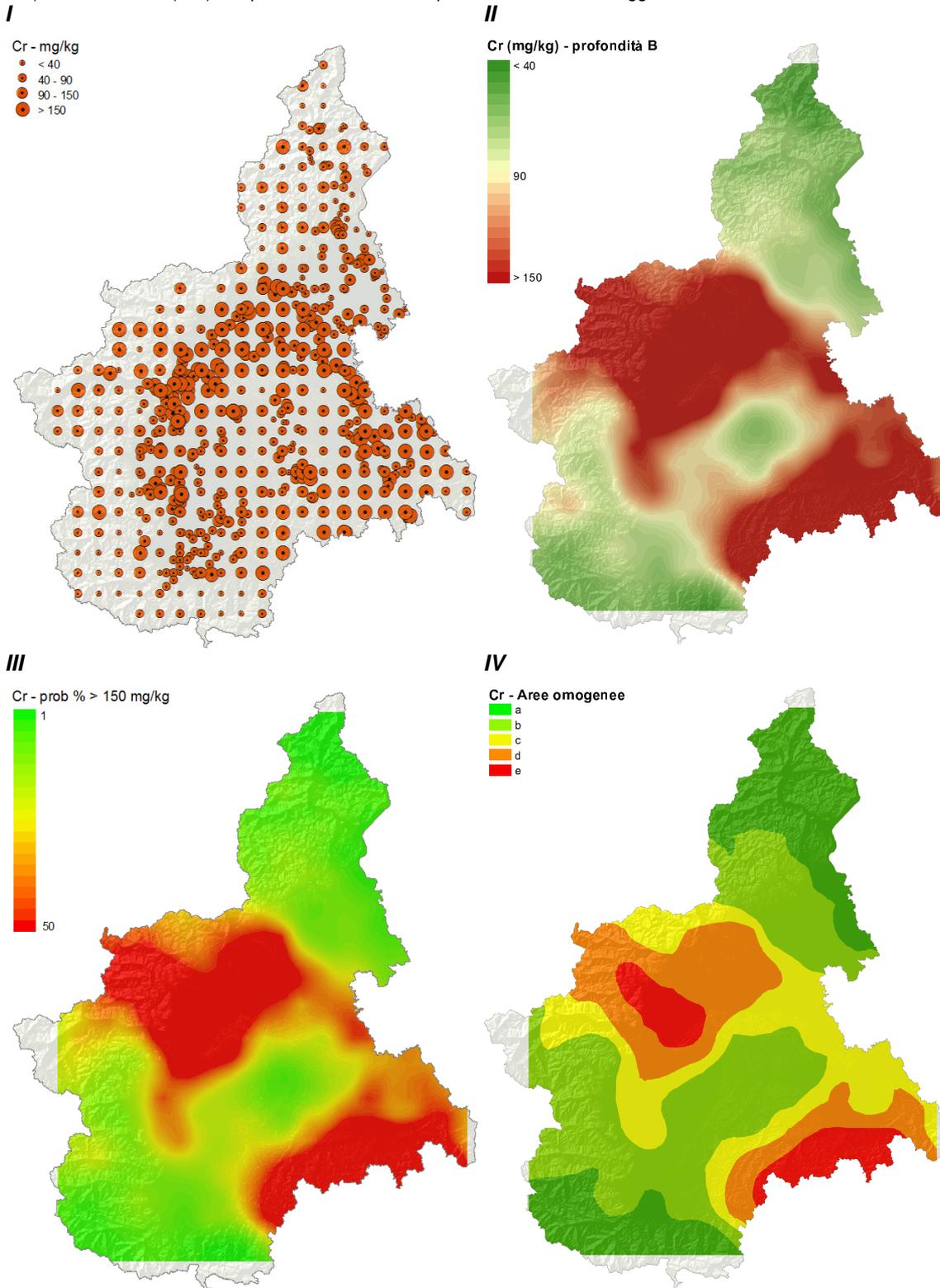
Al fine di evitare l'inclusione di campioni potenzialmente contaminati nel calcolo del valore di fondo, sono stati esclusi dalle elaborazioni i profili con valore del fattore di arricchimento superficiale superiore a 1,5 ed i valori outliers  $outliers \geq Q3 + 1.5(Q3 - Q1)$ .

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

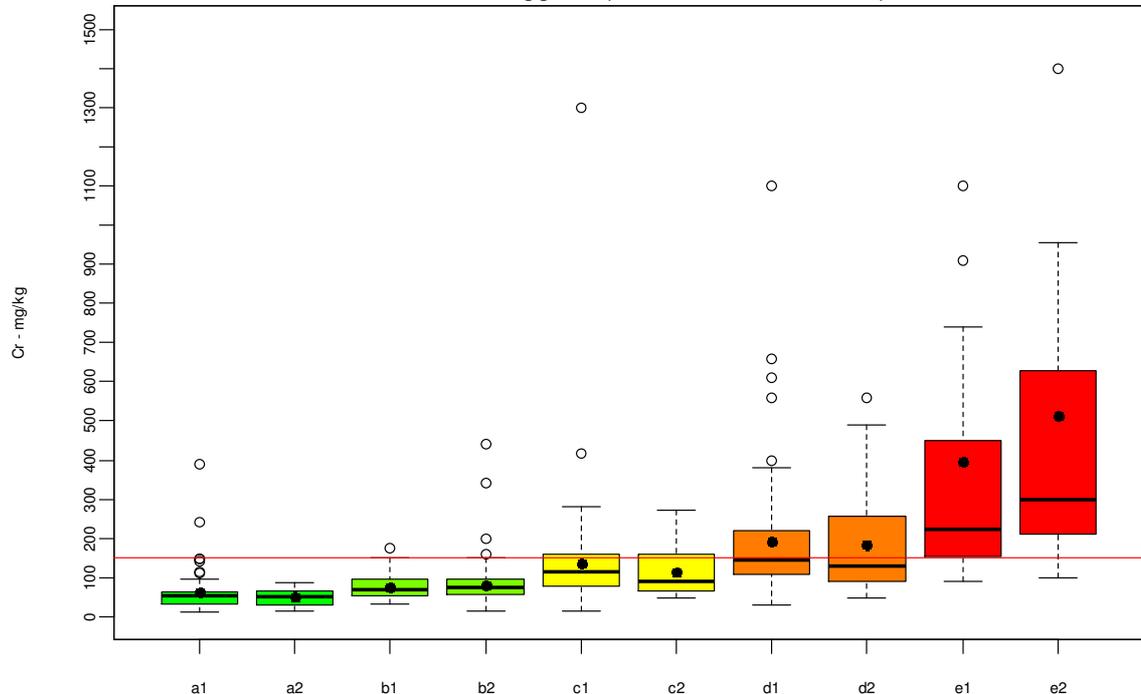
Spazializzazione della concentrazione di Cromo (Cr) nei suoli <sup>(1)</sup> del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. *I* – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. *II* – Stima della concentrazione in mg/kg. *III* - Stima delle probabilità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



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



<sup>(1)</sup> 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. <sup>(2)</sup> 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) <sup>(3)</sup> 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<sup>(1)</sup>, confronto con i limiti di legge (150 mg/kg)<sup>(2)</sup> e conteggio di campioni analizzati del Cromo (Cr) nei suoli<sup>(3)</sup> 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
<b>Media</b>	mg/kg	61	49	76	81	137	113	191	183	397	515
<b>Mediana</b>	mg/kg	52	49	69	75	113	90	145	130	222	300
<b>Dev. St</b>	mg/kg	54	22	32	50	139	58	152	136	400	494
<b>CV</b>	-	0,9	0,4	0,4	0,6	1,0	0,5	0,8	0,7	1,0	1,0
<b>Min</b>	mg/kg	11	14	33	13	15	49	29	49	91	100
<b>Max</b>	mg/kg	390	86	174	440	1300	270	1100	560	1800	1700
<b>25° percentile (Q1)</b>	mg/kg	34	29	53	56	77	66	107	93	155	217
<b>50° percentile</b>	mg/kg	52	49	69	75	113	90	145	130	222	300
<b>75° percentile (Q3)</b>	mg/kg	64	65	95	95	160	160	220	253	440	573
<b>90° percentile</b>	mg/kg	97	81	126	120	210	197	310	363	859	1267
<b>95° percentile</b>	mg/kg	143	82	137	141	237	219	396	466	1072	1505
<b>Soglia outliers ≥<sup>(5)</sup></b>	mg/kg	108	118	156	153	284	301	390	491	868	1107
<b>Numero outliers</b>	n	7	0	1	4	2	0	5	1	3	2
<b>Valore di fondo<sup>(1)</sup></b>	mg/kg	72	81	100	115	209	197	271	334 <sup>(4)</sup>	470 <sup>(4)</sup>	607 <sup>(4)</sup>
<b>Campioni</b>	n	70	41	59	139	90	44	85	28	24	14
<b>&gt; Limite di legge<sup>(2)</sup></b>	n	2	0	1	4	26	12	40	10	19	12
	%	3	0	2	3	29	27	47	36	79	86

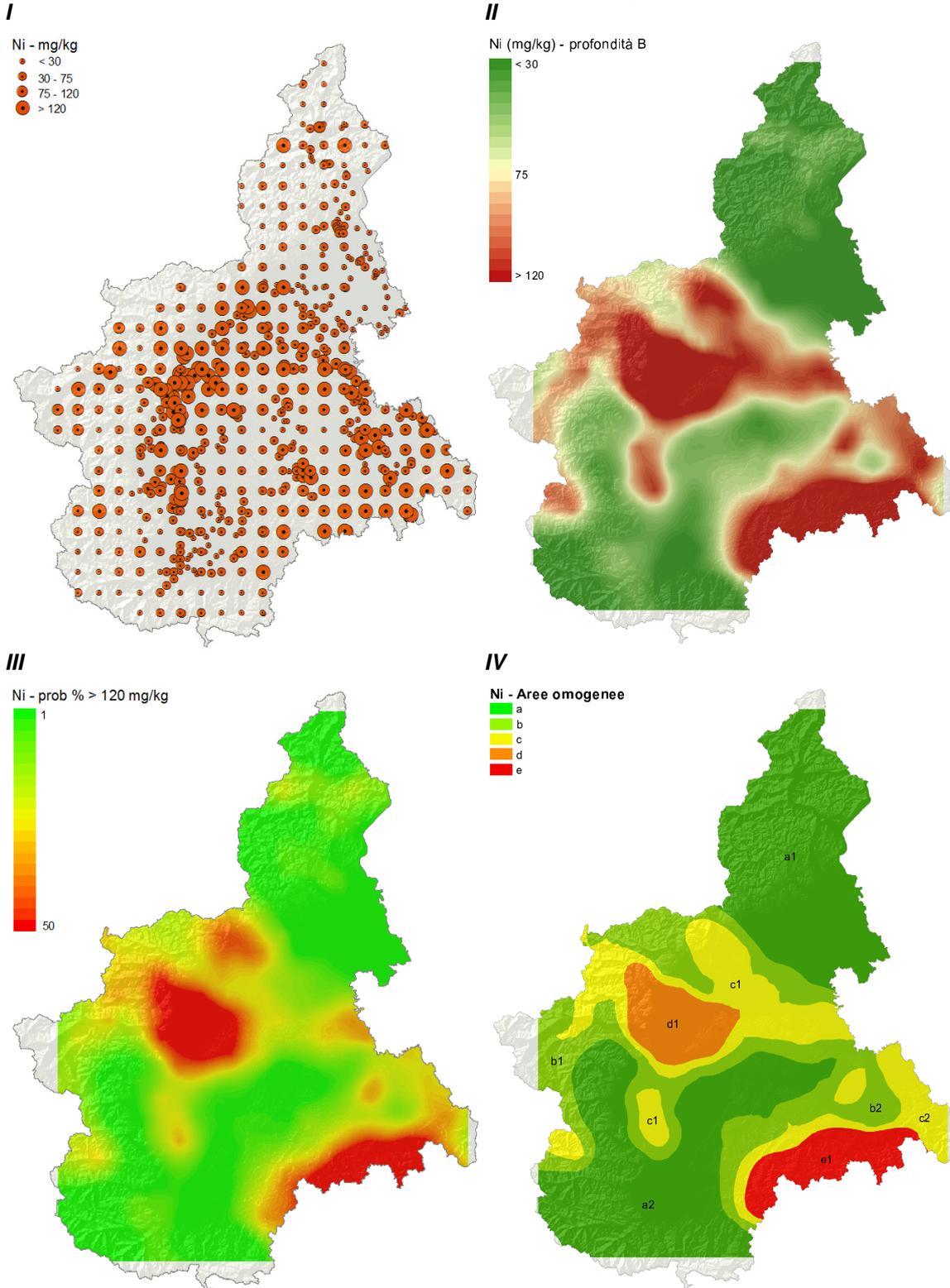
<sup>(1)</sup> Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. <sup>(2)</sup> Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. <sup>(3)</sup> 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).

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

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

Figura 13

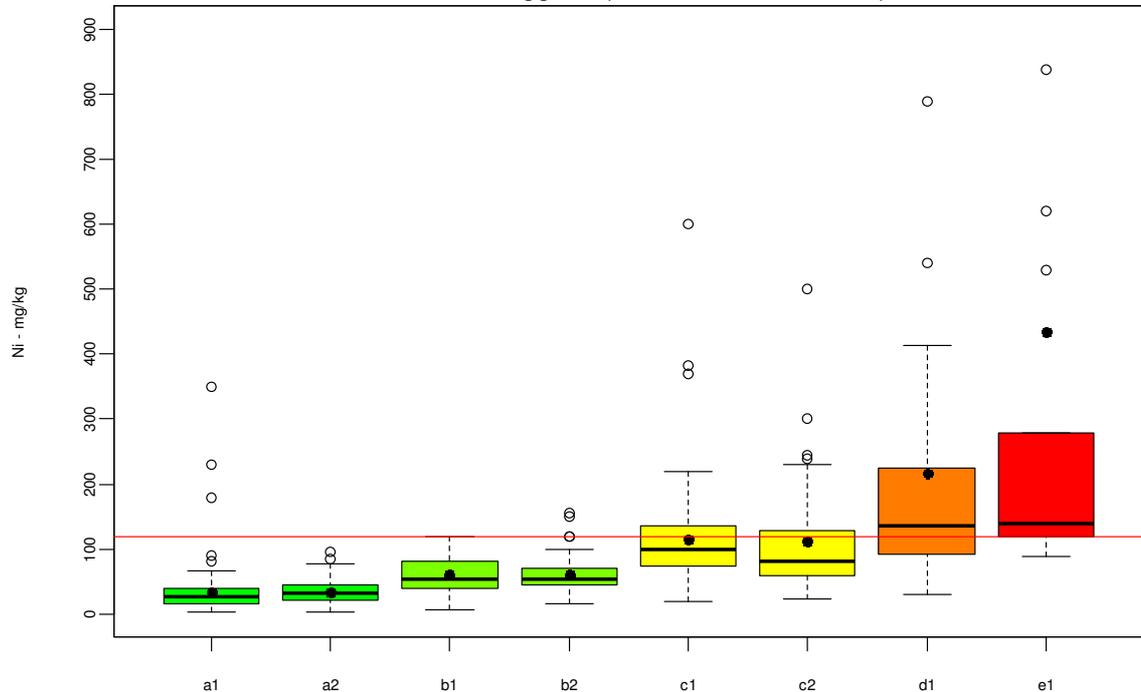
Spazializzazione della concentrazione di Nichel (Ni) nei suoli <sup>(1)</sup> del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. *I* – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. *II* – Stima della concentrazione in mg/kg. *III* – Stima delle probabilità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



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



<sup>(1)</sup> 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. <sup>(2)</sup> 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) <sup>(3)</sup> 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 <sup>(1)</sup>, confronto con i limiti di legge (120 mg/kg) <sup>(2)</sup> e conteggio di campioni analizzati del Nichel (Ni) nei suoli <sup>(3)</sup> 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 $\geq$ <sup>(5)</sup>	mg/kg	77	79	147	108	230	219	424	520
Numero outliers	n	5	2	0	4	3	5	3	4
Valore di fondo <sup>(1)</sup>	mg/kg	48	55	110	86	160	132 <sup>(4)</sup>	344	262 <sup>(4)</sup>
Campioni	n	143	142	77	49	85	34	47	17
> Limite di legge <sup>(2)</sup>	n	3	0	0	2	31	9	29	12
	%	2	0	0	4	36	26	62	71

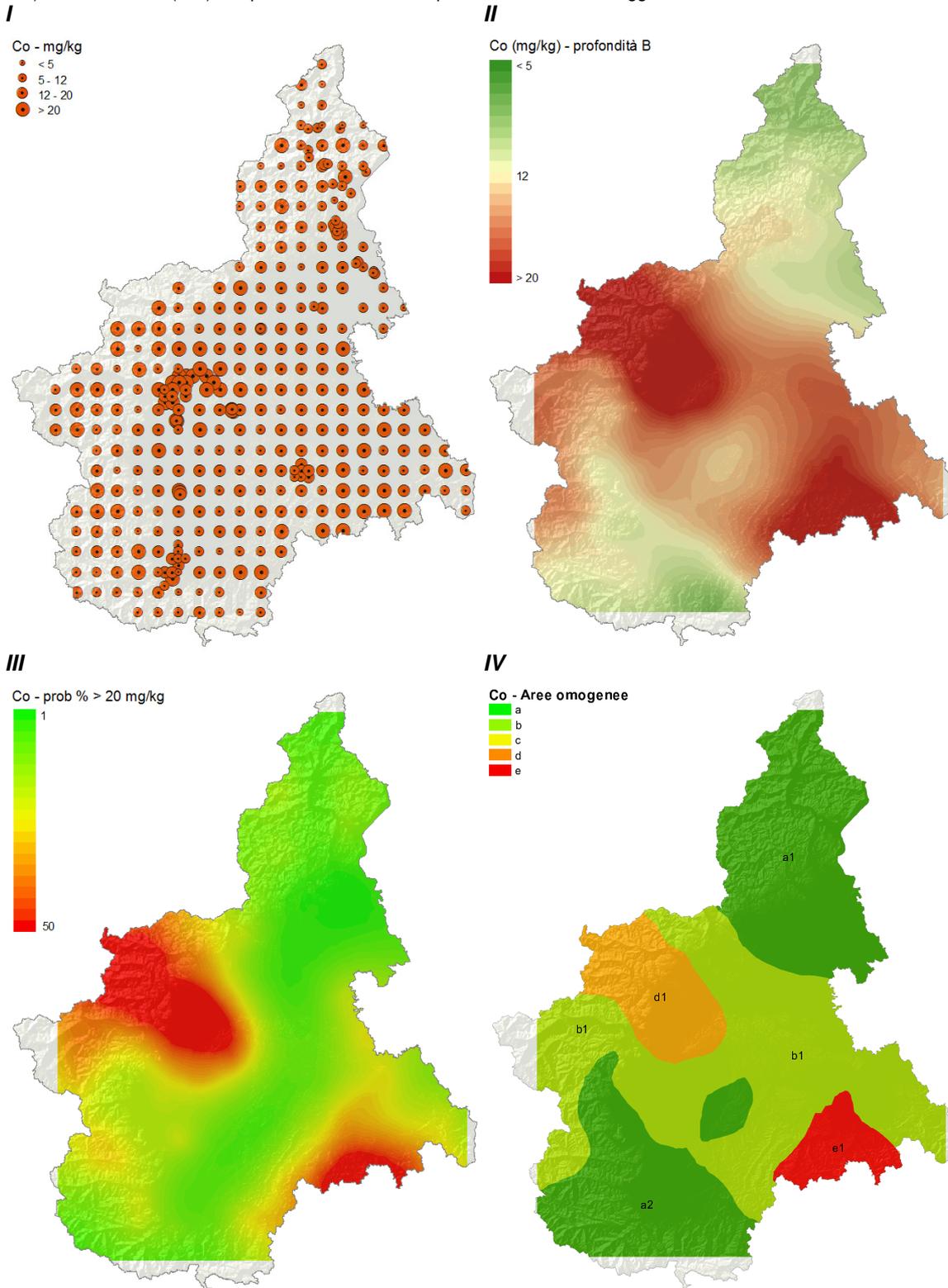
<sup>(1)</sup> Valore di fondo-naturale calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. <sup>(2)</sup> Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. <sup>(3)</sup> 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).

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

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

Figura 15

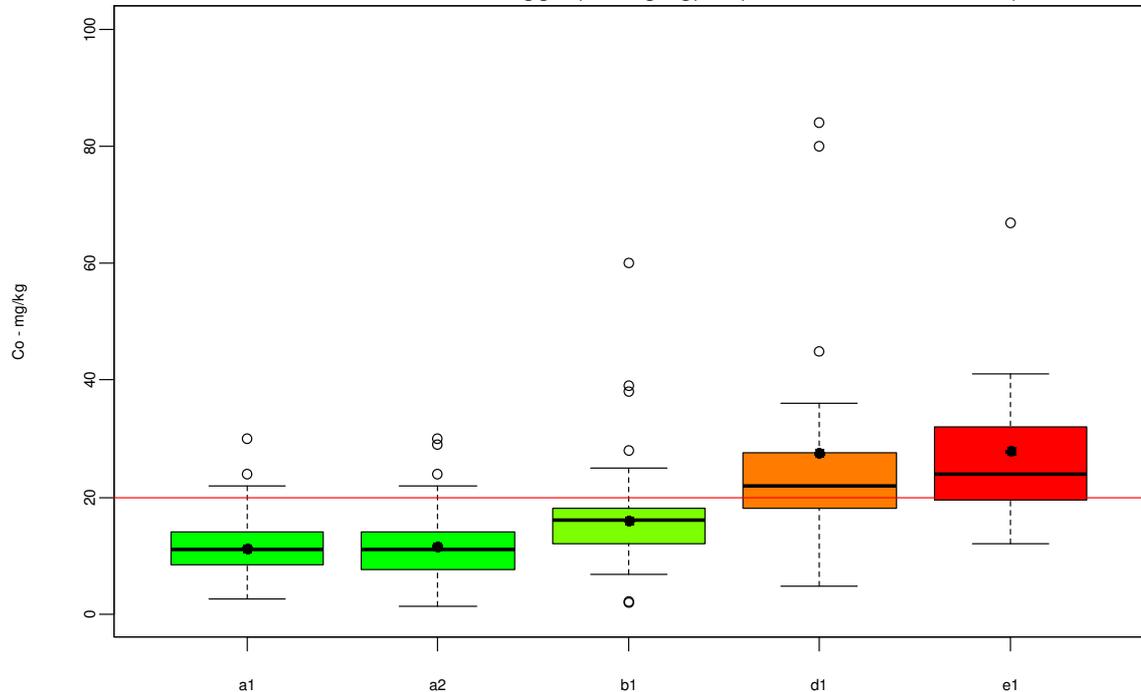
Spazializzazione della concentrazione di Cobalto (Co) nei suoli <sup>(1)</sup> del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. *I* – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. *II* – Stima della concentrazione in mg/kg. *III* - Stima delle probabilità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



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



<sup>(1)</sup> 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. <sup>(2)</sup> 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) <sup>(3)</sup> 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 <sup>(1)</sup>, confronto con i limiti di legge <sup>(2)</sup> e conteggio di campioni analizzati del Cobalto (Co) nei suoli <sup>(3)</sup> 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 ≥ <sup>(5)</sup>	mg/kg	22	24	27	42	51
Numero outliers	n	2	2	4	4	1
Valore di fondo <sup>(2)</sup>	mg/kg	17	18	21	30 <sup>(4)</sup>	39 <sup>(4)</sup>
Campioni	n	89	72	130	43	11
> Limite di legge <sup>(3)</sup>	n	4	6	23	25	8
	%	4	8	18	58	73

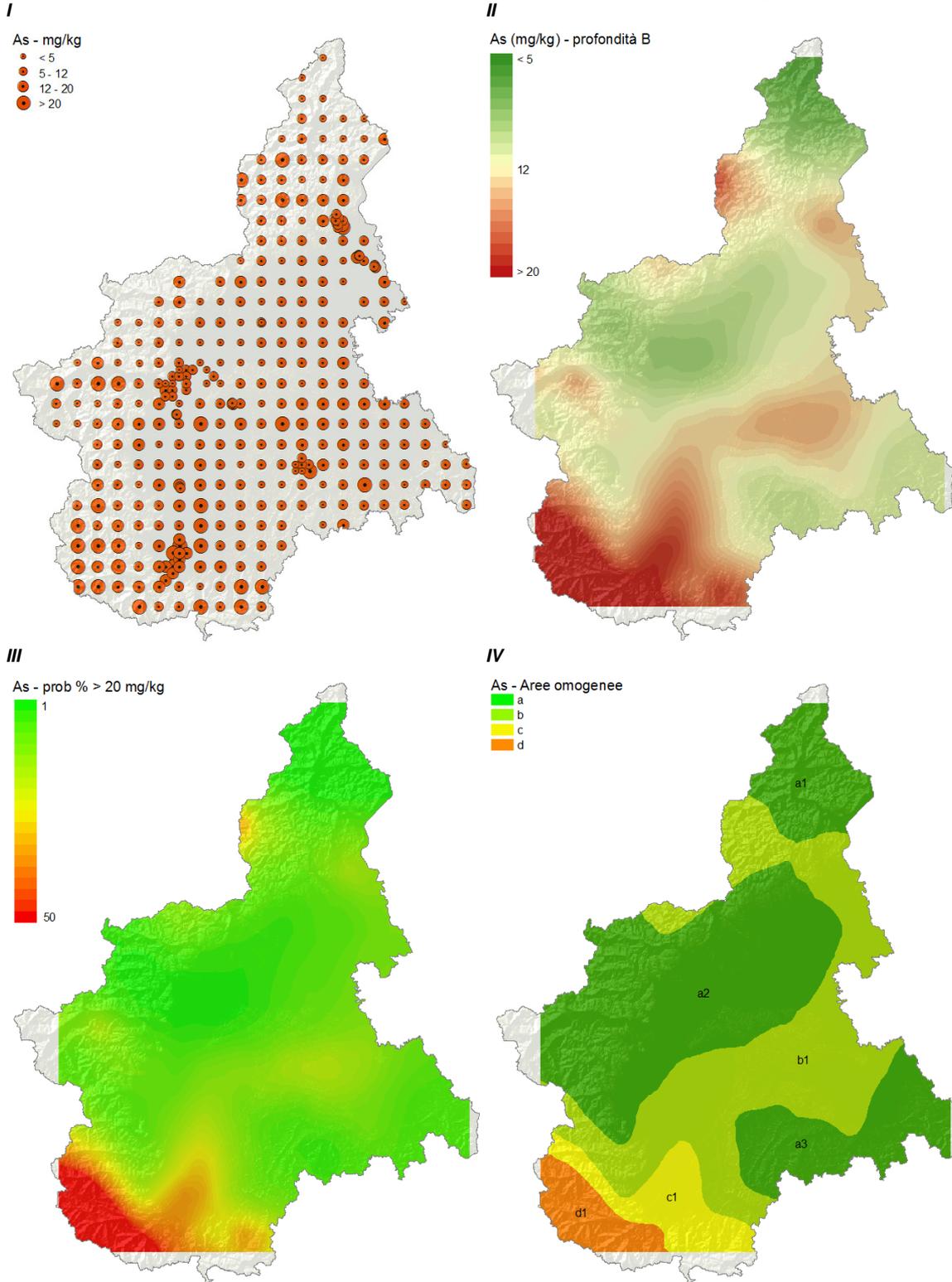
<sup>(1)</sup> Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. <sup>(2)</sup> Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. <sup>(3)</sup> 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).

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

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

Figura 17

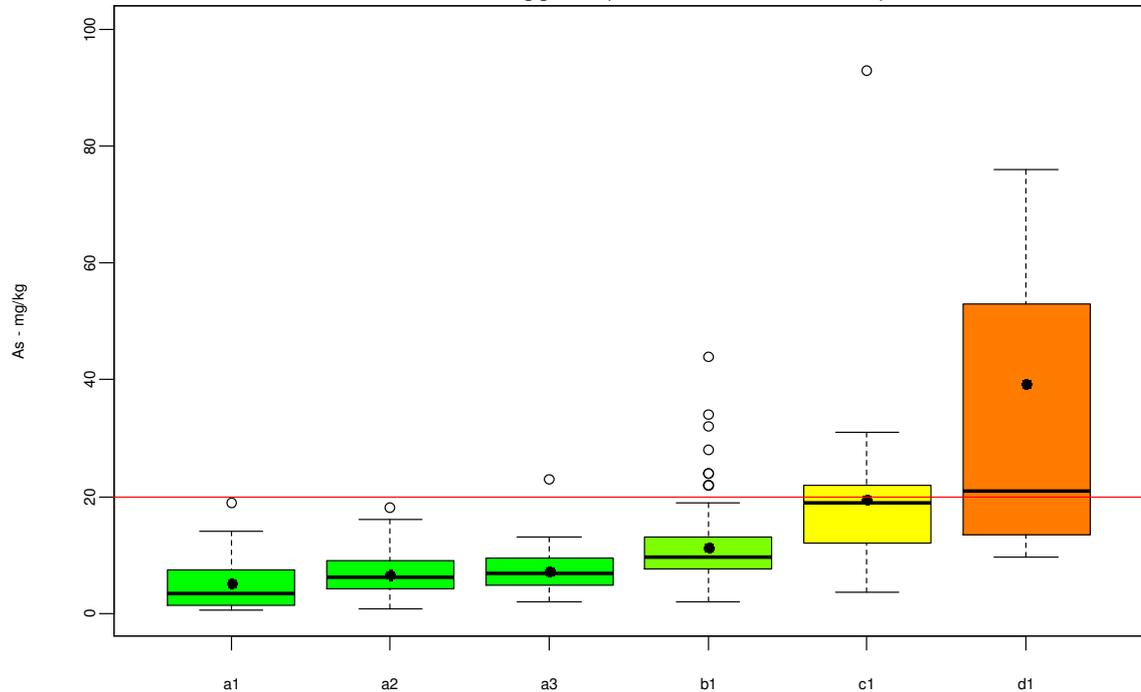
Spazializzazione della concentrazione dell'Arsenico (As) nei suoli <sup>(1)</sup> del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. *I* – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. *II* – Stima della concentrazione in mg/kg. *III* – Stima delle probabilità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



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



<sup>(1)</sup> 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. <sup>(2)</sup> 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) <sup>(3)</sup> 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 <sup>(1)</sup>, confronto con i limiti di legge (20 mg/kg) <sup>(2)</sup> e conteggio di campioni analizzati dell'Arsenico (As) nei suoli <sup>(3)</sup> 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 $\geq$ <sup>(5)</sup>	mg/kg	16	16	17	21	37	112
Numero outliers	n	1	1	1	9	1	2
Valore di fondo <sup>(1)</sup>	mg/kg	10	10	10	15	27 <sup>(4)</sup>	66 <sup>(4)</sup>
Campioni	n	22	104	37	117	33	15
> Limite di legge <sup>(2)</sup>	n	0	0	1	9	13	8
	%	0	0	3	8	39	53

<sup>(1)</sup> 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. <sup>(2)</sup> Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. <sup>(3)</sup> 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). <sup>(4)</sup> Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. <sup>(5)</sup>  $=Q3+1,5 \cdot IQR$ ,  $IQR=Q3-Q1$ .

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

	<b>Cromo</b>	<b>Nichel</b>	<b>Arsenico</b>
<b>Comune</b>	<b>Aree omogenee</b>		
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 <sup>(1)</sup>, confronto con i limiti di legge <sup>(2)</sup> e conteggio di campioni analizzati di Cromo (Cr), Nichel (Ni) e Arsenico (As) per aree omogenee di concentrazione dei suoli <sup>(3)</sup> che interessano il territorio dei comuni di Casalnoceto, Castellar Guidobono, Monleale, Viguzzolo, Volpedo e Volpeglino.

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

<sup>(1)</sup> 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. <sup>(2)</sup> Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. <sup>(3)</sup> 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).

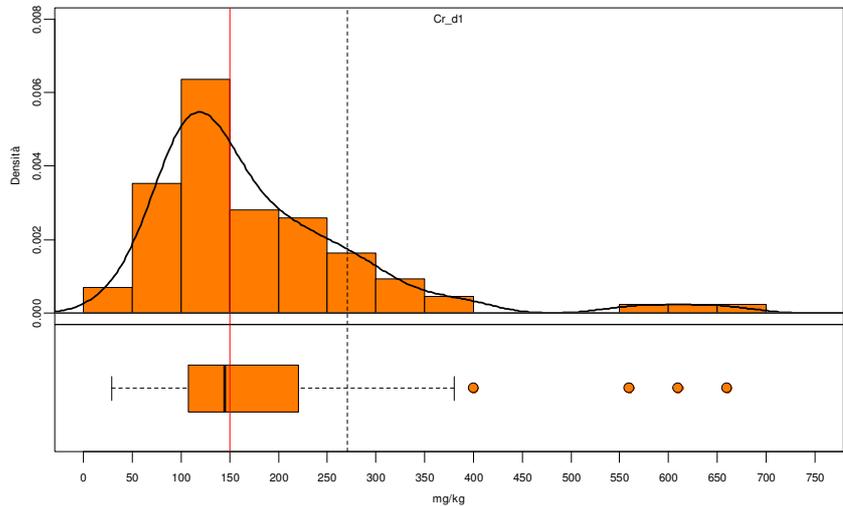
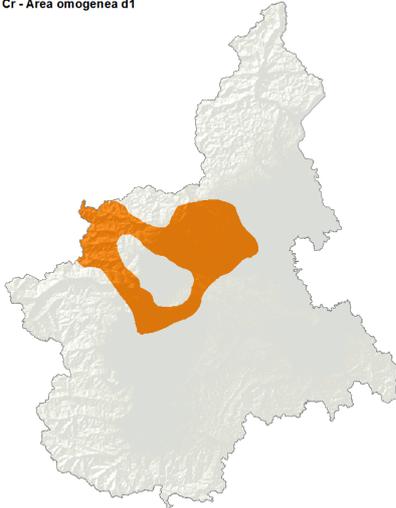
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Dicembre 2016).

Figura 19

Parametri statistici del Cromo (Cr)<sup>(1)</sup> per l'area omogenea di concentrazione **Cr\_d1** e confronto con valori di fondo<sup>(2)</sup> (linea tratteggiata nera) e limiti di legge<sup>(3)</sup> (linea continua rossa).

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

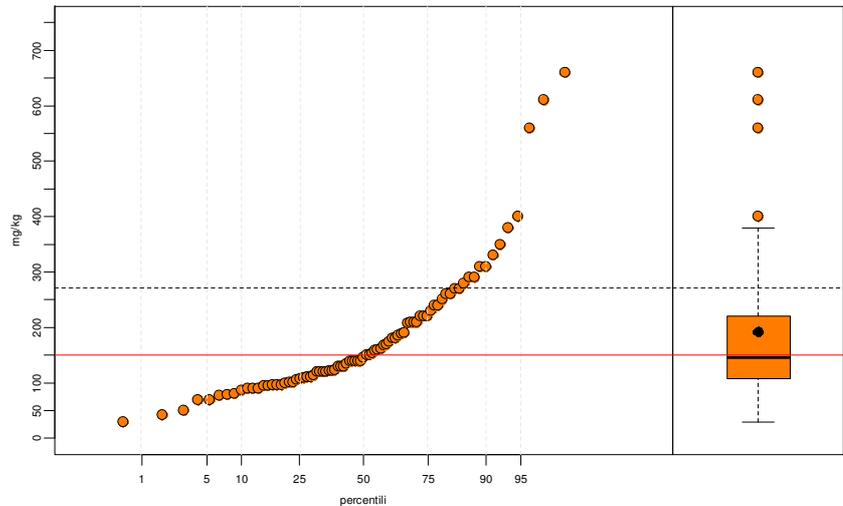
Cr - Area omogenea d1



**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 ≥ <sup>(5)</sup>	mg/kg	390
Numero outliers	n	5
Valore di fondo <sup>(2)</sup>	mg/kg	271
Campioni	n	85
> Limite di legge <sup>(3)</sup>	n	40
	%	47

**IV**



<sup>(1)</sup> 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). <sup>(2)</sup> 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. <sup>(3)</sup> Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. <sup>(4)</sup> 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. <sup>(5)</sup> Soglia outliers = Q3+1,5\*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

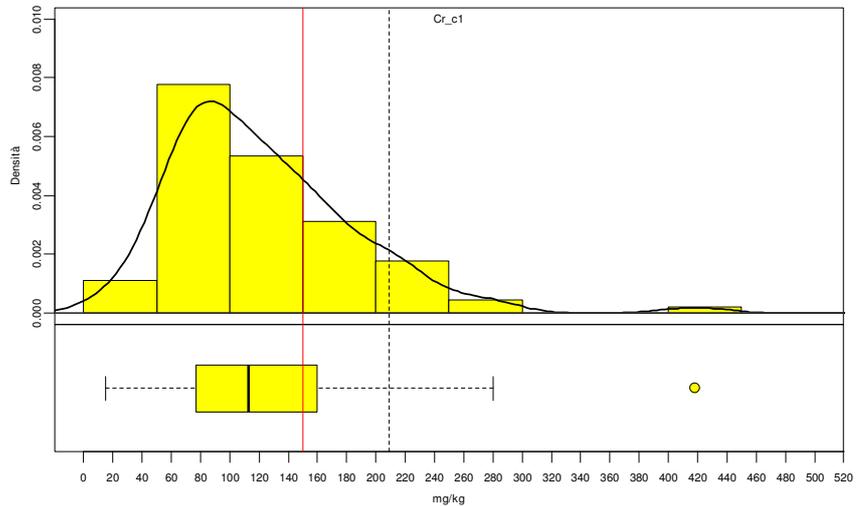
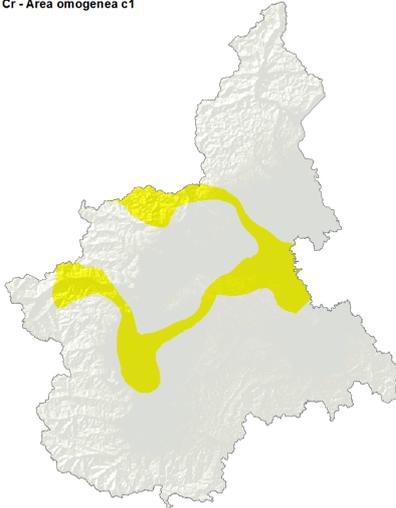
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Dicembre 2016).

Figura 20

Parametri statistici del Cromo (Cr)<sup>(1)</sup> per l'area omogenea di concentrazione **Cr\_c1** e confronto con valori di fondo<sup>(2)</sup> (linea tratteggiata nera) e limiti di legge<sup>(3)</sup> (linea continua rossa).

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

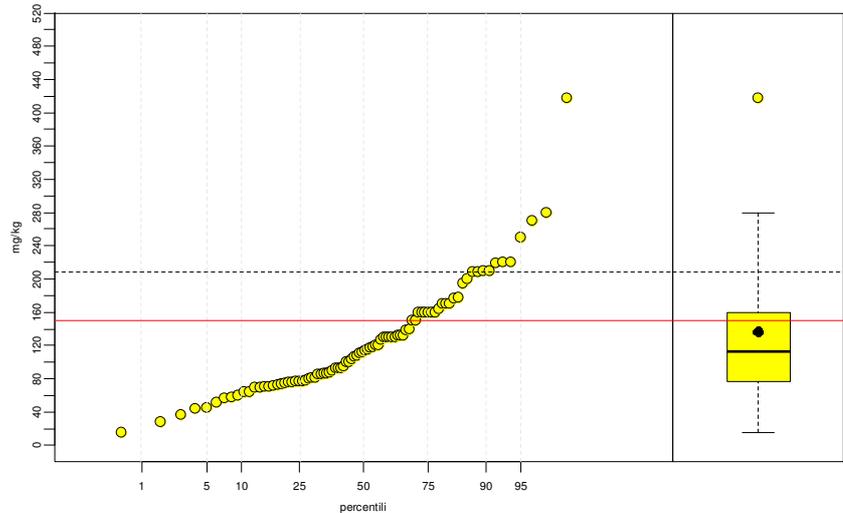
Cr - Area omogenea c1



**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 <sup>(5)</sup>	mg/kg	284
Numero outliers	n	2
Valore di fondo <sup>(2)</sup>	mg/kg	209
Campioni	n	90
> Limite di legge <sup>(3)</sup>	n	26
	%	29

**IV**



<sup>(1)</sup> 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). <sup>(2)</sup> 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. <sup>(3)</sup> Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. <sup>(4)</sup> 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. <sup>(5)</sup> Soglia outliers = Q3+1,5\*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

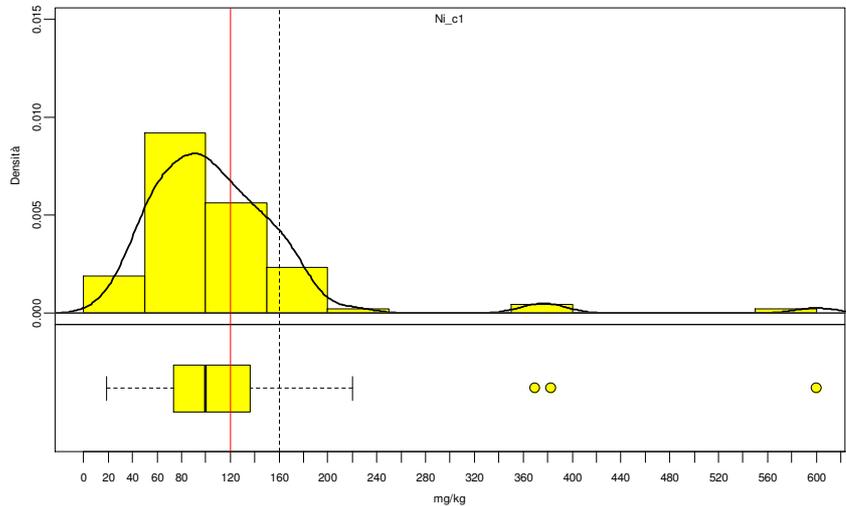
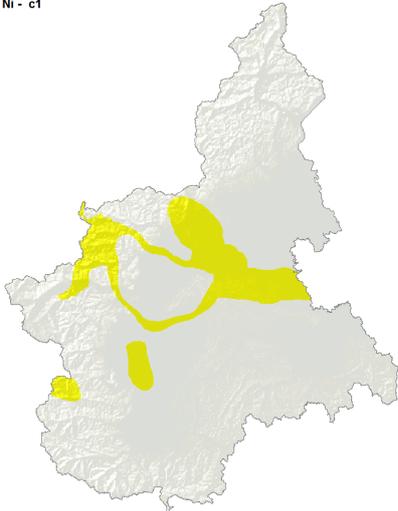
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Dicembre 2016).

Figura 21

Parametri statistici del Nichel (Ni)<sup>(1)</sup> per l'area omogenea di concentrazione **Ni\_c1** e confronto con valori di fondo<sup>(2)</sup> (linea tratteggiata nera) e limiti di legge<sup>(3)</sup> (linea continua rossa).

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

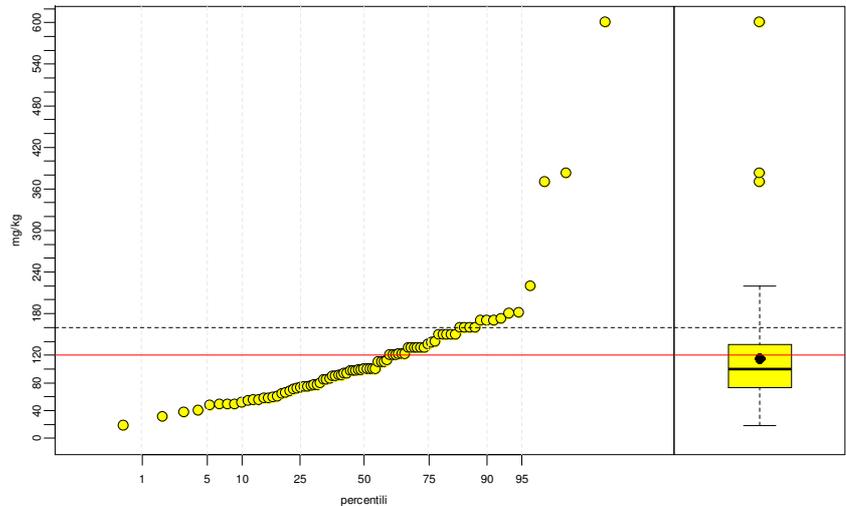
Ni - c1



**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 ≥ <sup>(5)</sup>	mg/kg	230
Numero outliers	n	3
Valore di fondo <sup>(2)</sup>	mg/kg	160
Campioni	n	85
> Limite di legge <sup>(3)</sup>	n	31
	%	36

**IV**



<sup>(1)</sup> 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). <sup>(2)</sup> 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. <sup>(3)</sup> Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. <sup>(4)</sup> 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. <sup>(5)</sup> Soglia outliers = Q3+1,5\*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

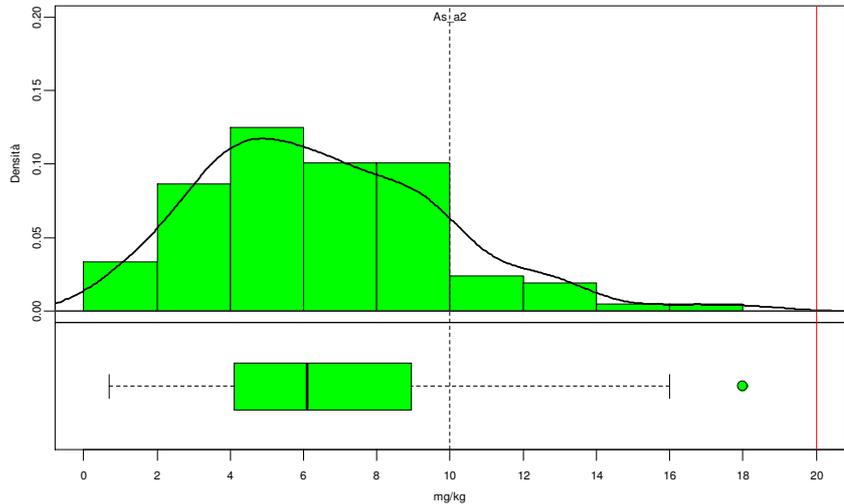
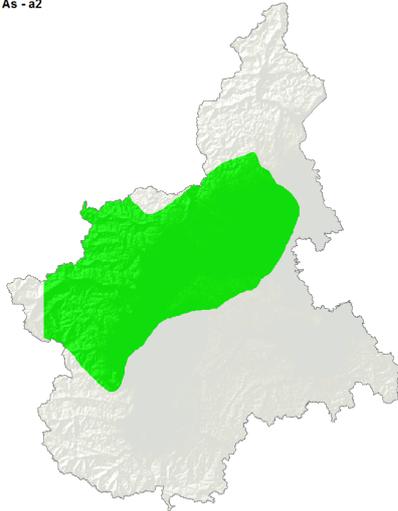
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Dicembre 2016).

Figura 22

Parametri statistici del Arsenico (As) <sup>(1)</sup> per l'area omogenea di concentrazione **As\_a2** e confronto con valori di fondo <sup>(2)</sup> (linea tratteggiata nera) e limiti di legge <sup>(3)</sup> (linea continua rossa).

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

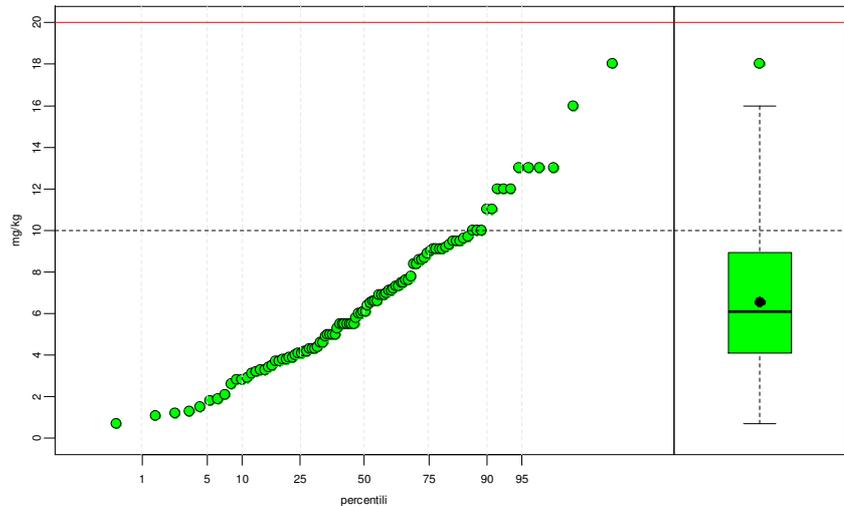
As - a2



**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 <sup>(5)</sup>	mg/kg	16
Numero outliers	n	1
Valore di fondo <sup>(2)</sup>	mg/kg	10
Campioni	n	104
> Limite di legge <sup>(3)</sup>	%	0

**IV**



<sup>(1)</sup> 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). <sup>(2)</sup> 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. <sup>(3)</sup> Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. <sup>(4)</sup> 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. <sup>(5)</sup> 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:

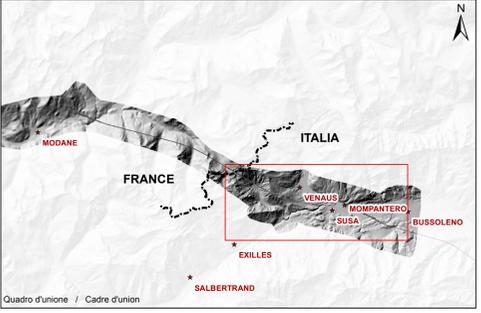
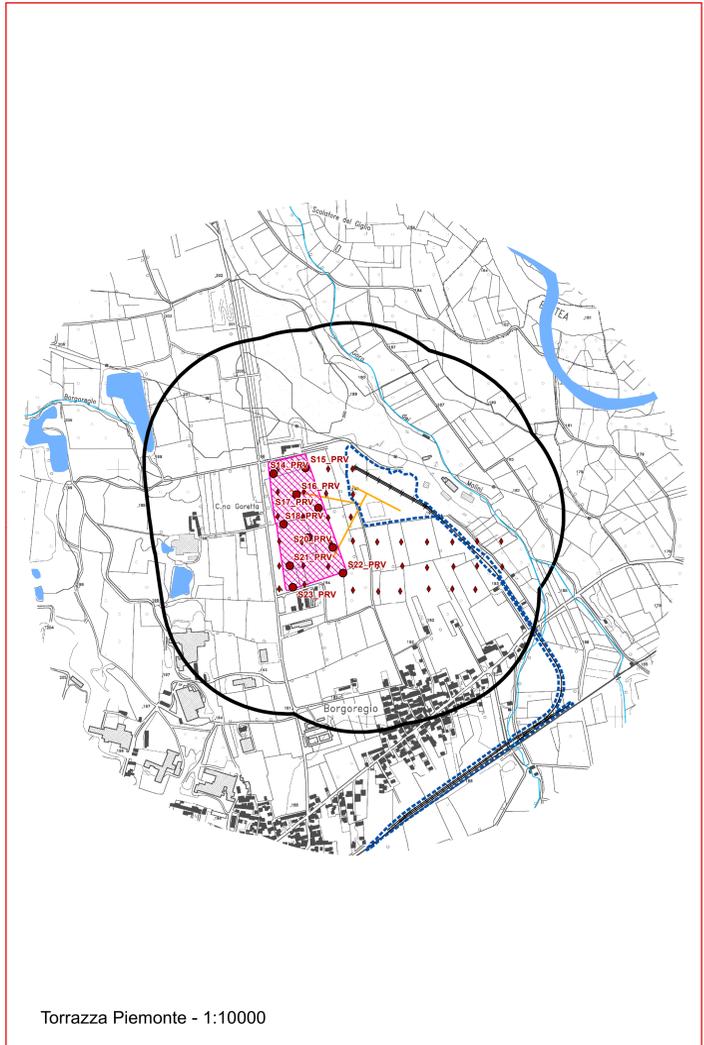
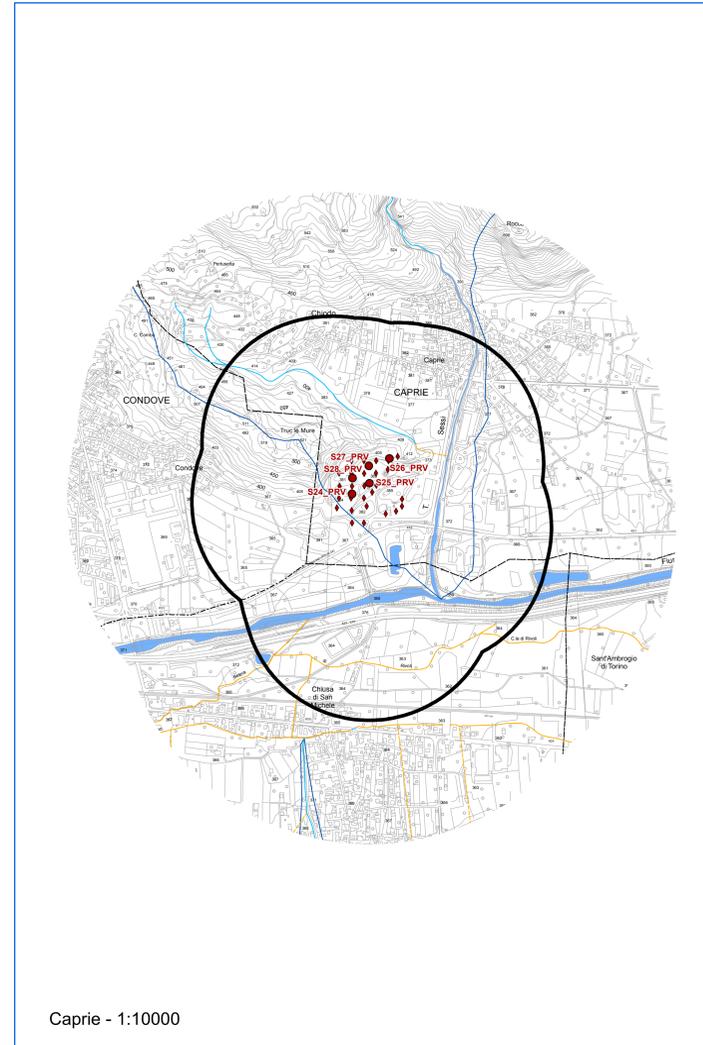
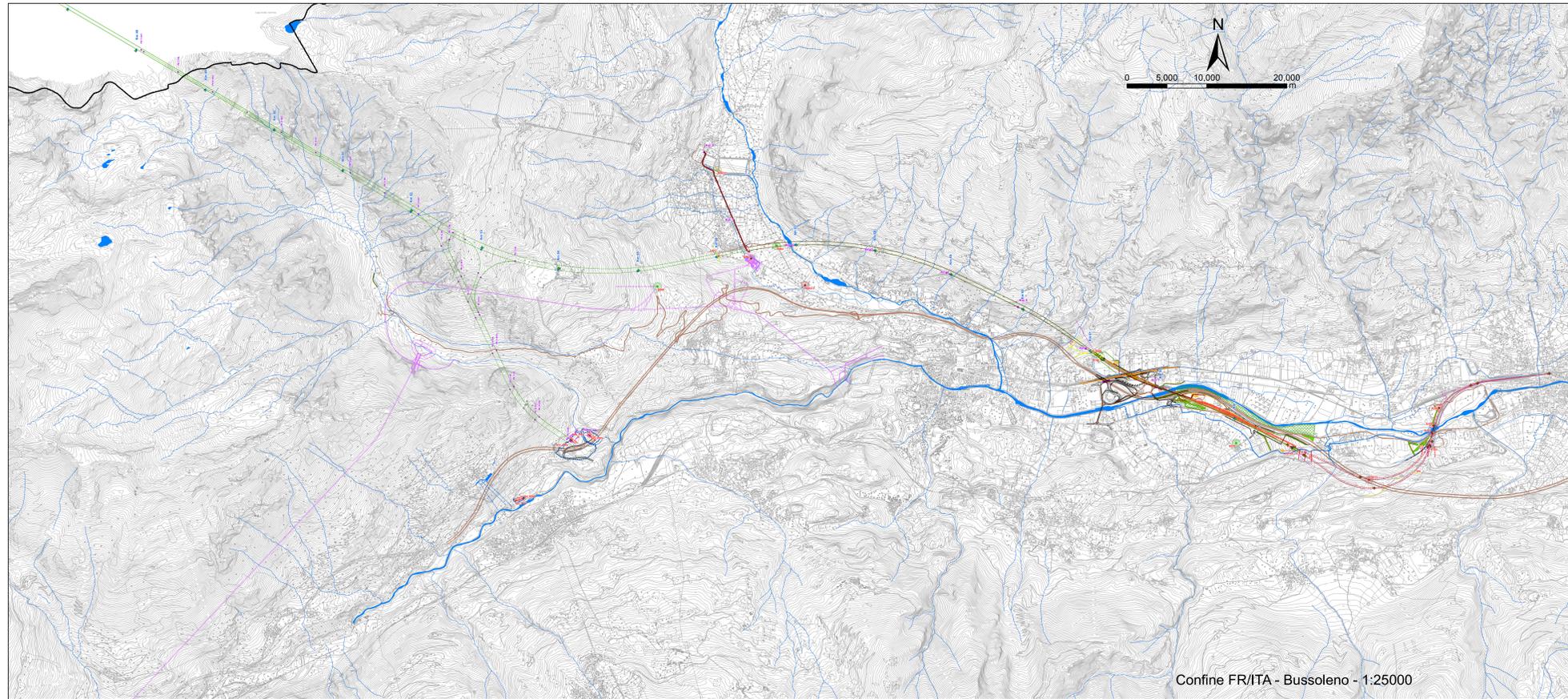
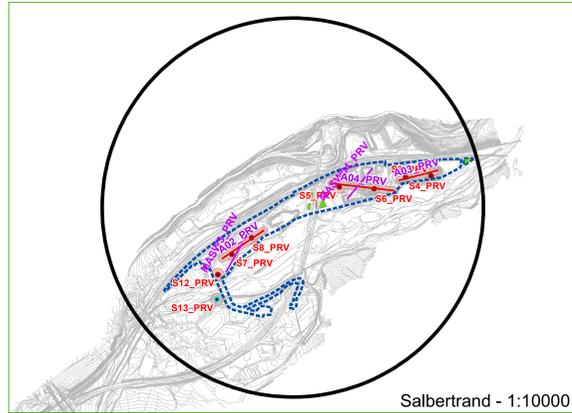
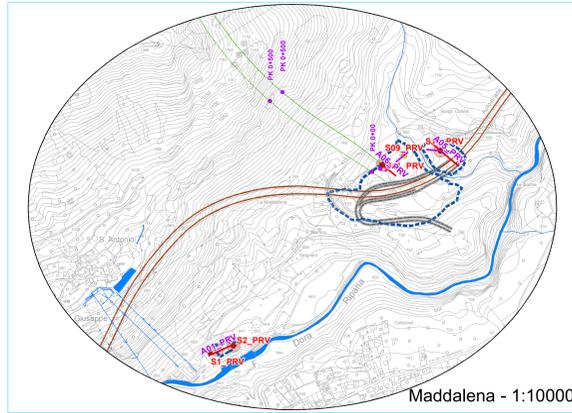
- I parametri statistici ed i valori di fondo forniti per area omogenea di concentrazione possono essere utilizzati come riferimento esclusivamente per lo strato superficiale interessato da processi chimici, fisici e biologici della pedogenesi, per una profondità coerente con le profondità di campionamento 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

## **9. Allegato 2: Planimetria indagini da realizzare**

Documento allegato alla presente relazione: Elaborato PRV C3B TS3 0108 Planimetria con ubicazione delle indagini da realizzare



**LEGENDA**  
**LEGENDE**

**Indagini Proposte**  
**Reconnaitssances proposées**

- Pozzetto geognostico / Forage à la pelle
- Sondaggi geognostici / Forages
- Priorità ALTA / Priorité ÉLEVÉE
- Priorità MEDIA / Priorité MOYENNE
- Priorità BASSA / Priorité BASSE
- Proiezione del sondaggio / Projection du forage
- MASW

**Altri simboli**  
**Autres symboles**

- Elementi di progetto / Elements de projet
- pk NLT/L / pk NLT/L
- pk Interconnessione - Galleria Maddalena - Galleria di ventilazione Clarea / pk Galerie Interconnexion - Galerie de la Maddalena - Galerie de ventilation de Clarea
- Galleria impianto idroelettrico di Port Ventoux / Galeries de la Centrale Hydroélectrique de Port Ventoux
- Idrografia principale / Hydrographie principale
- Caviddo AT / Conduites souterraines HT
- Limite di Cantiere / Limite du chantier

**Geofisica / Gravimetria**  
**Geophysique / Gravimétrie**

- Priorità ALTA / Priorité ÉLEVÉE
- Priorità MEDIA / Priorité MOYENNE
- Priorità BASSA / Priorité BASSE

**Sismica Ibrida**  
**Sismique hybride**

- Priorità ALTA / Priorité ÉLEVÉE
- Priorità MEDIA / Priorité MOYENNE
- Priorità BASSA / Priorité BASSE

**Sismica riflessione**  
**Sismique à réflexion**

- Priorità MEDIA / Priorité MOYENNE

Il buffer attorno ai simboli indicano l'area nella quale è possibile realizzare le indagini senza compromettere i risultati attesi.  
Les buffer autour des symboles indiquent la zone dans laquelle il est possible de réaliser les investigations sans qu'elles ne compromettent les résultats prévus.

**LIASON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE**  
**Partie commune franco-italienne** / **Section transfrontalière** / **Parte comune italo-francese** / **Sezione transfrontaliera**

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

**PARTE IN TERRITORIO ITALIANO - PROGETTO IN VARIANTE**  
**(OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE N. 236 DELLA DELIBERA CIPE 19/2015)**  
**CUP C11J0500030001 - PROGETTO DEFINITIVO**

**GEOLOGIE - GEOLOGIA**

**GENERAL - GENERALE**  
**COMPLEMENTES DE GEOLOGIE - COMPLEMENTI DI GEOLOGIA**  
**PROGRAMME DES INVESTIGATIONS - PROGRAMMA DELLE INDAGINI**

**Plan de reconnaissances à réaliser**  
**Planimetria con ubicazione delle indagini da realizzare**

Date	Descriptif / Descrizione	Etat / Stato	Responsable / Responsabile	Autre / Altro
0	31/01/2012	Première diffusion / Prima emissione	R. TORRESI / D. MARCHISIO / C. OGONBENE	R. TORRESI / M. PANTALEO / L. CHANTRON
A	26/02/2013	Passage au statut AP / Passaggio allo stato AP	R. TORRESI / D. MARCHISIO / C. OGONBENE	R. TORRESI / M. PANTALEO / L. CHANTRON
B	20/03/2013	Emission finale / Emissione finale	R. TORRESI / D. MARCHISIO / C. OGONBENE	R. TORRESI / M. PANTALEO / L. CHANTRON
C	30/09/2016	Première diffusion phase PRF-PRV / Prima emissione fase PRF-PRV	G. MANCARI / D. MARCHISIO / C. OGONBENE	A. EUSEBIO / C. OGONBENE / L. CHANTRON
D	28/02/2017	Reception observations TELT / Riceptimento osservazioni TELT	G. MANCARI / D. MARCHISIO / C. OGONBENE	A. EUSEBIO / C. OGONBENE / L. CHANTRON
E	10/04/2017	Reception observations TELT / Riceptimento osservazioni TELT	G. MANCARI / D. MARCHISIO / C. OGONBENE	A. EUSEBIO / C. OGONBENE / L. CHANTRON

**Code** / **Indirizzo GEO**: P R V C 3 B T S 3 0 1 0 S E A P P L A

**Indirizzo GEO**: C3B // // 00 05 05 30 01

**ECHELLE / SCALA**: 1:25.000 - 1:10000

TEL - Service Technique - Bâtiment "Tourbillon" - 13 allée du Lac de Courmayeur - 73170 LE BOURGET DU LAC (France) - Tel: +33 (0)4 78 09 00 00 - Fax: +33 (0)4 78 09 00 01 - RCS Courmayeur 439 506 950 - TVA: FR 0343950692 - Propriété: TELT / Titoli: diritti concessione - Propriété: TELT / Titoli: diritti concessione