

# Qualità dei suoli

---

## *Studio e definizione del valore di concentrazione del fondo naturale*

---

Comune di Bormio | Arsenico

**ARPA Lombardia**

Dicembre 2022

---

*Documento redatto da:*

**Patti Giuseppe** – Dipartimento di Lecco – Sondrio – UO BAE

**Ferraro Damiano** – Dipartimento di Lecco – Sondrio – UO BAE

**Tagni Maurizio** – Dipartimento di Lecco – Sondrio – UO BAE

**Tarasi Maria** – Dipartimento di Lecco – Sondrio – UO BAE

*Con la collaborazione di:*

**Pozza Francesco** – Dipartimento di Lecco – Sondrio – UO AF e VA

ARPA Lombardia Dipartimento di Lecco e Sondrio – Sede di Sondrio | U.O. Bonifiche e Attività Estrattive

Via Stelvio 35/A

23100 Sondrio (SO)

Tel. 03442.183211

PEC: [dipartimentosondrio.arpa@pec.regione.lombardia.it](mailto:dipartimentosondrio.arpa@pec.regione.lombardia.it)

WEB: [www.arpalombardia.it](http://www.arpalombardia.it)

**Dicembre 2022**

---

## Sommario

PREMESSA.....	4
CONTESTO DI LAVORO.....	6
<b>Inquadramento territoriale dell'area indagata.....</b>	<b>6</b>
<b>Origine dell'Arsenico nei suoli.....</b>	<b>7</b>
ATTIVITÀ PRELIMINARI.....	9
<b>Esecuzione del piano di campionamento .....</b>	<b>9</b>
<b>Attività analitica e valutazione esiti .....</b>	<b>9</b>
Cromo, Nichel, Zinco .....	11
Arsenico.....	12
DEFINIZIONE DEL VALORI DI FONDO NATURALE.....	13
<b>Formazione del set di dati .....</b>	<b>13</b>
<b>Analisi statistica del dataset.....</b>	<b>15</b>
CONCLUSIONI .....	19
NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	20
LINEE GUIDA.....	20
BIBLIOGRAFIA .....	20

## PREMESSA

Il problema degli arricchimenti naturali di metalli/metalloidi nella matrice suolo/sottosuolo è oggi più che mai richiamato nella normativa di riferimento nazionale e regionale, che assegna alle Agenzie di Protezione Ambientale un ruolo determinante nell'espletamento delle procedure per la definizione dei valori di fondo (si vedano ad esempio l'articolo 11 del DPR 120/2017 e gli articoli 242 c. 13 ter e 242 ter, comma 4 bis del d.lgs. 152/06).

Nel territorio comunale di Bormio la presenza diffusa di Arsenico nei terreni si è andata manifestando in maniera sempre più consistente nel corso degli ultimi anni, fino a divenire un fattore critico per la gestione dei materiali da scavo generati nel corso della realizzazione di qualunque intervento edilizio, pubblico o privato.

Non a caso, le prime interlocuzioni di rilievo al fine di sviluppare le attività qui illustrate sono nate nel 2020 in seguito al rinvenimento di Arsenico in tenori superiori ai pertinenti limiti di legge nei terreni derivanti dal cantiere per la realizzazione della nuova RSA, che hanno portato nel 2021 alla definizione di un primo valore di fondo sulla porzione del territorio comunale insistente sul lobo destro del conoide del torrente Frodolfo.

L'avvento delle Olimpiadi Invernali Milano-Cortina 2026 con il "cluster Valtellina" e le nuove disponibilità legate alle azioni per l'implementazione del PNRR hanno poi dato nuovo impulso, quasi negli stessi anni, a quelle esigenze di trasformazione territoriale che da secoli interessano la "Magnifica Terra".

In tale contesto la necessità di determinare il valore di fondo dell'Arsenico nei suoli e nei terreni è diventata improcrastinabile.

E' stata fondamentale la fattiva collaborazione dell'Amministrazione e degli Uffici Comunali nella fase di sottoscrizione del Protocollo d'Intesa predisposto dalla DAAL di ARPA Lombardia, nelle fasi operative di reperimento di mezzi e operatori, nonché nel farsi garante per gli accessi alle aree individuate nella proposta di indagine predisposta dal Dipartimento di Lecco e Sondrio.

Importante, inoltre, il contributo delle Associazioni di Categoria ANCE Lecco-Sondrio e Confartigianato Imprese Sondrio che hanno manifestato, sottoscrivendo a loro volta il protocollo, consapevolezza della rilevanza del progetto proposto, nonché volontà di dare sostegno agli operatori da esse stesse rappresentati, contribuendo *pro-quota* alla copertura dei costi necessari.

La definizione del valore di fondo naturale del parametro Arsenico, infatti, oltre ad arricchire le conoscenze scientifiche sul territorio indagato, costituisce un'importante semplificazione delle procedure di gestione dei materiali da scavo nei cantieri che ricadono nell'ambito di applicabilità del medesimo, nel rispetto delle Norme Tecniche di Attuazione che costituiscono parte integrante del presente documento.

Importante, infine, sottolineare come le attività si siano svolte secondo le modalità indicate dalla Linea Guida n. 8 del 2018 del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) e dalla norma ISO 19258/2005 "Soil Quality – Guidance on the determination of background values", sostanziali riferimenti per l'impostazione della metodologia di lavoro e della valutazione dei dati raccolti.



## CONTESTO DI LAVORO

### Inquadramento territoriale dell'area indagata

Il Comune di Bormio è conterminato ai Comuni di Valdidentro, Valdisotto e Valfurva e confina a nord, per un breve tratto del suo limite amministrativo, con la Svizzera e la Provincia autonoma di Bolzano. Il suo territorio si estende dal corso del Fiume Adda fino al Passo dello Stelvio e ha una superficie complessiva di circa 41 km<sup>2</sup>.

Dal punto di vista geologico, il territorio del Comune di Bormio ricade nel Dominio Austroalpino che è costituito, dal basso verso l'alto, dalle seguenti unità tettoniche:

- **Falda di Languard**, esterna al territorio di Bormio;
- **Falda di Campo**, costituita da rocce di basamento cristallino (filladi, paragneiss, ortogneiss, meta basiti, marmi e rocce granitoidi) con impronta metamorfica di età ercinica che interessa la porzione centrale del territorio comunale;
- **Falda dell'Ortles**, composta da potenti formazioni sedimentarie (dalla serie della dolomia principale fino ai calcari) che costituiscono una fascia continua che attraversa il territorio comunale da est a ovest;
- **Falda di Quattervals**, che appoggia direttamente sulla Falda dell'Ortles ed è costituita quasi esclusivamente da dolomia principale.

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio comunale può essere suddiviso in un'area pedemontana, posta alla quota di circa 1.200 m s.l.m e densamente popolata, dove sono presenti la conoide del torrente Frodolfo e quella del torrente Campello, che transigono verso ovest, senza nette soluzioni di continuità, ai depositi alluvionali del Fiume Adda, e in una porzione prettamente montana, corrispondente al territorio che si sviluppa verso nord fino al Passo dello Stelvio (si veda la "Relazione generale" della Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Bormio).

Non infrequenti sono le manifestazioni di attività morfologica, anche intense, in particolare quelle di colata detritico-torrentizia lungo le aste dei torrenti Campello (e Pravasivo), i cui bacini di alimentazione sono impostati, nella parte sommitale, entro le successioni carbonatiche, in rapida degradazione, sovrascorse sul basamento cristallino.

Significative, infine, le manifestazioni sorgentizie a carattere anche idrotermale dalle quali si alimenta il complesso dei "Bagni di Bormio".

## Origine dell'Arsenico nei suoli

La presenza di Arsenico nei suoli, in concentrazioni anche superiori ai limiti imposti dalla normativa italiana (20 mg/kg s.s. per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale e 50 mg/kg s.s. per i siti ad uso commerciale e industriale), può essere dovuta sia a fenomeni di origine naturale che ad attività antropiche.

In natura l'Arsenico si trova principalmente in corrispondenza di sistemi vulcanici, depositi minerali idrotermali di alta e media temperatura (giacimenti di pirite), in ambienti fortemente riducenti (es. sedimenti marini profondi, torbiere) e nelle grandi pianure alluvionali.

L'Arsenico (As) è un elemento chimico calcofilo molto diffuso nella crosta terrestre nella quale è presente, oltre che come forma elementare, in più di 200 specie minerali (arseniuri, solfuri, ossidi, arseniati e arseniti) di cui la più comune è l'Arsenopirite ( $\text{FeAsS}$ ), cui seguono Realgar ( $\text{As}_4\text{S}_4$ ) e Orpimento ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ). La Pirite arricchita in Arsenico ( $\text{Fe(S,As)}_2$ ) può avere un contenuto di tale elemento superiore al 10% in peso, divenendone un'importante fonte nell'ambiente a seguito di processi metamorfici, attività mineraria ed erosione. La Pirite può formarsi anche in ambienti sedimentari in condizioni riducenti (ad esempio, in corrispondenza di depositi di materiale organico in decomposizione) e a basse temperature, inglobando parte dell'Arsenico solubile. Per quanto riguarda gli ossidi e gli idrossidi l'Arsenico può essere presente in elevate concentrazioni in parte all'interno della struttura dei minerali, in parte adsorbito ad essi. L'Arsenico può essere adsorbito anche dall'argilla e dalla calcite, ma la percentuale in peso di tale Arsenico è inferiore a quella adsorbita dagli ossidi di ferro (Smedley & Kinniburgh, 2002).

In Alta Valtellina sono note diverse località nelle quali è possibile rinvenire minerali dell'Arsenico in cristalli di varie dimensioni: la miniera di Stabiello sulle pendici della Cima di Redasco, dove l'Arsenopirite è segnalata in cristalli centimetrici, nel gruppo del Gran Zebrù e del Cevedale, dove questo minerale è segnalato in piccoli cristalli millimetrici, in Valdidentro sulla Cima Piazzi, sul Monte Sobretta, dove sono stati osservati realgar e orpimento in cristalli millimetrici inclusi nel quarzo, e in Valfurva e al Monte Plator in croste massive (Benetti, 2001).

Nei terreni il contenuto di Arsenico è molto variabile, ma le concentrazioni più elevate si osservano nei depositi non consolidati a tessitura più fine, limosi e argillosi, nei quali si possono riscontrare tenori fino a 490 mg/kg di Arsenico, a causa del più alto contenuto di solfuri, ossidi, sostanza organica e argilla, a cui è affine. I sedimenti ricchi di ossidi di ferro e manganese sono a loro volta accompagnati da significativi tenori di Arsenico, con concentrazioni che possono variare da 1 a 2.900 mg/Kg (NAS, 1977).

Il contenuto di Arsenico nei suoli è proporzionale a quello nei minerali costituenti il materiale parentale da cui il suolo ha avuto origine ed è quindi più elevato in presenza di minerali ferrosi e solfuri. Generalmente la concentrazione media di Arsenico nei suoli è dell'ordine di 5-10 mg/Kg, ma tale valore è più alto nella torba e nei suoli di palude e soprattutto nei suoli solfato-acidi che si arricchiscono in Arsenico per ossidazione della pirite in terreni ricchi di solfuri come scisti piritici, vene minerali e paludi di mangrovie prosciugate.

Per quanto riguarda invece l'Arsenico antropogenico, le attività industriali che contribuiscono o hanno contribuito in passato alla contaminazione del suolo da Arsenico sono:

- l'estrazione mineraria, la fusione dei metalli non ferrosi, gli impianti di arrostitimento e sinterizzazione di minerali metallici compresi i minerali solforati;

- la produzione industriale di vetro e ceramica, ma anche gli impianti destinati alla fusione di sostanze minerali e alla produzione di clinker e calce viva;
- la combustione di combustibili fossili (carbone o petrolio);
- la produzione di composti chimici organici di base (tra cui si ricorda ad esempio la produzione di coloranti e pigmenti), di fertilizzanti (che vengono utilizzati sia in pieno campo – dove l'uso prolungato di prodotti nei quali l'Arsenico è presente come impurezza, es. concimi fosfatici, può portare ad un accumulo di Arsenico nel suolo - che in serra per la difesa di specie floricole ad alto reddito), di prodotti fitosanitari e biocidi (l'Arsenico è utilizzato come pesticida soprattutto sulle piante di cotone e in passato veniva utilizzato per preservare il legno) e di esplosivi;
- gli impianti per il trattamento dei rifiuti (i contenuti più elevati di Arsenico si riscontrano nei rifiuti derivanti dall'industria metallurgica dei metalli non ferrosi, principalmente zinco e piombo).
- le industrie di cosmetici, le industrie tessili, i colorifici.



## ATTIVITÀ PRELIMINARI

### Esecuzione del piano di campionamento

Le attività di campionamento del terreno si sono svolte nei giorni 6 e 7 settembre 2022 sulla scorta del piano di campionamento predisposto dal Dipartimento ARPA di Sondrio, come previsto dal protocollo di intesa, e condiviso col Comune di Bormio.

Rispetto alle previsioni del piano originale il comune di Bormio ha proposto in campo alcune modifiche alla posizione dei punti di indagine, al fine di interessare aree di cui si avesse la piena disponibilità o comunque il benessere all'accesso, ma senza però inficiare la rappresentatività del dato e quindi il risultato finale.

Le attività di campionamento sono state condotte in contraddittorio con il personale della società Laboratorio Geotecnico Valtellinese s.r.l., incaricata dal Comune.

Nel complesso sono quindi stati indagati 20 punti, da ciascuno dei quali è stato prelevato un campione rappresentativo per ogni metro della trincea scavata, spinta alla profondità di due metri. In caso di variazioni litologiche entro tale profondità, il campione è stato formato entro ciascuno dei livelli individuati, a prescindere dalla posizione rispetto al piano campagna. Il materiale che ha concorso alla formazione del campione è stato setacciato in campo a 2 cm, scartando la frazione granulometricamente superiore.

### Attività analitica e valutazione esiti

La Parte, per il tramite dei consulenti incaricati, ha avviato ad analisi tutti i propri campioni presso il laboratorio Technolab3 di Erba (CO). I relativi esiti analitici sono stati acquisiti agli Atti dell'Agenzia con prot. n. 165637 del 21/10/2022.

Per la validazione del dato di Parte, l'Agenzia ha eseguito le proprie determinazioni su 8 dei 40 campioni presso la sede laboratoristica ARPA di Monza, che le ha fatte pervenire a prot. n. 163347 del 18/10/2022.

In entrambi i casi, le analisi sono state condotte sulla frazione inferiore a 2 mm del campione formato in campo, riportando quindi l'esito relativo al singolo parametro all'intero campione, comprensivo della frazione tra 2 mm e 2 cm, individuata come scheletro.

Il set analitico previsto dal protocollo era costituito dai seguenti parametri:

- pH
- Arsenico
- Cromo
- Nichel
- Zinco

Nella Tabella 1 seguente viene riportato il raffronto tra le rispettive determinazioni (i rapporti di prova emessi dai Laboratori sono allegati alla presente):

PARAMETRI	CSC limiti col. A B D.lgs 152/06	P1 (0-1)			P2 (1-2)			P3 (0-1)			P7 (1-2)		
		RDP	Esiti		RDP	Esiti		RDP	Esiti		RDP	Esiti	
<b>METALLI</b>		<b>50827</b>	Arpa	Parte	<b>50828</b>	Arpa	Parte	<b>50829</b>	Arpa	Parte	<b>50830</b>	Arpa	Parte
Arsenico mg/kg s.s.	20 50		24	15		45	26		20	13		17	15
Cromo totale mg/kg s.s.	150 800		15	8.4		10	8.2		< 10	< 5		10	6.7
Nichel mg/kg s.s.	120 500		14	8.0		11	7.9		< 10	< 5		11	6.3
Zinco mg/kg s.s.	150 500		79	38		49	28		21	16		33	17
<b>Altri parametri</b>													
pH	---		7.7	7.0		8.3	8.2		8.6	8.2		8.5	7.2
Scheletro g/kg	---		425	630		419	600		549	720		601	710

PARAMETRI	CSC limiti col. A B D.lgs 152/06	P10 (0-1)			P12 (1-2)			P13 (0-1)			P20 (1-2)		
		RDP	Esiti		RDP	Esiti		RDP	Esiti		RDP	Esiti	
<b>METALLI</b>		<b>50831</b>	Arpa	Parte	<b>50832</b>	Arpa	Parte	<b>50833</b>	Arpa	Parte	<b>50834</b>	Arpa	Parte
Arsenico mg/kg s.s.	20 50		62	73		80	150		30	30		16	13
Cromo totale mg/kg s.s.	150 800		36	35		18	14		23	12		< 10	< 5
Nichel mg/kg s.s.	120 500		36	30		21	13		23	15		< 10	< 5
Zinco mg/kg s.s.	150 500		106	78		63	36		60	33		16	10
<b>Altri parametri</b>													
pH	---		7.2	7.3		8.0	7.7		5.6	6.8		8.3	7.8
Scheletro g/kg	---		89	22		336	490		247	380		619	720

Tabella 1: confronto esiti analitici Parte/ARPA

Il raffronto evidenzia alcune marcate differenze, in particolare in alcuni campioni, tra il set di dati prodotto dal Laboratorio individuato dalla Parte e quello del Laboratorio ARPA.

Al fine di valutare la significatività di tali differenze e quindi procedere all'eventuale validazione del dato, sono stati condotti i test statistici di seguito illustrati.

Preliminarmente, è da evidenziare che il set di dati di Parte presenta per ciascun parametro analizzato un potenziale outlier, come visibile nei Box Plot riportati in Tabella 2. Tali valori, sicuramente di origine naturale, vengono valutati a valle della validazione del dato di seguito svolta. Inoltre, per la valutazione delle differenze, si è scelto di attribuire ai non-detect un valore pari alla metà del LOQ espresso dai rispettivi laboratori.



Il valore di t score per il gruppo di parametri in parola è sempre negativo ed inferiore a -2.365, collocandosi pertanto nella regione sinistra di non accettabilità dell'ipotesi nulla. Ciò sta ad indicare che le differenze rilevate tra i due set di dati appaiono statisticamente significative.

Per lo scopo del presente lavoro, tuttavia, si evidenzia che i tenori di tali elementi nei terreni indagati si collocano, anche considerando il set di dati relativo a tutti i campioni analizzati, ampiamente al di sotto dei limiti di riferimento e pertanto non verranno condotti in questa sede ulteriori approfondimenti.

### Arsenico

Per tale parametro la non normalità della distribuzione dei dati di Parte, rende di fatto non applicabile un t test a campioni appaiati. In questo caso, appare più opportuno condurre un test non parametrico dei ranghi con segno di Wilcoxon, che assolve funzioni analoghe. Il procedimento è il seguente:

1. Si calcolano le differenze tra le coppie di valori.
2. Si dispongono le differenze in valore assoluto crescente.
3. Si assegnano i ranghi ai valori ordinati tenendo conto che:
  - a. in caso di differenze nulle la coppia non verrà computata nella statistica di test e non concorrono alla numerosità campionaria;
  - b. a valori uguali si assegna un rango pari alla media dei ranghi che i valori avrebbero avuto se fossero stati diversi;
4. Si assegnano ai ranghi così determinati i segni delle differenze.
5. Si sommano separatamente i ranghi con segno positivo (W+) da quelli negativi (W-).
6. Si confronta il minore tra W+ e W- (in valore assoluto) con il valore W tabulato per il valore alpha imposto (0.05) e per la numerosità campionaria, accettando l'ipotesi nulla (le differenze sono dovute al caso) se il minore tra W- o W+ è inferiore al valore critico.

Per i campioni considerati la valutazione è sintetizzata nella seguente Tabella 3:

Campione	As_Lab	As_ARPA	As_Diff	As_Diff	Segno	Rango	Rango con segno
P1 0-1	15	24	-9	9	-1	4	-4
P2 1-2	26	45	-19	19	-1	6	-6
P3 0-1	13	20	-7	7	-1	3	-3
P7 1-2	15	17	-2	2	-1	1	-1
P10 0-1	73	62	11	11	1	5	5
P12 1-2	150	80	70	70	1	7	7
P13 0-1	30	30	0	0	n.a.	n.a.	n.a.
P20 1-2	13	16	-3	3	-1	2	-2
W+	12						
W-	16						
Wcrit(7;0.05)	2						

W+ > W crit ---> Accetto l'ipotesi nulla

Tabella 3: test di Wilcoxon per i campioni appaiati relativi al parametro As

Essendo il minimo valore W calcolato maggiore del valore W critico tabulato, è possibile affermare che per il parametro As è possibile non scartare l'ipotesi nulla, ovvero ritenere che le differenze tra i due set di dati non siano statisticamente rilevanti. Ai fini pratici, pertanto, gli esiti forniti dai due laboratori possono essere ritenuti equivalenti nella rappresentazione del tenore in As nei terreni indagati. L'intero set di dati relativo ai 40 campioni prelevati ed analizzati presso il Laboratorio di Parte può pertanto essere validato per quanto riguarda il parametro Arsenico.

## DEFINIZIONE DEL VALORI DI FONDO NATURALE

### Formazione del set di dati

Come evidenziato in premessa, il territorio comunale di Bormio era già stato oggetto nel corso del 2020 di una indagine ambientale, che ha portato nel 2021 alla definizione di un valore di fondo del parametro Arsenico per la porzione insistente sul lobo destro del conoide del torrente Frodolfo. Nei medesimi anni e nel corso di quello corrente (2022), l’Agenzia ha peraltro acquisito, nell’ambito di attività di controllo unilaterale o in contraddittorio, ulteriori dati relativi al parametro Arsenico, i quali, pur se relativi ad ambiti territoriali più limitati, vengono fatti concorrere alla formazione del dataset complessivo, riportato nella seguente Tabella 4. La posizione dei punti di prelievo dei campioni è rappresentata nella allegata Tavola 1:

Ambito	Punto	Campione	As	Conoide	Alluvioni	Morenico
Campagna 2022	P1	P1 0-1	15	✓		
		P1 0-2	21	✓		
	P2	P2 0-1	32	✓		
		P2 1-2	26	✓		
	P3	P3 0-1	13	✓		
		P3 1-2	12	✓		
	P4	P4 0-1	31		✓	
		P4 1-2	47		✓	
	P5	P5 0-1	20		✓	
		P5 1-2	20		✓	
	P6	P6 0-1	21	✓		
		P6 1-2	23	✓		
	P7	P7 0-1	18	✓		
		P7 1-2	15	✓		
	P8	P8 0-1	32		✓	
		P8 1-2	32		✓	
	P9	P9 0-1	27	✓		
		P9 1-2	32	✓		
	P10	P10 0-1	73	✓		
		P10 1-2	57	✓		
	P11	P11 0-1	160			✓
		P11 1-2	170			✓
	P12	P12 0-1	120			✓
		P12 1-2	150			✓
	P13	P13 0-1	30			✓
		P13 1-2	44			✓
	P14	P14 0-1	320			✓
		P14 1-2	220			✓
	P15	P15 0-1	39			✓
		P15 1-2	29			✓
	P16	P16 0-1	97			✓
		P16 1-2	100			✓

Ambito	Punto	Campione	As	Conoide	Alluvioni	Morenico
	P17	P17 0-1	17		✓	
		P17 1-2	16		✓	
	P18	P18 0-1	79		✓	
		P18 1-2	69		✓	
	P19	P19 0-1	35	✓		
		P19 1-2	100	✓		
	P20	P20 0-1	14		✓	
		P20 1-2	13		✓	
<b>Cantiere "via Leghe Grigie" (2022)</b>	P1	P1 0-1	27	✓		
		P1 1-2	33	✓		
	P2	P2 0-1	34	✓		
		P2 1-2	36	✓		
	P3	P3 0-1	30	✓		
		P3 1-2	34	✓		
<b>Lobo destro conoide Frodolfo (2021)</b>	P2	201	47	✓		
		212	28	✓		
	P3	301	34	✓		
		312	27	✓		
	P4	401	56	✓		
		412	63	✓		
	P5	501	39	✓		
		512	24	✓		
	P6	601	14		✓	
		612	55		✓	
	P7	701	37	✓		
		712	43	✓		
	P8	801	61	✓		
		812	53	✓		
	P9	901	40	✓		
		912	35	✓		
	P10	1001	74	✓		
		1012	89	✓		
	P11	1101	34	✓		
		1112	24	✓		
<b>Cantiere RSA "Villa del Sorriso" (2020)</b>		C2	35	✓		
		C3	65	✓		
<b>Cantiere "Via Stelvio 1" (2020)</b>	A1	A101	24	✓		
		A112	29	✓		
	B1	B101	39	✓		
		B112	12	✓		
		B123	29	✓		
	C1	C101	45	✓		
		C112	30	✓		

Ambito	Punto	Campione	As	Conoide	Alluvioni	Morenico
	D1	D101	27	✓		
		D112	16	✓		
"Golf Club" (2020)	C1	C1.1	15		✓	
	C2	C2.1	29		✓	
	C3	C3.1	53		✓	
	C4	C4.1	27		✓	
	C5	C5.1	47		✓	
	C6	C6.1	67		✓	
	C7	C7.1	48		✓	
	C8	C8.1	16		✓	
Cantiere "Via Stelvio 2" (2020)	C1	C1	30	✓		

Tabella 4: set di dati relativi al parametro As e distribuzione dei campioni per tipologia di deposito

## Analisi statistica del dataset

La definizione del valore di fondo naturale del parametro Arsenico deve essere preceduta da un esame del set di dati riportato nella precedente Tabella 4, al fine di individuare e valutare la presenza di eventuali outlier e verificare l'effettiva aderenza del set ad una distribuzione normale (o ad essa riconducibile).

### Individuazione dei potenziali outlier

La seguente Figura 2 mostra la presenza di potenziali outlier per tenori di Arsenico superiori a 89 mg/kg s.s.:

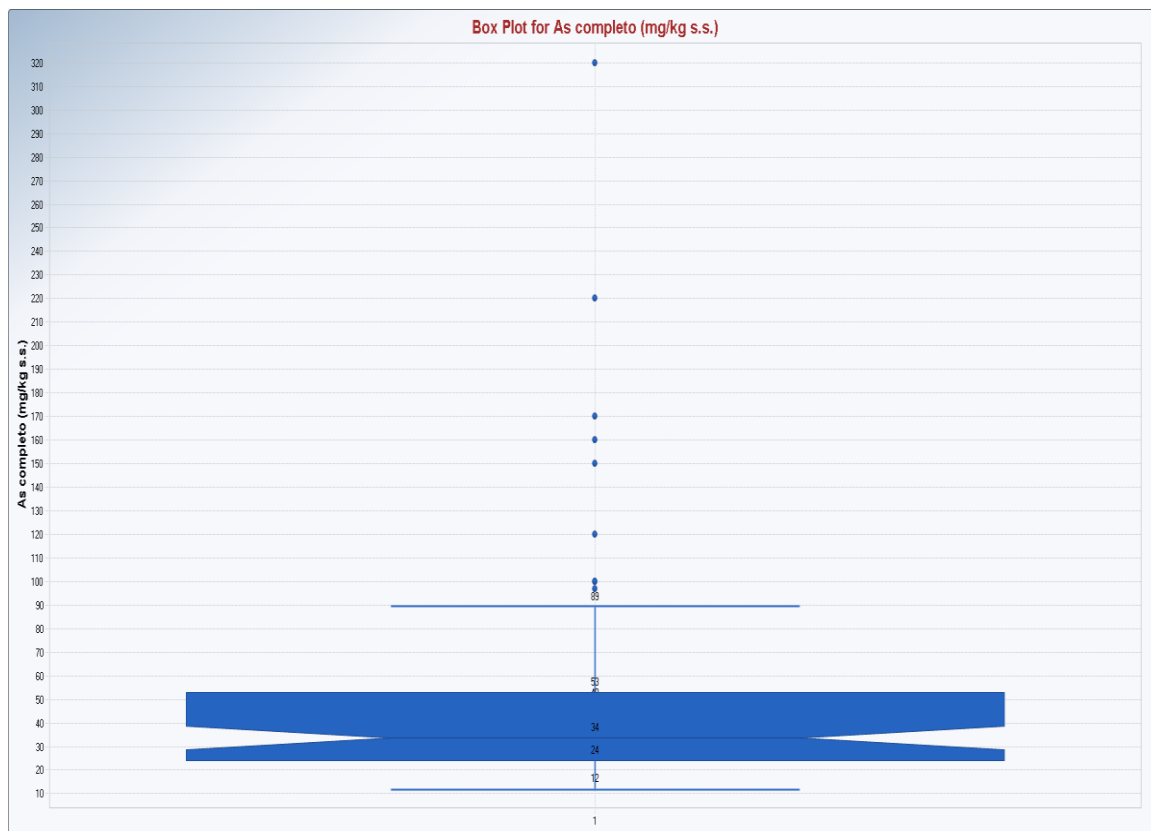


Figura 2: box plot del dataset completo ("uncensored") dei valori di Arsenico rinvenuti sul territorio comunale



Al fine di valutare correttamente tali outlier, appare opportuno fare riferimento allo stralcio di mappa estratto dall'allegata Tavola 2 e riportato nella seguente Figura 3:

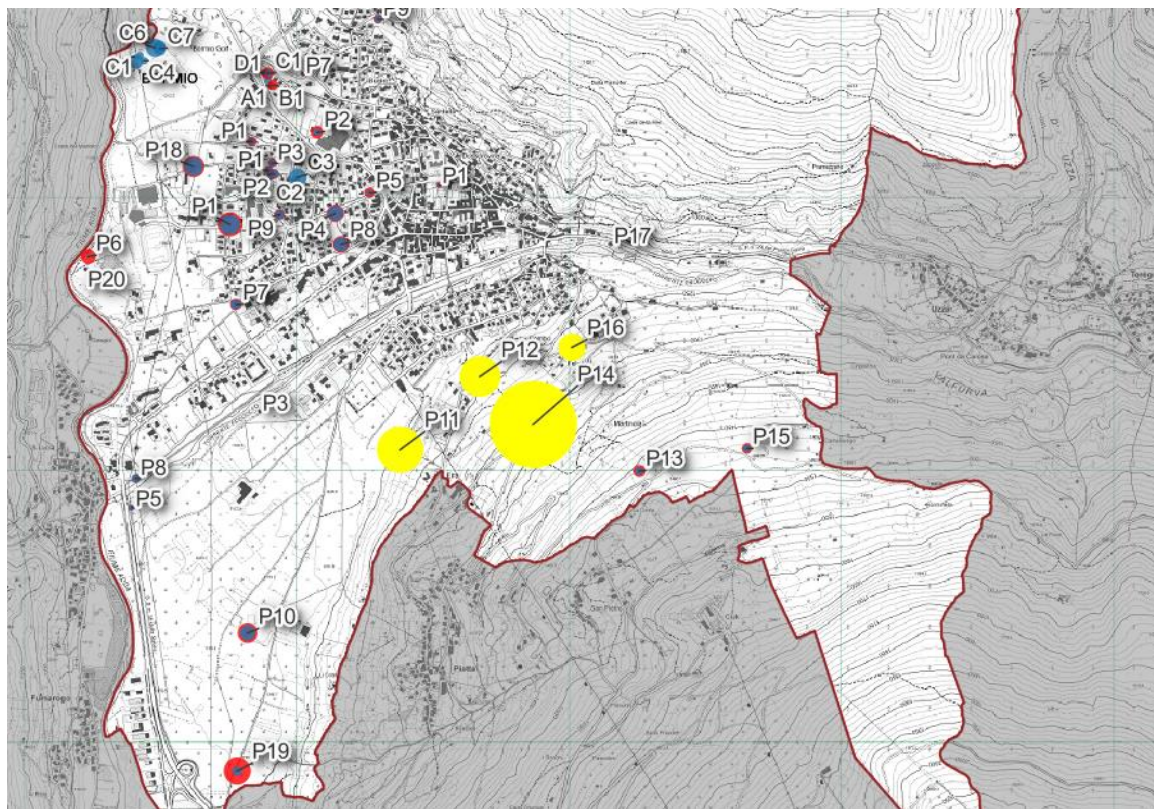


Figura 3: distribuzione planimetrica dei valori di Arsenico riscontrati nei campioni prelevati nel territorio comunale. In giallo i potenziali outlier

La stessa evidenza come, se si eccettua il campione profondo del punto P19, i punti di prelievo dei campioni con tenore in Arsenico superiore a 89 mg/kg s.s. sono raccolti in una porzione del settore meridionale del territorio comunale.

È altresì possibile evidenziare, tramite il Q-Q plot relativo al dato complessivo riportato in Figura 4, come i valori superiori a 89 mg/kg s.s. siano molto discosti dalla retta di interpolazione, quest'ultima infatti presenta un indice di correlazione  $R = 0,79$  non particolarmente elevato:

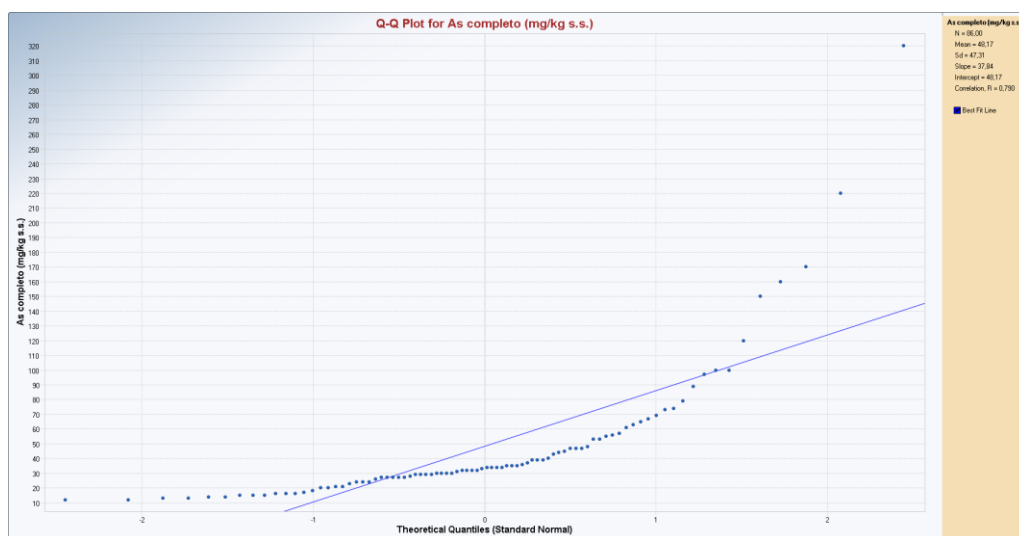


Figura 4: Q-Q plot relativo al dataset completo, con divergenza dei valori di As superiori a 89 mg/kg s.s.



Suddividendo il dato in corrispondenza del flesso della curva descritta dal dato complessivo e rappresentata nella precedente figura, i due sottoinsiemi vengono interpolati da rette con indici di correlazione marcatamente più elevati ( $R=0,96$  per i dati con  $As \leq 89$  mg/kg s.s. e  $R = 0,91$  per i dati con  $As > 89$  mg/kg s.s.), come riportato nella seguente Figura 5:

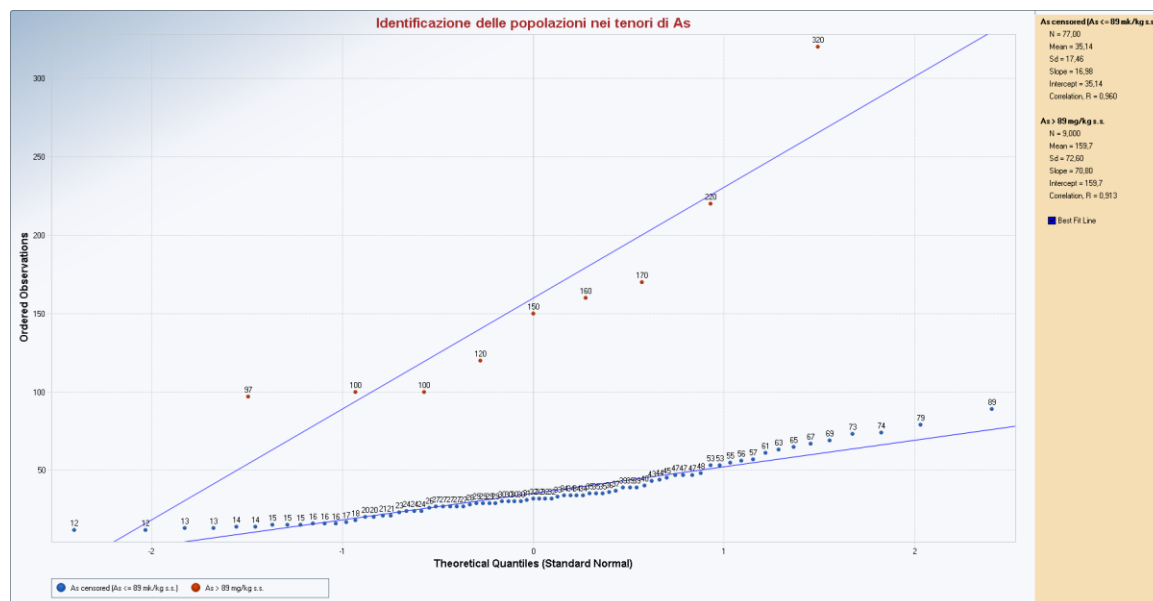


Figura 5: identificazione delle due popolazioni nei tenori di As rilevati

L'evidenza di cui sopra viene interpretata come indizio a supporto della presenza di una seconda e distinta popolazione che, per quanto noto all'atto della redazione del presente documento, appare ubicata in un'area circoscritta del territorio comunale, nella quale è rappresentata da un modesto numero di dati. Per tale ragione, appare opportuno procedere a definire il valore di fondo naturale del parametro Arsenico del territorio comunale escludendo dal set i valori superiori a 89 mg/kg s.s..

#### Determinazione del valore di fondo con dati "censured" (As <= 89 mg/kg s.s.)

Eliminando i valori relativi ai campioni con tenore di Arsenico superiore ad 89 mg/kg s.s sulla scorta delle considerazioni suddette, per la determinazione del valore di concentrazione rappresentativo del fondo naturale sono stati utilizzati i dati relativi a 77 campioni di terreno, comunque ritenuti indicativi delle condizioni naturali dell'area. Si evidenzia che i dati vengono elaborati senza distinguere la profondità di campionamento, sia perché non si osserva una correlazione tra questa e la concentrazione di Arsenico, sia perché per alcuni dati non è identificata la profondità di prelievo.

Come specificato dalle linee guida SNPA "determinare il "valore di fondo" di un dato parametro significa attribuire ad esso un valore (o, in termini più generali, associare ad esso un descrittore) che esprima la variabilità massima di quel parametro in relazione all'"oggetto" che si intende rappresentare, all'area di indagine e, eventualmente, ad una finestra temporale".

Di conseguenza, preliminarmente, sono stati condotti i test statistici atti ad individuare quale fosse la distribuzione più adatta a rappresentare l'andamento del dato raccolto.

Come sintetizzato in Tabella 5, il set di dati considerato non appare rappresentabile da una distribuzione Normale, ma da una distribuzione ad essa riconducibile ovvero quella Lognormale<sup>1</sup>:

Normal GOF Test Results		Lognormal GOF Test Results	
Correlation Coefficient R	0,960	Correlation Coefficient R	0,992
Approximate Shapiro Wilk Test Statistic	0,910	Approximate Shapiro Wilk Test Statistic	0,963
Approximate Shapiro Wilk P Value	8,5249E-6	Approximate Shapiro Wilk P Value	0,0835
Lilliefors Test Statistic	0,153	Lilliefors Test Statistic	0,0854
Lilliefors Critical (0,0500) Value	0,101	Lilliefors Critical (0,0500) Value	0,101
<b>Data not Normal at (0,0500) Significance Level</b>		<b>Data appear Lognormal at (0,0500) Significance Level</b>	

Tabella 5: individuazione della miglior distribuzione rappresentativa del set di dati

Il valore di fondo viene quindi individuato al 95° percentile della distribuzione Lognormale, in corrispondenza del quale risulta essere pari a circa 70 mg/kg s.s., come evidenziato nella seguente Tabella 6:

Background Statistics assuming Lognormal Distribution			
95% UTL with 95% Coverage	82,53	90% Percentile (z)	58,81
95% UPL (t)	71,46	95% Percentile (z)	<b>70,37</b>
95% USL	145,7	99% Percentile (z)	98,54

Tabella 6: Parametri statistici della distribuzione del campione considerato e individuazione del descrittore del fondo naturale

Il valore di fondo così determinato, da utilizzare in sostituzione alle CSC come previsto dalla normativa vigente, si ritiene valido nell'intero territorio comunale all'interno dell'ambito delimitato in Tavola 3, riportato in stralcio nella seguente Figura 6:

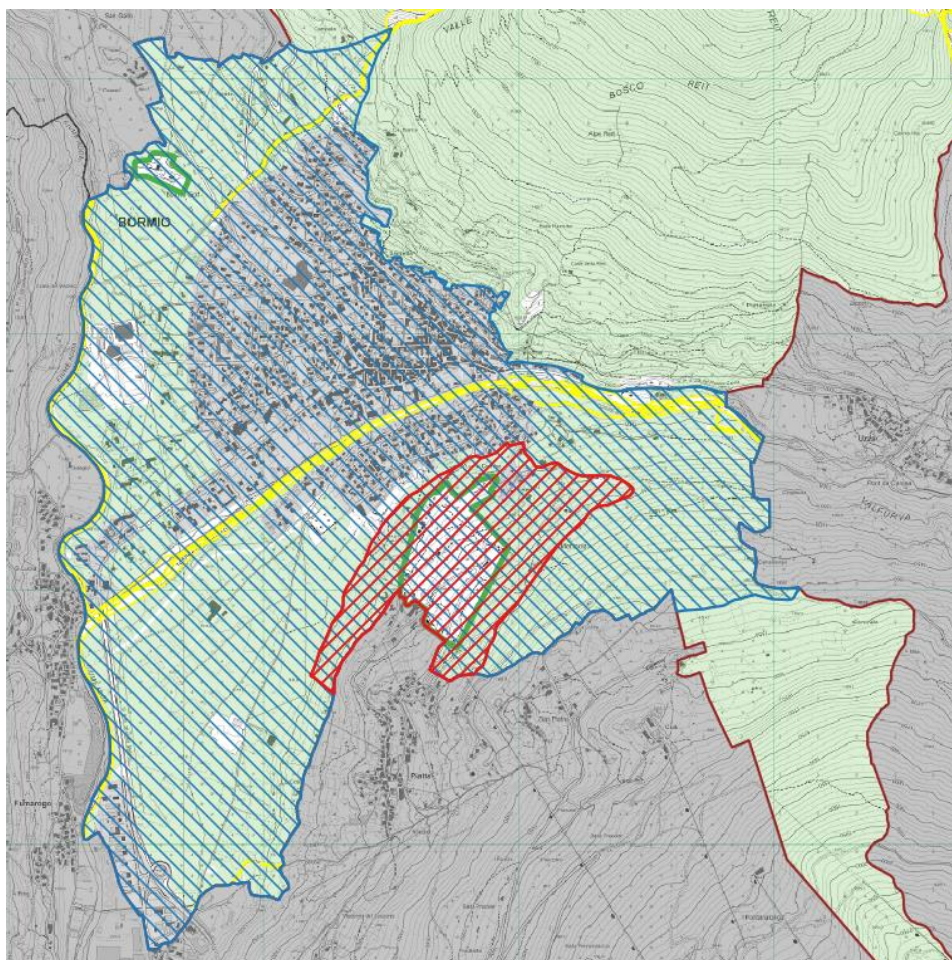


Figura 6: stralcio Tavola 3 con rappresentazione ambito di validità del valore di fondo naturale determinato

<sup>1</sup> Test condotto utilizzando la funzione "Goodness of fit" del software ProUCL 5.1

## CONCLUSIONI

Le attività di indagine condotte nell'ambito del protocollo di intesa sottoscritto nel 2022 da ARPA Lombardia, dall'Amministrazione Comunale di Bormio, da ANCE Lecco e Sondrio e Confartigianato Imprese Sondrio, hanno consentito di raccogliere 40 campioni di terreno in 20 distinti punti di indagine distribuiti diffusamente sul territorio comunale.

Riunendo i valori di Arsenico riscontrati in tali campioni con gli ulteriori dati ottenuti in precedenti o concomitanti indagini sullo stesso territorio, comunque validati dall'Agenzia, è stato formato un cospicuo set di 86 valori rappresentativi della distribuzione territoriale delle concentrazioni del parametro ricercato nei terreni dell'area.

L'esame statistico e geospaziale del dataset ha innanzitutto fornito indizi della presenza di una distinta popolazione di campioni, caratterizzati da concentrazioni eccezionalmente elevate di Arsenico, ovvero superiori a 89 kg/kg s.s, provenienti da una porzione del versante meridionale del territorio comunale, a ridosso del contermine comune di Valdisotto. In tale area si osservano principalmente coperture di natura morenica. Stante la situazione riscontrata, i dati di tali campioni sono stati esclusi dalla definizione del valore di fondo.

Sulla scorta dei rimanenti dati, il descrittore del valore di fondo naturale del parametro Arsenico è stato individuato al 95° percentile della distribuzione Lognormale che meglio rappresenta la distribuzione dei tenori riscontrati, e posto quindi pari 70 mg/kg s.s..

Il valore di fondo naturale così determinato sostituisce la Concentrazione Soglia di Contaminazione del parametro Arsenico espressa alla Tabella 1, All. 5 al Titolo V, Parte Quarta, d.lgs. 3 aprile 2006, n. 152, nell'ambito territoriale rappresentato nella Tavola 3. Nella medesima, è riportato con apposito sovrassegno anche l'area di afferenza dei campioni con tenori di Arsenico anomali rispetto al valore di fondo naturale.

La disciplina degli eventuali siti di produzione, deposito intermedio e di destinazione di materiali da scavo in tali ambiti è infine dettagliata nelle NTA allegate.

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 “Norme in materia ambientale”.
- Decreto del Presidente della Repubblica 13 giugno 2017, n. 120 “Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell’articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164”.
- legge 29 luglio 2021, n. 108 “Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77, recante governance del Piano nazionale di ripresa e resilienza e prime misure di rafforzamento delle strutture amministrative e di accelerazione e snellimento delle procedure”.

## LINEE GUIDA

- Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Ligure (ARPAL), 2014. “Linee guida per lo studio dei valori di fondo naturale di alcuni metalli e semimetalli nei suoli della Liguria”.
- ISO 19258/2005 “Soil Quality – Guidance on the determination of background values”.
- Provincia di Milano, Università degli Studi di Milano – Dipartimento di Scienze della Terra “A. Desio”, 2003. “Linee guida per la determinazione dei valori del fondo naturale nell’ambito della bonifica dei siti contaminati”.
- Regione del Veneto, 2010. Protocollo operativo per l’esecuzione di indagini mirate alla determinazione delle concentrazioni di metalli e metalloidi nei suoli attribuibili al fondo naturale o ad inquinamento diffuso. Allegato A alla Dgr n. 464 del 02.03.2010.
- Sistema Nazionale per la Protezione dell’Ambiente (SNPA), 2018. “Linee guida per la determinazione dei valori di fondo per i suoli e le acque sotterranee”. Linee guida n. 8.
- Sistema Nazionale per la Protezione dell’Ambiente (SNPA), 2019. “Linee guida sull’applicazione della disciplina per l’utilizzo delle terre e rocce da scavo”. Linee guida n. 22.

## BIBLIOGRAFIA

- ARPA Emilia-Romagna. 2005. “Presenza e diffusione dell’arsenico nel sottosuolo e nelle risorse idriche italiane”. I quaderni di Arpa.
- ARPA Veneto, Dipartimento Provinciale di Treviso – Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti. Dicembre 2007. “L’interpretazione delle analisi del terreno”. ISBN 88-7504-115-6.
- L. Benetti. 2001. “Arsenico nativo, arsenopirite ed altri minerali di arsenico in provincia di Sondrio”. IVM Magazine, Bollettino dell’Istituto di Mineralogia “F. Grazioli” 2/2001, pp. 12-13.
- G. Bonsignore, A. Borgo, R. Gelati, A. Montrasio, R. Potenza, R. Pozzi, U. Ragni, G. Schiavinato. 1969. “Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000, foglio 8, Bormio” e relative “Note illustrative”. Servizio Geologico d’Italia. Consultabile al seguente link:  
[http://sgi.isprambiente.it/geologia100k/mostra\\_foglio.aspx?numero\\_foglio=8](http://sgi.isprambiente.it/geologia100k/mostra_foglio.aspx?numero_foglio=8)
- Comune di Bormio. 2013. “Componente geologica, idrogeologica e sismica. Relazione generale”. Piano di Governo del Territorio (PGT).

- P. Conti. (1997). “La Falda austroalpina dell’Ortles e l’evoluzione tettonica delle Dolomiti dell’Engadina (Svizzera-Italia)”. Mem. Descr. Carta Geol. d’Italia, LIII, Roma.
- Istituto Nazionale per l’Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL). 2010. “Arsenico: contaminazione ed esposizione ambientale”. Quaderno informativo ISPESL.
- M. Marcolli. 2020. “Studio della distribuzione dell’arsenico nei suoli dell’alta Valtellina finalizzato alla definizione di una metodologia per la determinazione dei valori di fondo naturale”. Tesi di laurea, Università degli Studi di Milano – Bicocca, Dipartimento di Scienze dell’Ambiente e della Terra.
- National Academy of Sciences. 1977. “Medical and biologic effects of environmental pollutants: Arsenic”. Washington D.C., pp 332.
- F. Previtali. 2001. “Elementi di geopedologia. Genesi e geografia dei suoli.”
- Provincia di Milano. 2003. “Linee guida per la selezione di analiti da determinare nella caratterizzazione dei siti contaminati.”
- Regione Lombardia. Carta litologica - Base informativa della cartografia Geoambientale. Mappa digitale. Ultima revisione del dato: 01/01/1987. Geoportale: <https://www.geoportale.regione.lombardia.it/>
- Regione Lombardia. Carta geomorfologica - Base informativa della cartografia Geoambientale. Mappa digitale. Ultima revisione del dato: 01/01/1987. Geoportale: <https://www.geoportale.regione.lombardia.it/>
- P.L. Smedley, D.G. Kinniburgh. 2002. “A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters”. Applied Geochemistry 17 (2002), pp. 517–568.