



COMUNE DI BRINDISI



REGIONE PUGLIA



AREA METROPOLITANA  
BRINDISI

PROGETTO RELATIVO ALLA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO  
AVENTE POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 55,86 MW E POTENZA MODULI PARI A 68,78 MWP  
CON RELATIVO COLLEGAMENTO ALLA RETE ELETTRICA - IMPIANTO AEPV-C02 UBICATO IN  
AGRO DEL COMUNE DI BRINDISI

ELABORATO:

Allegato Tecnico al D.D. RIA 46/21

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello Prog.	Codice Rintracciabilità	Tipo Doc.	Sez. Elaborato	N° Foglio	Tot. Fogli	N° Elaborato	DATA	SCALA
PD	201900555	RT	03	1	142	03.R.T.AL	10/2021	-:-

REVISIONI

REV	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
01	[...]	[...]	IVC	N/A	N/A

PROGETTAZIONE

TECNICO SPECIALISTA

**Prof. Dott. Francesco Magno  
Geologo**

38, Via Colonne  
72100 Brindisi (BR)  
M.: +39 337 825366  
E.: frmagno@libero.it



-----  
(TIMBRO E FIRMA)

-----  
(TIMBRO E FIRMA)

SPAZIO RISERVATO AGLI ENTI

RICHIEDENTE

**BRINDISI SOLAR 3 SRL**  
C.F./P.IVA02611120748  
6, Via Antonio Francavilla  
72019 San Vito dei Normanni (BR)

-----  
(TIMBRO E FIRMA PER BENESTARE)



**PROCEDURA DI CALCOLO FINALIZZATA ALLA  
DETERMINAZIONE DEI VALORI DI FONDO DI  
METALLI/METALLOIDI NELL'AREA  
INDUSTRIALE DI BRINDISI**

**RELAZIONE TECNICA**

Il Direttore Scientifico  
Dott. Massimo Blonda

Il Direttore Generale  
Prof. Giorgio Assennato

Hanno curato la presente relazione i signori: Dott. Bisceglia L., Dott. Calabrese E., Dott. Dagnano A., Dott. Dell'Atti D., Ing. De Mattia C., Dott. Gramegna D., Dott. Lacarbonara F., Dott. Margiotta S., Dott. Musolino V., Dott. Stelluti M., Ing. Valenzano B.

**Bari, 3 ottobre 2008**

## INDICE

1. Premessa	3
2. Definizioni	4
3. Assetto geologico e Geochimica dell'Area	6
4. Individuazione delle Aree Rappresentative	8
5. Ubicazione dei Punti di Prelievo	10
6. Analisi di Laboratorio	11
7. Analisi Statistica dei Dati - As - Be	12
8. Analisi Statistica dei Dati – Altri Metalli	20
9. Conclusioni	59
10. Bibliografia	60
11. Allegato 1: Output di Calcolo	62
12. Allegato 2: Rappresentazione Grafica Valori di As e Be	94
13. Mappe tematiche	103

## 1. PREMESSA

La presente relazione risponde a quanto previsto dall'Accordo di Programma per la definizione degli interventi di messa in sicurezza e bonifica delle aree comprese nel Sito di Interesse Nazionale "Brindisi" (AdP) all'art. 5, comma 11, lettera a) in riferimento alla "definizione dei valori di fondo naturale delle aree".

Tale incarico veniva conferito ad ARPA Puglia nell'ambito della Convenzione tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), Regione Puglia, Commissario di Governo per l'Emergenza Ambientale e ARPA Puglia, sottoscritto in data 29.07.2008

In sede di Conferenza dei Servizi decisoria del 13.03.2006, il MATTM ha affidato l'incarico ad ISS ed APAT di elaborare la metodologia per affrontare il problema del "fondo naturale" di arsenico nell'area di Brindisi.

Con nota prot. 18744 del 28.06.2006, APAT trasmetteva il documento "Protocollo Operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli dei siti di interesse nazionale" (PO APAT-ISS).

Questa Agenzia ha pertanto ritenuto doveroso applicare tale protocollo appositamente predisposto e tale scelta è stata in più occasioni assentita in sede di Comitato di Indirizzo e Controllo dell'AdP e confermata dalla nota MATTM prot. n. 7318/QdV/DI/VII/VIII/IX/XIV del 01.04.2008, che riscontrava la nota ARPA Puglia prot. n. 1773 del 03.03.2008.

In particolare, il presente studio ha trattato separatamente Arsenico e Berillio rispetto agli altri metalli, dal momento che le determinazioni di As e Be hanno evidenziato superamenti rispetto ai limiti di legge.

La presente relazione contiene la procedura mirante a determinare i valori di fondo di metalli e metalloidi nei terreni dei siti d'interesse nazionale di cui al Protocollo Operativo APAT-ISS citato.

La procedura ha previsto l'esecuzione dei seguenti passaggi:

- inquadramento geologico dell'area;
- individuazione delle aree rappresentative;
- ubicazione dei punti di prelievo, scelta del numero di campioni;
- analisi di laboratorio;
- analisi statistica dei dati;
- definizione dei valori di fondo.

Il presente documento è corredato dai seguenti allegati:

Allegato 1: output numerici di calcolo;

Allegato 2: localizzazione dei punti di campionamento;

Allegato 3: mappe tematiche.

## 2. DEFINIZIONI

Ai fini della definizione degli obiettivi delle attività condotte e delle metodologie sviluppate, si è tenuto conto delle seguenti definizioni contenute nel Protocollo APAT ISS:

- Valore di fondo (ISO 19258): concentrazione di una sostanza nel suolo derivante dai processi geologici e pedologici comprendente anche l'apporto di sorgenti diffuse.
- Contenuto naturale pedo-geochimico (ISO 19258): concentrazione di sostanze nei suoli, risultante da processi naturali geologici e pedologici, senza alcuna interferenza di origine antropica.
- Contenuto antropizzato (ISO 19258): concentrazione di una sostanza nei suoli derivata sia dal contenuto naturale pedo-geochimico sia della moderata immissione diffusa nel suolo.
- Valori di fondo naturale (ISO 19258): caratteristiche statistiche del contenuto naturale pedo-geochimico di una sostanza nei suoli.
- Valori di fondo antropizzato "fondo usuale" (ISO 19258): caratteristiche statistiche del contenuto antropizzato di una sostanza nei suoli.

Le indagini hanno riguardato l'area limitrofa al perimetro del sito di interesse nazionale di Brindisi (Allegato 2). In funzione dell'elevata antropizzazione dell'area e delle criticità connesse alla disponibilità di accesso ai punti di prelievo si è proceduto partendo dal campionamento di n. 30 siti, individuati dalla Provincia di Brindisi, come concordato in sede di Conferenza di Servizi.

Il riferimento a 30 siti di campionamento, l'equazione utilizzata per la determinazione del numero minimo di campioni necessari per la verifica della media della distribuzione in oggetto, nei confronti di un valore soglia di intervento (US EPA, 2006), mediante l'applicazione del t-test, è stata:

$$n = \frac{s^2(Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta})^2}{\Delta^2} + 0,5Z_{1-\alpha}^2$$

in cui:

- n è il numero minimo di campioni;
- $s^2$  è la stima della varianza totale vera ( $\sigma^2$ );
- $\alpha$  è la probabilità accettabile che il test, applicato sul numero n di dati, indichi in maniera errata che la media delle concentrazioni non supera la CMA (ossia la concentrazione per cui un sito contaminato possa essere definito "pulito");
- $\beta$  è la probabilità accettabile che il test, applicato sul numero n di dati, indichi in maniera errata che la media delle concentrazioni supera la CMA (in poche parole che un sito "pulito" venga definito contaminato)
- $\Delta$  è definito come la minima differenza rilevabile, ovvero, se l'obiettivo dello studio è quello di confrontare la media di concentrazioni di un'area con le CMA,  $\Delta$  rappresenta la massima differenza tra la media delle concentrazioni e le CMA, che è importante rilevare con una probabilità pari a  $1 - \beta$ .
- Z è il valore, per una distribuzione di dati normale, per il quale la proporzione della distribuzione a sinistra di  $Z_{1-\alpha}$  è pari a  $1 - \alpha$ .

Del resto, diversi testi consultati considerano ampiamente significativa la numerosità di 30 siti. Per esempio le *"Linee Guida per la determinazione del valore di fondo naturale nell'ambito della bonifica dei siti contaminati"* redatte dalla Provincia di Milano riportano al paragrafo 4 che *"sia per i siti piccoli che per quelli medio grandi il campionamento del fondo naturale deve avvenire raccogliendo un numero minimo di 20 campioni"*.

Il paragrafo 6.3 del P.O. APAT-ISS dichiara, peraltro, espressamente che *"il numero minimo di campioni necessari per la determinazione dei valori di fondo è pari a 30"*.

Le assunzioni alla base della equazione sopra riportata sono che la distribuzione dei dati sia di tipo normale, i dati siano rappresentativi della popolazione, che i dati non siano correlati nel tempo e nello spazio. Il livello accettabile di errore viene definito dal decisore e viene espresso tramite il livello di confidenza ( $1-\alpha$ ) e potenza ( $1-\beta$ ).

### 3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOCHIMICO DELL'AREA

L'area oggetto di studio, omogenea dal punto di vista geologico, rientra nella piana di Brindisi corrispondente ad una vasta depressione strutturale che separa le Murge dal Salento e che è costituita da una potente successione di rocce carbonatiche di piattaforma (Ricchetti, 1972). Localmente, sui calcari mesozoici poggiano direttamente depositi riferibili al ciclo sedimentario pleistocenico della Fossa Bradanica, coperti a loro volta, in trasgressione, da depositi bioclastici terrazzati di ambiente litorale e depositi continentali olocenici ed attuali. I dati bibliografici relativi ai rilevamenti geologici condotti nell'area, integrati dai risultati delle indagini dirette e indirette del sottosuolo, hanno quindi permesso di schematizzare la seguente successione litostratigrafica, partendo dall'alto verso il basso:

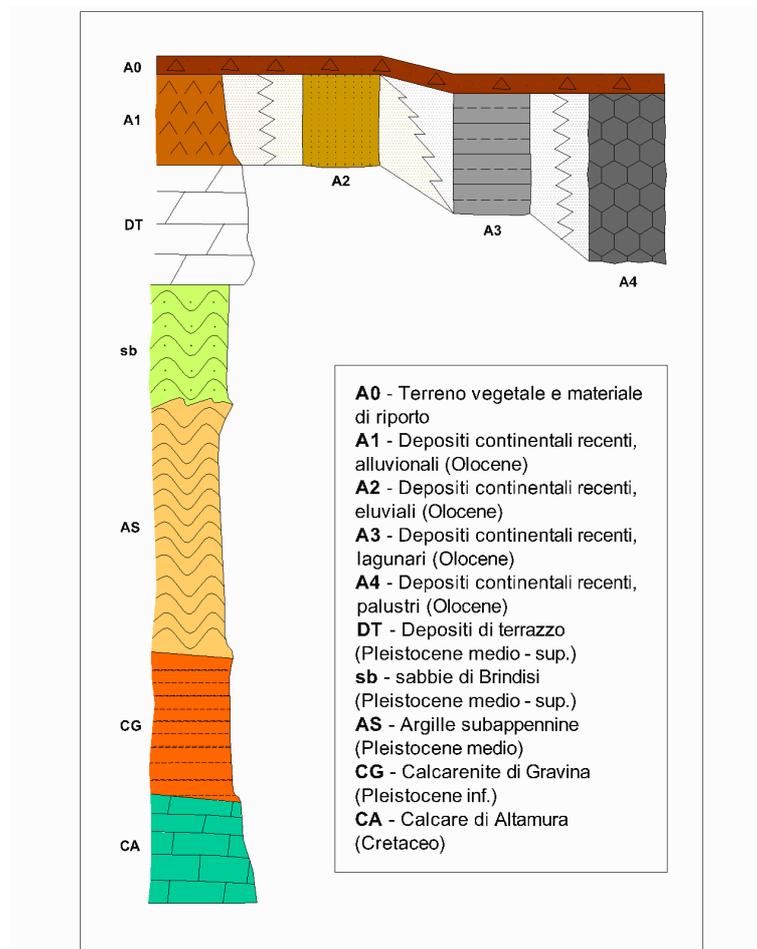


Figura 1: Diagramma schematico mostrante i rapporti tra le varie unità litostratigrafiche.

I *depositi continentali attuali* (A0) sono caratterizzati da terreno vegetale, con spessore tra 0.3 e 6 m circa, che in alcune aree, come in corrispondenza della zona industriale di Brindisi e del porto, è stato completamente asportato e sostituito con materiale di riporto. Se si prendono in considerazione le caratteristiche dei *depositi continentali* affioranti (*recenti*), si rileva la presenza di sabbie e sabbie limose, di origine eluviale, con un contenuto di materiale organico in genere poco elevato e frequenti inclusioni di clasti calcarei man mano che si scende in profondità (A1, A2). Tali depositi, con spessore massimo di 10 m, poggiano verticalmente sui Depositi di terrazzo e lateralmente passano

a limi argillosi e/o sabbioso argillosi di ambiente lagunare (A3), dello spessore medio di 5 m, e a torba (A4), con contenuto organico non decomposto, formatasi in ambiente paludoso. I depositi A4 sono particolarmente riscontrabili in corrispondenza di un bacino paludoso, impostatosi nella piana alluvionale del canale di scarico, successivamente deviato verso il Fiume Grande, ed intersecato dall'asse del nastro trasportatore in corrispondenza di 4 meandri del fiume. Il processo di erosione ed accumulo dei meandri ha, nel tempo, modificato la superficie topografica originaria incidendola profondamente e, nel contempo, allargando la piana di esondazione del fiume sino a formare una vasta area paludosa. Tali depositi li ritroviamo anche in prossimità dello sbocco a mare del Fiume Piccolo. Lo spessore della torba è variabile ed aumenta dal centro alle sponde della palude raggiungendo un massimo di circa 25 m.

L'unità pleistocenica dei *Depositi di terrazzo* (DT) è litologicamente costituita da calcareniti giallastre a grana grossa ben cementate con intercalati livelli sabbiosi ed altri costituiti da calcari organogeni in strati di spessore variabile da qualche centimetro a 10–15 cm. Per quanto riguarda l'estensione areale di questa unità si può supporre che sia totale per tutta l'area oggetto di studio. Lo spessore dell'unità è molto variabile, compreso tra pochi decimetri e una ventina di metri pur essendo i valori più ricorrenti di 5-6 m.

Il passaggio alle sottostanti Argille subappennine può avvenire in maniera diretta o tramite interposizione delle *sabbie di Brindisi* (sb), quest'ultime costituite da sabbie a grana fine, a luoghi contenenti abbondanti concrezioni diagenetiche. Le *Argille subappennine* (AS) costituiscono la formazione pleistocenica, caratterizzata da argille e argille sabbiose grigio azzurre, fossilifere, con permeabilità che si attesta intorno a valori compresi tra  $10^{-10}$  e  $10^{-11}$  m/s (caratterizzazione Consorzio BASI). Lo spessore della formazione è molto variabile da qualche metro sino a oltre 50 m. In particolare, lo spessore tende ad aumentare procedendo dalla Centrale di Cerano (valori medi intorno ai 20 m con massimi di 25 m), che costituisce il limite sud dell'area investigata, verso il porto di Brindisi che costituisce invece il limite nord, laddove gli spessori riscontrati sono dell'ordine dei 45 m e compresi tra 36 m e 52.60 m.

L'unità litologica della *Calcarenite di Gravina* (CG) è la più antica delle unità pleistoceniche presenti nell'area ed è caratterizzata da calcareniti a grana grossa di colore giallastro e ben diagenizzate, con frequenti macro e microfossili. Poggia con contatto discontinuo e discordante sul basamento carbonatico del Cretaceo, contatto ben visibile in diverse località del Salento ma non nell'area qui oggetto di studio. Dal punto di vista chimico questi depositi sono costituiti da calcite normale con un basso contenuto in magnesio. Costituenti minori sono la kaolinite, l'illite, la clorite, la smectite, la gibsite e la goethite che si trovano dispersi nel sedimento, mentre quarzo e feldspati si rinvencono come singoli grani. Lo spessore di questa formazione è molto variabile e raggiunge valori massimi superiori alla trentina di metri.

Il *Calcare di Altamura* (CA), affiorante immediatamente ad ovest dell'area di studio, è costituito da un'alternanza tra calcari e calcari dolomitici, micritici, compatti e tenaci di colore biancastro, in strati di spessore variabile da qualche centimetro a circa un metro. Gli affioramenti sono limitati a qualche metro di spessore, a luoghi coperti da terreno agrario; spessori maggiori, sino a trenta - quaranta metri, sono esposti nelle pareti delle cave, attive e no, in alcuni casi utilizzate come discariche, ubicate anche in aree attigue a quella oggetto di studio.

#### 4. INDIVIDUAZIONE DELLE AREE RAPPRESENTATIVE

Il PO APAT-ISS prevede che i dati necessari alla determinazione del fondo devono provenire da aree che presentino le seguenti caratteristiche:

1. siano geologicamente e geomorfologicamente confrontabili con l'area oggetto di indagine;
2. la distribuzione delle concentrazioni dei metalli/metalloidi non sia riconducibile ad alcuna sorgente puntuale e/o specifica attiva nel presente o nel passato.

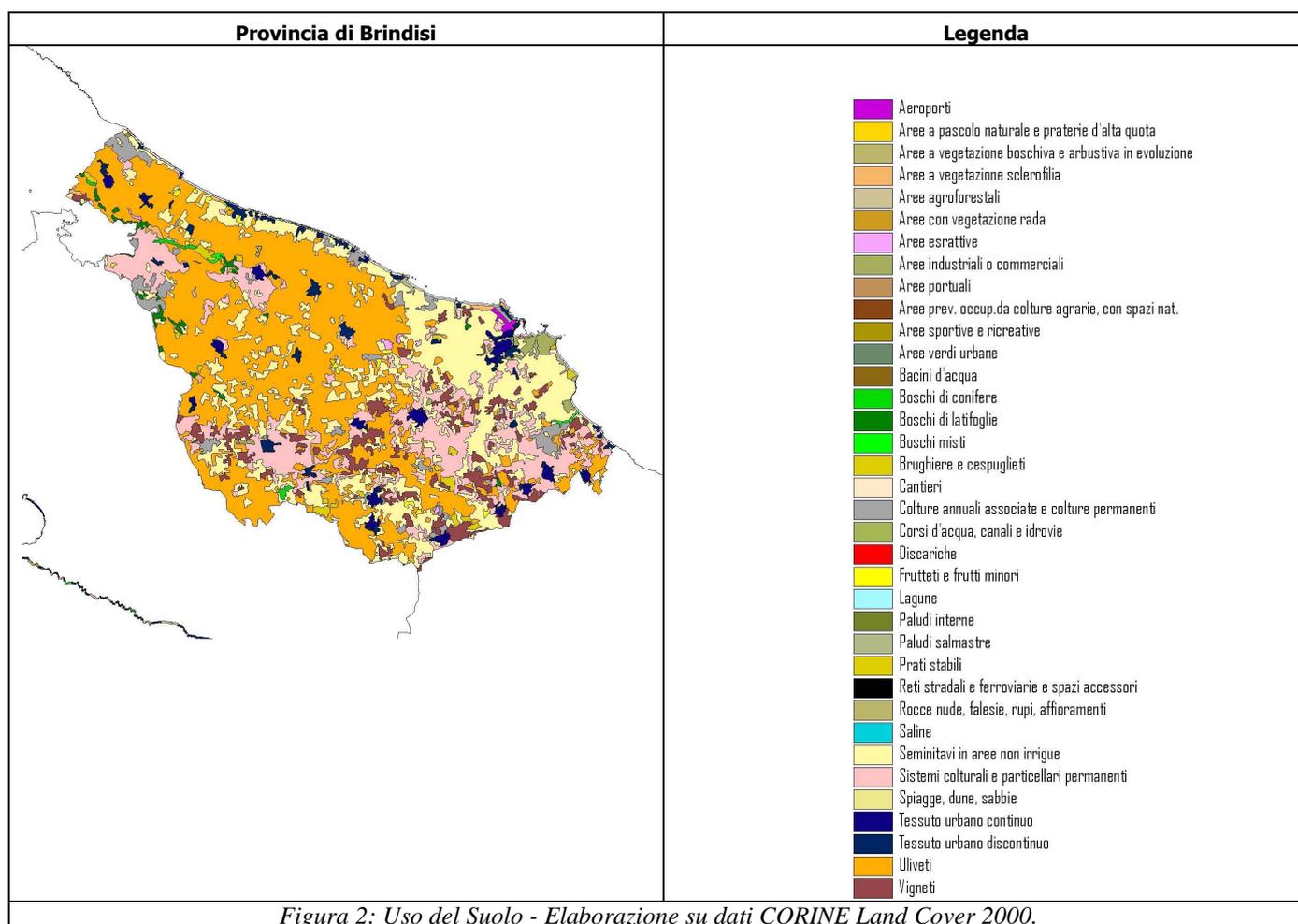
Rispetto alla prima condizione non è stato difficile effettuare l'indagine su un'area con le stesse caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geochimiche dell'area inquinata, dal momento che, a scala più ampia, entrambe le aree ricadono geologicamente nella Piana di Brindisi, che presenta le caratteristiche geologiche, stratigrafiche e litologiche sopra descritte.

Per quanto riguarda il secondo aspetto, lo stesso protocollo riporta testualmente quanto segue: *"Appare evidente la difficoltà di disporre di aree, ubicate in prossimità di siti industriali e quindi aventi caratteristiche geologiche confrontabili, che non risentano però delle attività svolte presso il sito o di altre attività antropiche (ad esempio le aree agricole). Eventuali difformità dai requisiti sopra enunciati dovranno essere opportunamente documentate in modo da poter effettuare, in fase di elaborazione dei dati, una valutazione corretta, anche mediante l'applicazione di opportuni strumenti statistici."*

Nella situazione in studio non appare possibile escludere, in prima analisi, sorgenti puntuali di contaminazione, rappresentate dagli insediamenti industriali, la cui presenza risulta particolarmente significativa ed impattante al punto da aver comportato l'individuazione del sito tra i SIN riconosciuti dal MATTM, e dal fenomeno di discariche abusive e abbandoni di rifiuti, diffuso in varie aree del territorio regionale, comunque sempre di dimensioni molto esigue.

Si ritiene che l'individuazione di aree rappresentative per la determinazione di valori di fondo "naturale" non possa prescindere dal considerare comunque fenomeni di contaminazione di tipo diffuso che pure influiscono sulle caratteristiche geochimiche dei terreni affioranti. Una delle fonti più significative di tale contaminazione, sia a livello locale sia a livello regionale, è rappresentata dall'agricoltura.

Va evidenziato a tal proposito che il territorio pugliese è fortemente caratterizzato dall'utilizzo agricolo del suolo, che rappresenta la destinazione preponderante con oltre l'80% della superficie regionale utilizzata. Correlando i dati ottenuti per la Puglia con quelli dell'intero territorio nazionale emerge che il territorio pugliese è caratterizzato dalla percentuale minore di aree boscate e seminaturali e da quella maggiore di superfici agricole. Un discorso analogo vale per il territorio della provincia di Brindisi e per l'area oggetto di indagine.



In considerazione di ciò, non è stato possibile individuare aree del territorio adiacenti al SIN assolutamente estranee all'influenza delle attività antropiche, nella fattispecie agricole.

Infatti, le aree naturali protette esistenti in prossimità dell'area di indagine sono il Parco Naturale Regionale "Salina Punta della Contessa", il SIC e la ZPS IT9140003 "Stagni e saline di Punta della Contessa". Esse sono state escluse nella fase di individuazione delle aree rappresentative, in quanto ricadono all'interno della perimetrazione del SIN.

È stato tuttavia possibile, nella selezione dei punti di campionamento, individuarne n. 4 ricadenti all'interno delle due Riserve Naturali Orientate Regionali "Bosco di Cerano" e "Bosco di Santa Teresa e Lucci", limitrofe all'area del SIN e localizzate rispettivamente nella porzione meridionale e sud-occidentale dell'area investigata, come da cartografia allegata (Allegato 3).

**Alla luce di quanto sopra, in considerazione della impossibilità di determinare nell'area in studio le concentrazioni di metalli e metalloidi la cui presenza nei terreni non sia riconducibile ad alcuna sorgente puntuale e/o specifica attiva, nel presente o in passato, come previsto dalla definizione di "valore di fondo" riportata nel PO APAT-ISS, la presente procedura deve legittimamente intendersi finalizzata alla definizione di valori di fondo antropizzato (ISO 19258).**

## 5. UBICAZIONE DEI PUNTI DI PRELIEVO

Dal momento che nell'area esterna al SIN non si aveva una conoscenza geochimica del complesso suolo-sottosuolo tale da orientare la scelta dei punti di indagine, si è preferito adottare una strategia, tra quelle previste dal PO APAT-ISS, di campionamento di tipo casuale, in cui i punti sono disposti liberamente nell'area da investigare.

In questo quadro si è dovuto tener conto, visti i tempi ristretti, della effettiva ed immediata accessibilità delle aree interessate dai campionamenti, come peraltro riportato dai rappresentanti ARPA Puglia in sede di Conferenza dei Servizi tenutasi presso il Comune di Brindisi. In tale sede, la Provincia di Brindisi espresse le criticità insite nei diritti di accesso alle aree private per l'effettuazione dei campionamenti e contestualmente si propose quale garante dell'accesso in specifiche aree in cui aveva già verificato la fruibilità. Tali aree, infatti, erano note al Corpo di Polizia Provinciale come adibite ad attività agricole di tipo "non intensivo".

Con nota prot. 1773 del 03.03.2008 questa Agenzia rappresentava al MATTM l'opportunità di acquisire la disponibilità di ENEL a fornire la strumentazione per le attività di carotaggio anche ai fini della definizione del fondo naturale nonché di prevedere un indennizzo dei danni procurati per l'accesso dei mezzi ed il successivo campionamento da riconoscere ai proprietari dei terreni che volontariamente avrebbero consentito l'accesso ai siti individuati. Il MATTM con la citata nota prot. n. 7318/QdV/DI/VII/VIII/IX/XIV del 01.04.2008 non riteneva di sollevare riserve circa le richieste avanzate.

Relativamente al numero di campioni esaminati sono state osservate le procedure di campionamento previste dal PO APAT-ISS, allineandosi al numero massimo previsto (n. 30). Analogamente, per quanto riguarda le quote di prelievo e il rispetto dei requisiti di rappresentatività, omogeneità e qualità.

In ogni stazione di campionamento sono stati prelevati 3 campioni: il top soil, un campione rappresentativo dello strato superficiale 0-1 m e uno rappresentativo del terreno profondo (compreso tra il primo metro e il tetto del terreno saturo corrispondente alla profondità di circa 6 m dal p.c.).

Da una verifica di completezza e adeguatezza dei dati esistenti, provenienti in larga misura dalle attività di caratterizzazione, si è preferito non utilizzare gli stessi ai fini della determinazione delle concentrazioni di fondo, per una serie di ragioni:

- i campioni erano stati localizzati in aree prossime a sorgenti di contaminazione ben individuabili;
- le modalità di campionamento non erano uniformi;
- le metodiche analitiche utilizzate non permettevano il confronto dei diversi set di dati.

## 6. ANALISI DI LABORATORIO

Come previsto al punto 6.4 (Analisi di laboratorio) del PO APAT-ISS, le determinazioni analitiche per i campioni prelevati per la determinazione dei valori di fondo sono state effettuate con metodi di analisi ufficiali riconosciuti a livello nazionale e/o internazionale e in regime di buone pratiche di laboratorio e di qualità.

La concentrazione totale di ogni metallo/metalloide avrebbe dovuto essere determinata con tecnica Spettrofotometrica XRF, previa dissoluzione completa in HF.

Rispetto a tutto ciò con lettera prot. n. 7420 del 11 aprile 2008 indirizzata al MATTM - Direzione Generale per la Qualità della Vita - da parte di ARPA Puglia si rappresentavano alcune difficoltà operative nel rispettare il protocollo citato. Infatti, nessun laboratorio di ARPA Puglia dispone di spettrofotometro XRF. Inoltre la dissoluzione con HF, in assenza di apparecchio dedicato può compromettere l'ottica di eventuali altre apparecchiature impiegate in alternativa alla spettrofotometria XRF. Infine la determinazione di metalli e metalloidi nei suoli dei SIN effettuata per valutarne il contenuto rispetto ai limiti tabellari non viene effettuata secondo la metodica citata.

Pertanto ARPA dichiarava che salvo diversa prescrizione avrebbe proceduto alle determinazioni analitiche con metodo ICP massa previa dissoluzione in acqua regia.

Con lettera del 28 aprile 2008 prot. 9910/QdV/DI/VII/VIII il MATTM condivideva la proposta formulata da ARPA Puglia tenendo conto che *"tale metodo presentava svantaggi dovuti alle difficoltà analitiche di interferenza che potrebbe condurre ad una cattiva ripetibilità del dato."* Nella citata nota si afferma inoltre che *"tale metodo oggi è praticamente abbandonato anche per effetto della necessità di disporre di strumentazione costosa e dedicata. In ogni caso la determinazione del fondo naturale effettuata limitandosi all'esecuzione delle determinazioni previa dissoluzione in acqua regia porterebbe ad individuare presumibilmente valori marginalmente più bassi di quelli ottenuti con la dissoluzione completa. **La procedura quindi potrebbe risultare comunque cautelativa.**"*

## 7. ANALISI STATISTICA DEI DATI – As e Be

Una volta definito il set di dati corrispondente al campione rappresentativo, si è proceduto alla determinazione del fondo mediante l'applicazione di test statistici secondo i passaggi previsti dal PO APAT-ISS:

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

### ***7.1. Analisi preliminare del set di dati: identificazione e trattamento di outliers e non detect.***

Il data-set a disposizione ha subito, a valle della fase di campionamento, una prima procedura di validazione. In ogni caso non si è esclusa, a priori, la presenza di valori "hot spot", rimandando la decisione della costituzione del data set ad una analisi statistica di secondo livello, attraverso l'applicazione di uno specifico test statistico.

L'identificazione degli outlier è stata condotta secondo le seguenti fasi (EPA 2000b,QA/G-9).

1. Identificazione dei valori estremi che potranno essere potenziali outlier. Questo può essere fatto mediante rappresentazione grafica dell'insieme dei valori rilevati: è possibile così individuare velocemente quei punti che corrispondono a valori più elevati o più ridotti rispetto agli altri. Una volta identificati i potenziali outlier, è necessario procedere alla fase successiva;
2. Applicazione di un opportuno test statistico. In particolare in letteratura si raccomanda l'uso del Rosner's test quando il data set contenga un numero di elementi maggiore di 25, come nella situazione in studio.
3. Valutazione critica degli outlier identificati per la scelta di trattamento del dato.
4. Nel caso di esclusione degli outlier dal data set, conduzione della successiva analisi statistica dei dati sia sull'insieme dei dati comprensivo di outlier, sia su quello rivisto con l'eventuale soppressione degli outlier.
5. Documentazione dell'intero procedimento, con la descrizione di tutti i passaggi e le scelte effettuate.

**Nel caso in oggetto è stato applicato il Rosner's test sia per il data set "Suolo superficiale Arsenico" sia per il data set mediato "Topsoil - Suolo superficiale Arsenico"; questo ha portato alla esclusione di tre outlier nel primo caso e uno nel secondo, la cui trattazione è rinviata al paragrafo 7.1.**

In particolare, nel primo caso il test ha permesso di individuare come outlier i valori 49,4 mg/kg, 45,3 mg/kg, 39,00 mg/kg riscontrati nei punti campionati 10-11-22; nel secondo caso è stato individuato come outlier il valore 43,7 relativo al punto 10.

**Per quanto riguarda i valori no-detect, nel data set utilizzato non risultano presenti.**

### 7.2 Definizione della distribuzione dei dati (test statistici).

In tutti i casi, una volta eliminati dal data set gli outlier, tutte le serie numeriche sono risultate avere una **distribuzione lognormale**, applicando il test statistico "Shapiro e Wilk" (W test), in quanto il numero di dati a disposizione risultava inferiore a ( $n < 50$ ).

A titolo esemplificativo, si riporta di seguito il grafico realizzato con i valori dell'Arsenico nel sottosuolo per verificare quale tipo di trasformazione fittasse meglio la distribuzione normale. In allegato 1 si ritrovano gli output di calcolo per le altre variabili in studio.

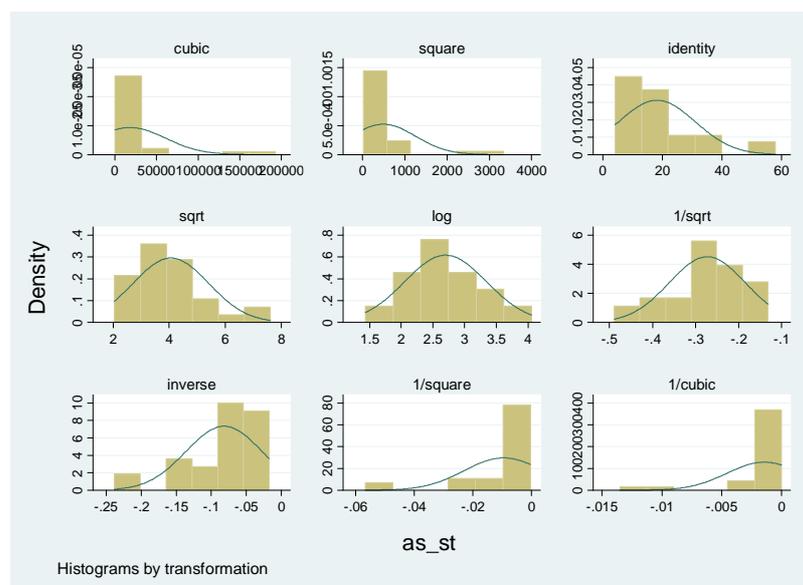


Figura 3: Distribuzione Arsenico sottosuolo

Transformation	formula	chi2(2)	P(chi2)
cubic	$as\_st^3$	31.23	0.000
square	$as\_st^2$	25.80	0.000
raw	$as\_st$	13.90	0.001
square-root	$\sqrt{as\_st}$	5.71	0.057
log	$\log(as\_st)$	0.06	0.973
reciprocal root	$1/\sqrt{as\_st}$	3.67	0.160
reciprocal	$1/as\_st$	10.49	0.005
reciprocal square	$1/(as\_st^2)$	22.37	0.000
reciprocal cubic	$1/(as\_st^3)$	28.77	0.000

### **7.3 Rappresentazione della distribuzione dei dati (descrittori numerici e grafici)**

L'elaborazione dei dati è il punto conclusivo dell'intero processo di determinazione del valore di fondo. Esso è fortemente dipendente dal numero di dati che si hanno a disposizione e quindi è importante determinare in fase di progettazione il numero adeguato di campioni da prelevare e analizzare secondo quanto descritto nei precedenti paragrafi. L'elaborazione deve essere eseguita per ciascun gruppo di dati ricadenti all'interno delle aree definite come omogenee.

Nell'elaborazione dei dati, così come indicato dal MATTM in sede di Comitato di Indirizzo e Controllo dell'AdP, i dati di top soil e suolo superficiale sono stati assimilati in un unico data set. Pertanto, nelle analisi descrittive sono riportati i valori di ciascuno strato indagato (top soil, suolo superficiale e sottosuolo) e il valore di "top soil - suolo superficiale".

I parametri di statistica descrittiva determinati sono i seguenti: valore medio, deviazione standard, coefficiente di variabilità (CV%), valore massimo, mediano e minimo.

Data set	Minimo-Massimo	Media	Deviazione Standard	Mediana	Coefficiente di variazione
<b>ARSENICO TOP SOIL</b>	5.10 - 38.00	12.43	7.03	11.20	56.53
<b>ARSENICO SUOLO SUPERFICIALE</b>	5.70 - 21.30	11.58	4.17	10.20	35.99
<b>ARSENICO TOP SOIL - SUOLO SUPERFICIALE</b>	5.50 - 33.70	12.59	6.75	10.50	53.54
<b>ARSENICO SOTTOSUOLO</b>	4.20 - 57.80	18.22	12.80	14.85	70.24
<b>BERILLIO TOP SOIL</b>	0.60 - 3.40	1.49	0.61	1.50	41.01
<b>BERILLIO SUOLO SUPERFICIALE</b>	0.70 - 2.80	1.52	0.61	1.30	40.00
<b>BERILLIO TOP SOIL - SUOLO SUPERFICIALE</b>	0.65 - 2.75	1.51	0.56	1.40	37.09
<b>BERILLIO SOTTOSUOLO</b>	0.20 - 1.40	0.64	0.39	0.55	60.98

*Tabella 1: Descrittori Statistici delle serie dati Arsenico e Berillio (Valori osservati)*

Successivamente si è proceduto alla costruzione delle Curve Cumulative di Frequenza.

Per la costruzione della **distribuzione cumulativa di frequenza**, si sono ordinate le osservazioni in modo crescente:  $x_1 < x_2 < x_3 < \dots < x_n$ . Ad ogni valore delle osservazioni così ordinate si è assegnato il valore della frequenza assoluta  $AF_i$  (cioè in numero di volte che quel valore è stato osservato); si è calcolata quindi la frequenza cumulativa attraverso la relazione:

$$CF_i = \sum_{j=1}^i AF_j$$

dove il contatore  $j$  si riferisce al numero delle classi di frequenza (che possono essere uguali o minori rispetto al numero dei campioni).

$CF_i$  rappresenta il numero di osservazioni che sono minori o uguali al valore  $x(i)$ . Le percentuali cumulative per ogni valore di  $i$  si ottengono dalla normalizzazione di  $CF_i$ .

$$Y(i) = 100 \frac{CF_i}{(n+1)}$$

Dall'andamento delle curve ottenute, applicando la metodologia, si sono ottenute delle informazioni circa la distribuzione del campione. Un andamento lineare, tipico dei data set oggetto della presente valutazione, è indice di un campione normalmente distribuito. Gli andamenti curvilinei sono stati resi lineari utilizzando la scala logaritmica per i valori di  $x(i)$ ; pertanto, in questo caso, le distribuzioni sono state di tipo log-normale, così come riscontrato applicando il W test.

Si riportano, di seguito, le curve cumulative di frequenza calcolate con riferimento all'Arsenico ed al Berillio per i tre livelli di suolo indagati, ossia top soil (0 - 0,1 m), suolo superficiale (0 - 1 m) e sottosuolo (1-6m). Inoltre si riportano le curve cumulate mediate tra i valori di Arsenico e Berillio rilevati nel top soil (0 - 0,1 m) e nel suolo superficiale (0 - 1 m). Le distribuzioni dei valori sono risultate tutte lognormali.

## ARSENICO TOP SOIL

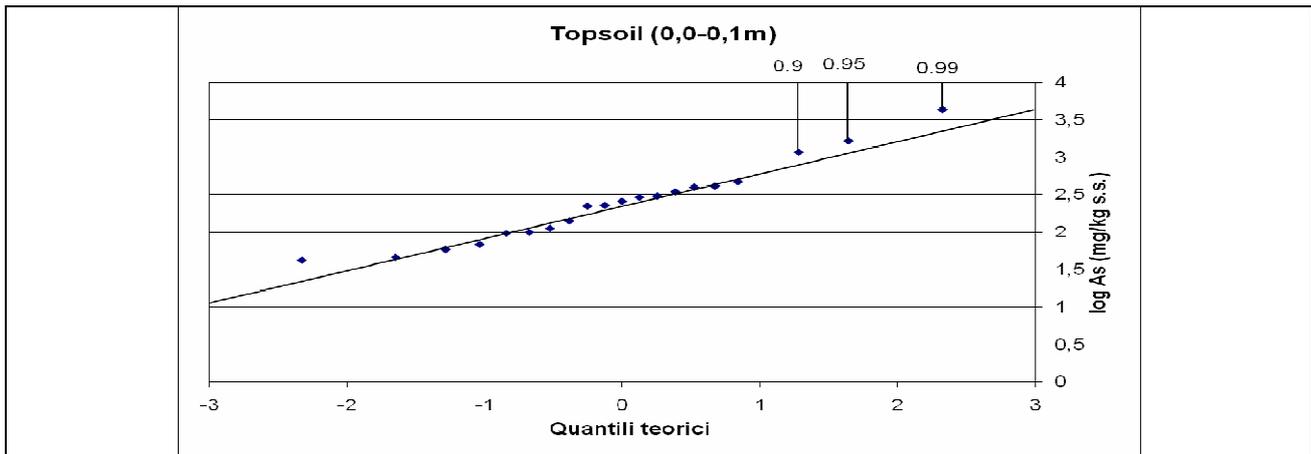


Figura 4: Curva cumulativa di frequenza dell'Arsenico (top soil) (Valori di As logartmici)

## ARSENICO SUOLO SUPERFICIALE

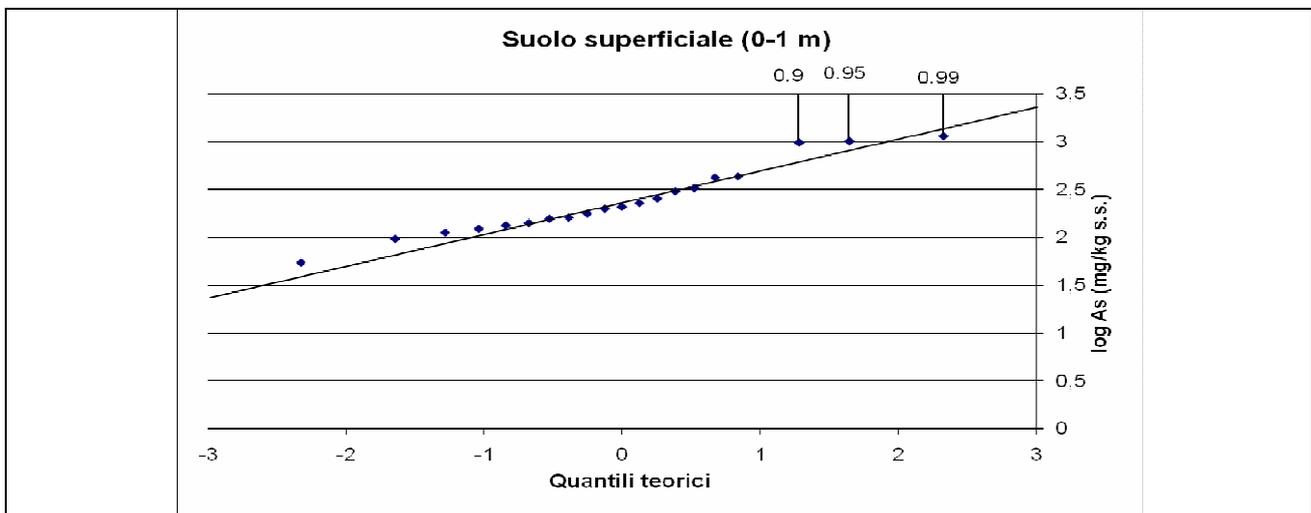


Figura 5: Curva cumulativa di frequenza dell'Arsenico (suolo superficiale - Valori di As logartmici)

## ARSENICO TOP SOIL - SUOLO SUPERFICIALE

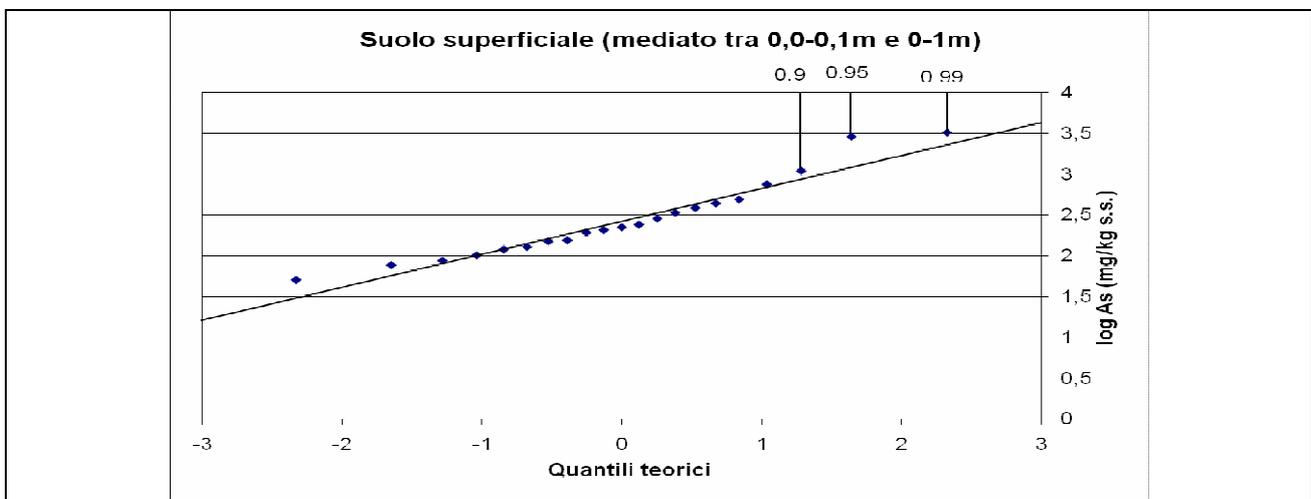
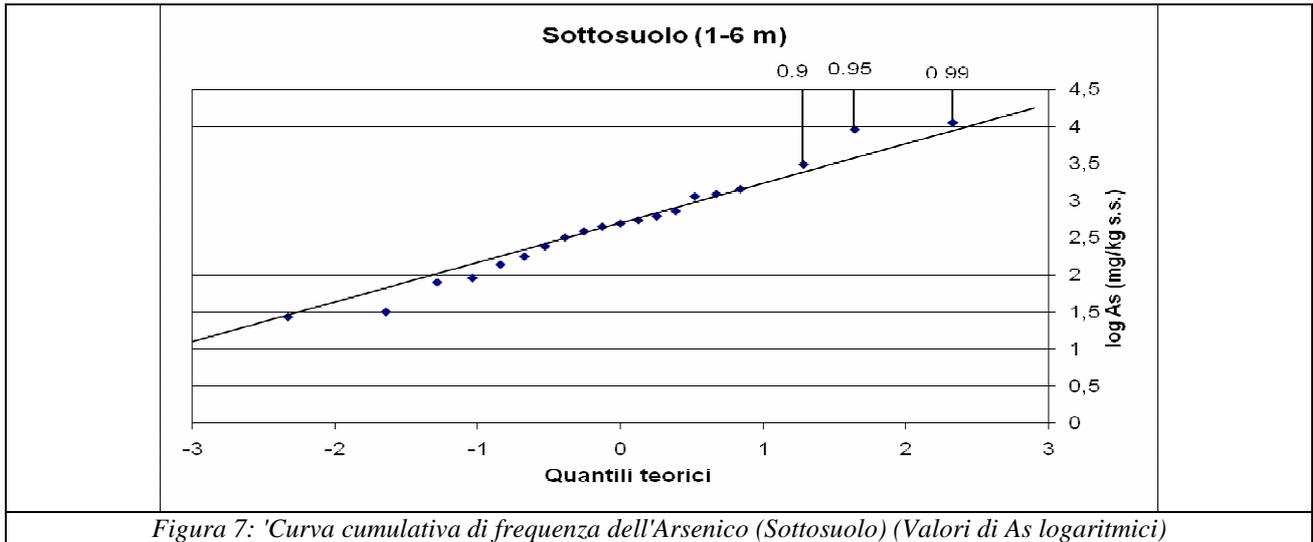
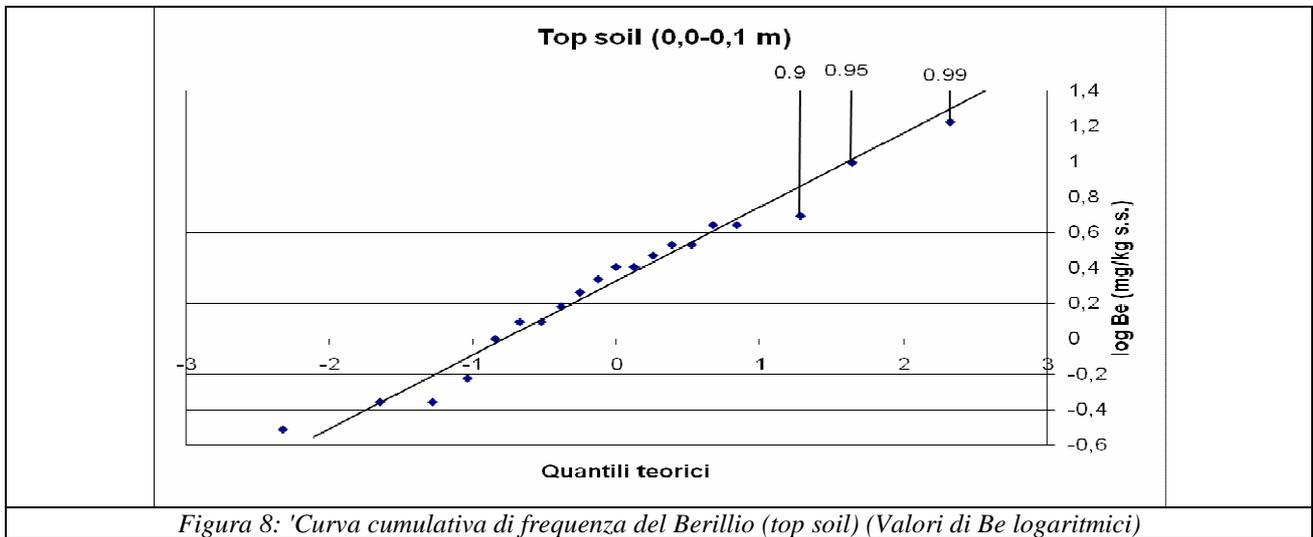


Figura 6: Curva cumulativa di frequenza dell'Arsenico (Valori mediati top soil - suolo superficiale)

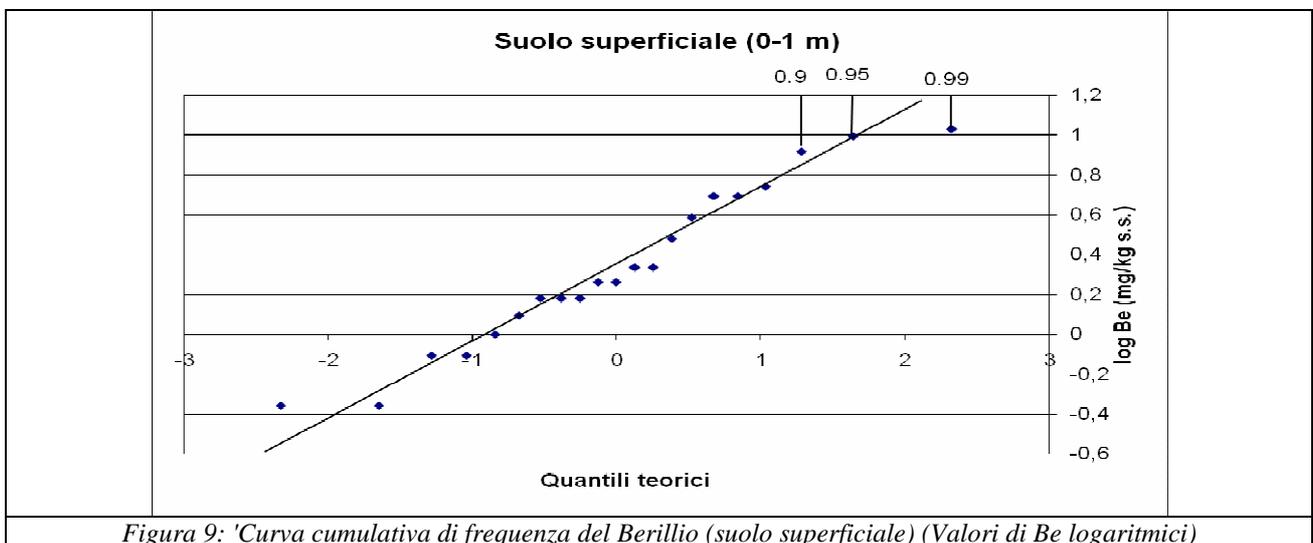
## ARSENICO SOTTOSUOLO



## BERILLIO TOP SOIL



## BERILLIO SUOLO SUPERFICIALE



## BERILLIO TOP SOIL - SUOLO SUPERFICIALE

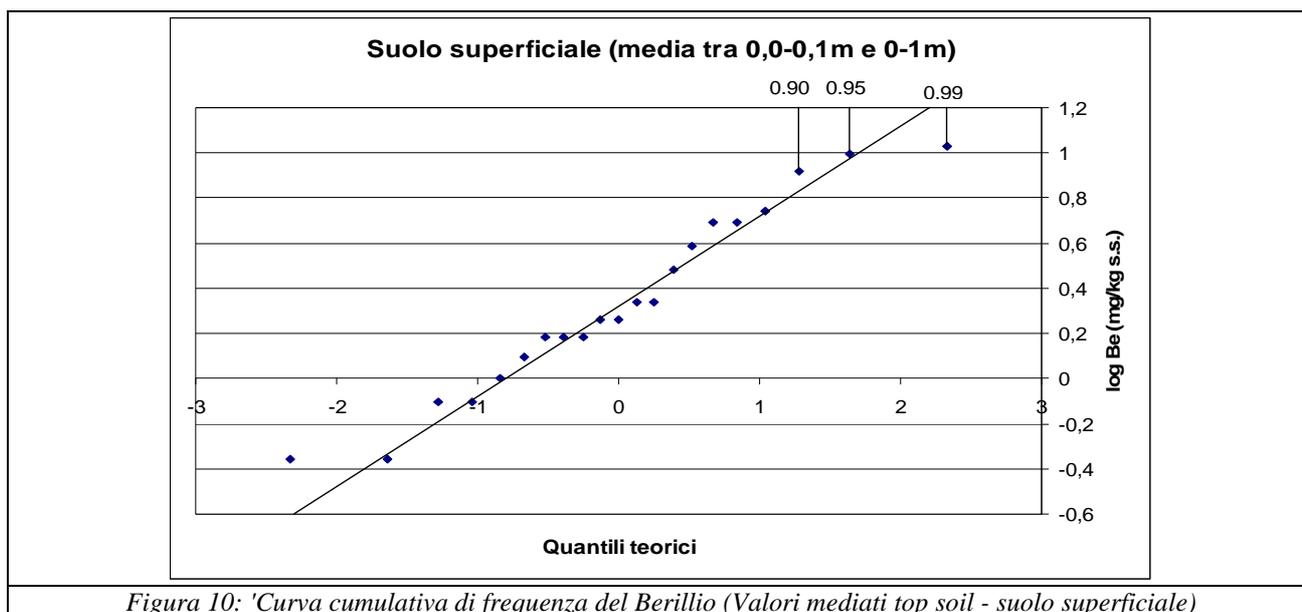


Figura 10: Curva cumulativa di frequenza del Berillio (Valori mediati top soil - suolo superficiale)

## BERILLIO SOTTOSUOLO

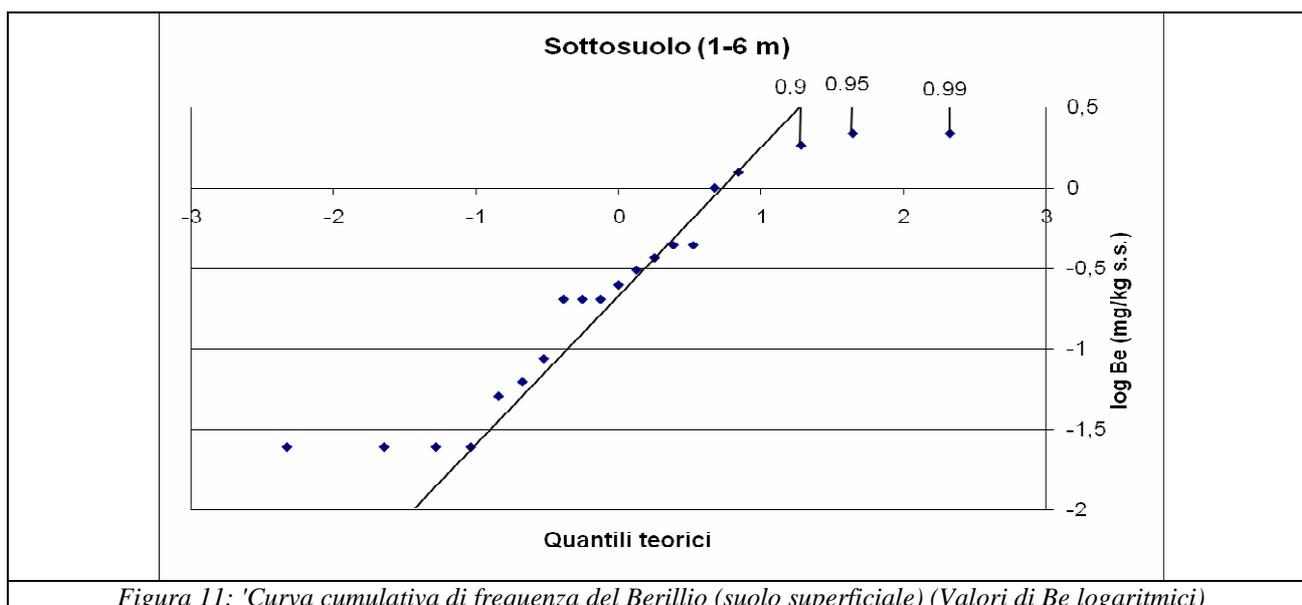


Figura 11: Curva cumulativa di frequenza del Berillio (suolo superficiale) (Valori di Be logaritmici)

### 7.3 Definizione dei valori di concentrazione rappresentativi del fondo

Come specificato nel PO APAT – ISS, la rassegna dei documenti elaborati a livello nazionale e internazionale ha evidenziato l'assenza di un criterio condiviso sulle modalità di determinazione delle concentrazioni di fondo in un'area.

Nel caso in studio, tale determinazione è complicata dall'impossibilità di escludere del tutto la presenza di contaminazioni antropiche dell'area indagata. In effetti, in particolare per quanto attiene le misure dell'Arsenico nel sottosuolo, vi sono tre osservazioni che si collocano al di sopra del 90° percentile, trascinando a destra gli indicatori di tendenza centrale e sostenendo un'elevata variabilità della distribuzione dei valori campionari. Se si

escludessero questi punti dall'analisi, la media dei valori risulterebbe di 14,24 con deviazione standard di 6,79 (invece dell'attuale media di 18,22 e deviazione standard di 12,80).

Osservando la curva della distribuzione cumulativa dei valori log-trasformati, si rileva che tali osservazioni si discostano in modo netto dalla retta di tendenza lineare che viceversa rappresenta in modo accurato l'andamento delle altre misure. **Peraltro, il punto di inflessione, in tutti casi esaminati, è risultato coincidente con il 90° percentile.**

D'altro canto, osservando la cartografia dei valori di Arsenico nel sottosuolo, risulta evidente che tali punti rappresentano degli hot spot di contaminazione di verosimile origine antropica, rispetto ad una vasta area di valori sostanzialmente omogenei. Tuttavia, nell'analisi formale per la trattazione degli outlier, non è stato possibile identificare questi punti come estranei alla distribuzione campionaria e non è pertanto legittimo escluderli.

**Dovendo in ogni caso fornire un valore di fondo effettivamente rappresentativo delle concentrazioni dei metalli presenti nell'area, si è stabilito di utilizzare un approccio conservativo fondato sull'analisi dei punti di discontinuità nella curva cumulativa di frequenza, come previsto dal PO APAT-ISS.**

In questo senso, **il valore di fondo antropizzato dell'area in studio corrisponde al valore precedente il punto di discontinuità (che corrisponde al 90° percentile)** nel grafico della distribuzione cumulativa di frequenza (quantili su concentrazione).

**Le condizioni di fondo sarebbero quindi identificate dalla distribuzione delle concentrazioni dall'origine del diagramma fino al punto di inflessione.** Il principale punto di inflessione è stato individuato attraverso lo studio delle derivate e dello stesso grafico, quantili su concentrazione. Si evidenzia, infine, come l'Arsenico ed il Berillio non mostrino superamenti rispetto ai limiti del D.Lgs. 152/06.

Pertanto si avrà:

<b>Proposta di valore di fondo antropizzato</b>	<b>As mg/kg s.s.</b>	<b>Be mg/kg s.s.</b>
<i>SUOLO SUPERFICIALE</i>	<b>17.80</b>	<b>2.15</b>
<i>SOTTOSUOLO</i>	<b>31.80</b>	<b>1.20</b>

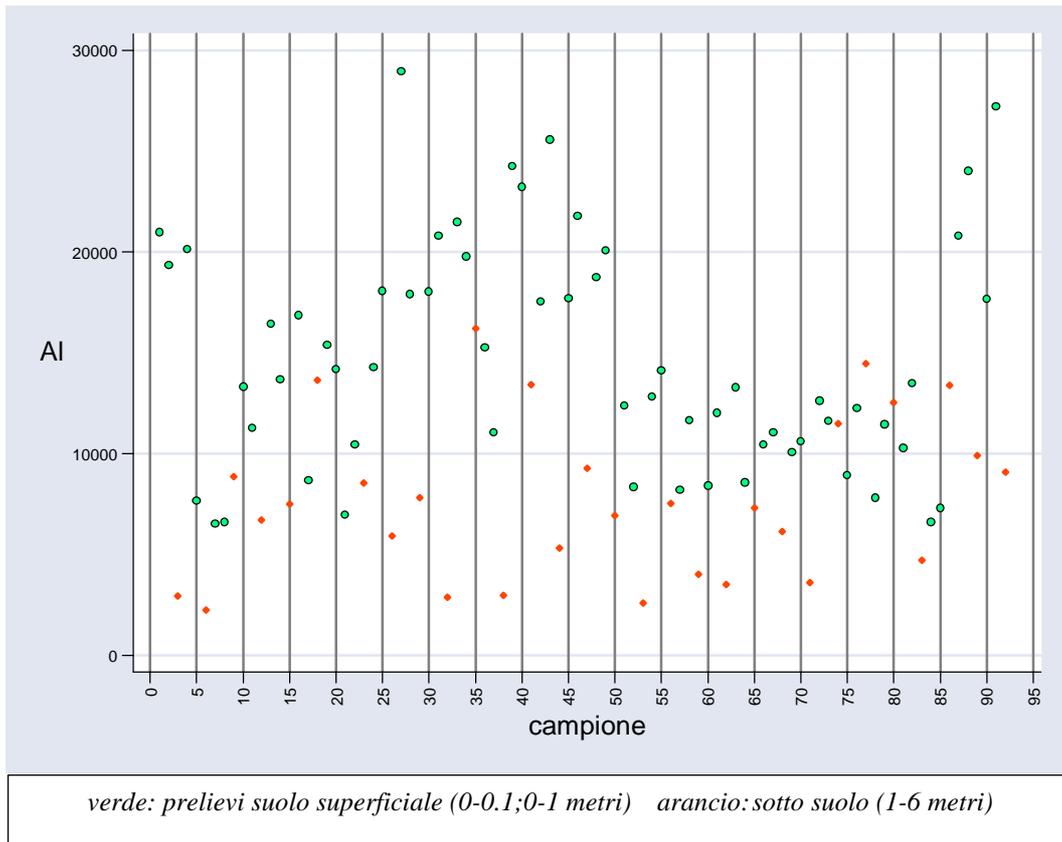
*Tabella 2: Valori di background*

## 8. ANALISI STATISTICA DEI DATI – ALTRI METALLI

### 8.1 Alluminio

#### 8.1.1 Analisi grafica dei dati

A) Grafico a dispersione:

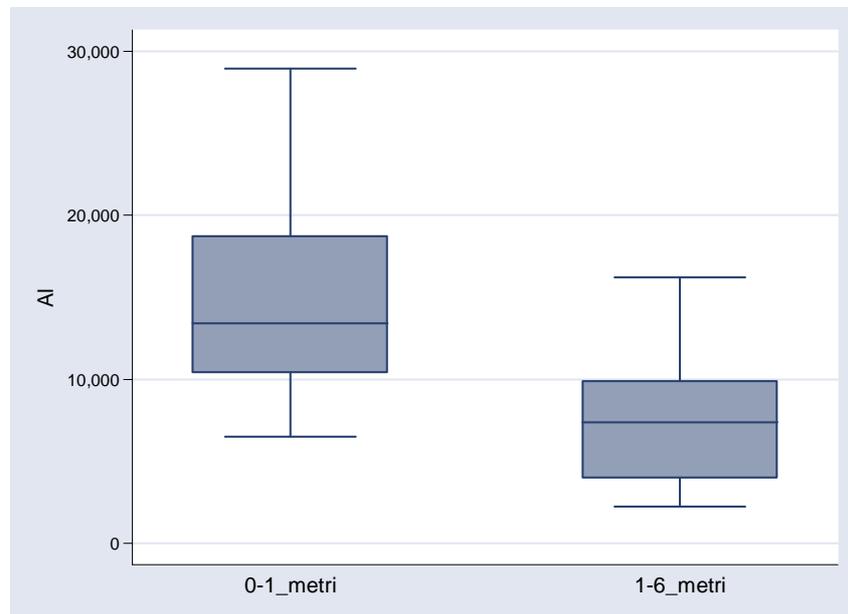


B) descrittori statistici:

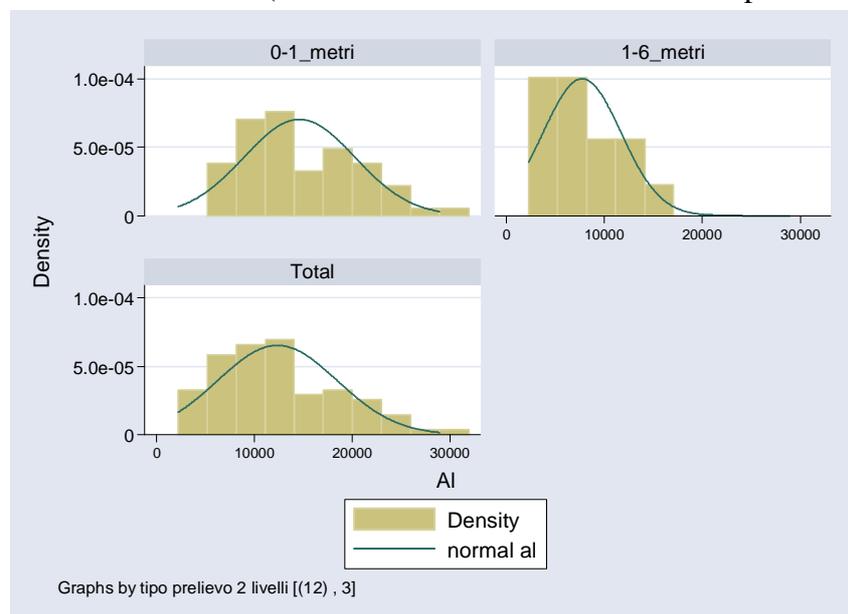
-> tipoprelievo = suolo superf.				
	Percentiles	Smallest		
1%	6519	6519		
5%	6956	6595.9		
10%	7826.2	6617	Obs	62
25%	10428	6956	Sum of Wgt.	62
50%	13408.3		Mean	14627.48
		Largest	Std. Dev.	5673.093
75%	18749	24235.3		
90%	21772.8	25564.7	Variance	32200000.00
<b>95%</b>	<b>24235.3</b>	27231.4	Skewness	0.5222412
99%	28952	28952	Kurtosis	2.432643

-> tipoprelievo = sotto suolo				
	Percentiles	Smallest		
1%	2245.8	2245.8		
5%	2596.2	2596.2		
10%	2905.25	2861.9	Obs	30
25%	4022	2948.6	Sum of Wgt.	30
50%	7397.55		Mean	7712.237
		Largest	Std. Dev.	3988.986
75%	9894.2	13413		
90%	13526	13639	Variance	15900000.00
<b>95%</b>	<b>14457.9</b>	14458	Skewness	0.4482199
99%	16219.3	16219	Kurtosis	2.18048

C) box plot (distinti per profondità di prelievo)



D) Di seguito si espongono i grafici delle distribuzioni empiriche marginali con l'aggiunta del grafico della distribuzione totale (inclusando cioè entrambi i livelli di prelievo):



E) Test per la distribuzione dei dati:

Il test di **Shapiro-Wilk** [ $H_0: Al \sim N(\mu, \sigma^2)$ ] per la normalità della distribuzione viene adottato di seguito; con un livello di significatività  $\alpha$  al 95%, nel caso di campionamento al suolo superficiale i dati rifiutano l'ipotesi di normalità; nel caso di prelievo al sottosuolo invece si accetta l'ipotesi nulla. Si procede con il test per la log-normalità al primo livello di prelievo.

Shapiro-Wilk W test for normal data

tipoprelievo = 0-1_metri					
Variable	Obs	W	V	Z	Prob>z
al	62	0.9531	2.617	2.078	0.01887

tipoprelievo = 1-6_metri					
Variable	Obs	W	V	Z	Prob>z
al	30	0.94148	1.86	1.283	0.09972

Di seguito i dati del test per la log-normalità:

Shapiro-Wilk W test for 3-parameter lognormal data

tipoprelievo = 0-1_metri					
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
al	62	0.9531	2.617	-1.601	0.94535

### 8.1.2 Conclusioni

I 95<sup>1</sup> percentili delle distribuzioni campionarie dell'Alluminio sono:

tipoprelievo = 0-1 metri      24235.3  
tipoprelievo = 1-6 metri      14457.9

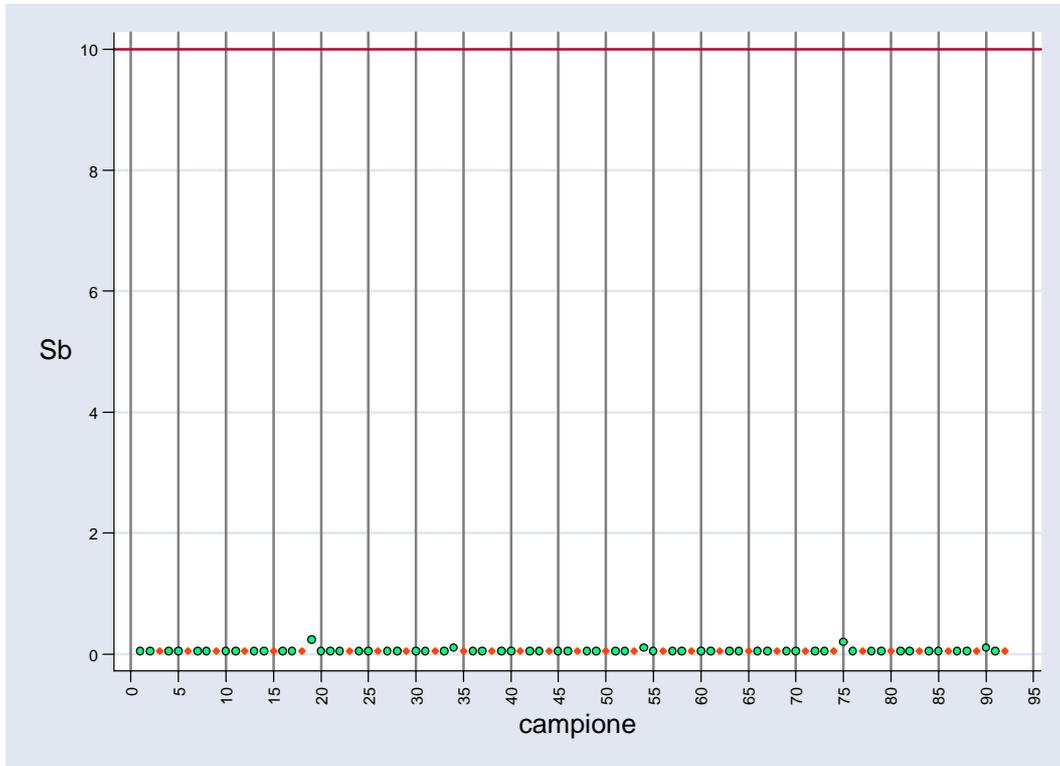
I rilevamenti dell'Alluminio rispondono ad una distribuzione log-Normale per il prelievo al suolo superficiale e di tipo Normale per il prelievo al sottosuolo.

In tutti i casi, per i futuri confronti con dati dell'Alluminio rilevati da siti specifici, può essere utilizzato il test T-Student (dopo opportuna trasformazione dei dati al livello suolo superficiale).

## 8.2 Antimonio

### 8.2.1 Analisi grafica dei dati

A) Grafico a dispersione:



verde: prelievi suolo superficiale (0-0.1;0-1 metri); arancio: sotto suolo (1-6 metri)  
 Linea arancio: limite all.5 tab 1 152/06 per verde pubblico

B) descrittori statistici:

-> tipoprelievo = 0-1 _metri				
	Percentiles	Smallest		
1.00%	0.05	0.05		
5.00%	0.05	0.05		
10.00%	0.05	0.05	Obs	62
25.00%	0.05	0.05	Sum of Wgt.	62
50.00%	0.05		Mean	0.058
		Largest	Std. Dev.	0.032
75.00%	0.05	0.1		
90.00%	0.05	0.1	Variance	0.001
<b>95.00%</b>	<b>0.10</b>	0.2	Skewness	4.618
99.00%	0.24	0.24	Kurtosis	24.287

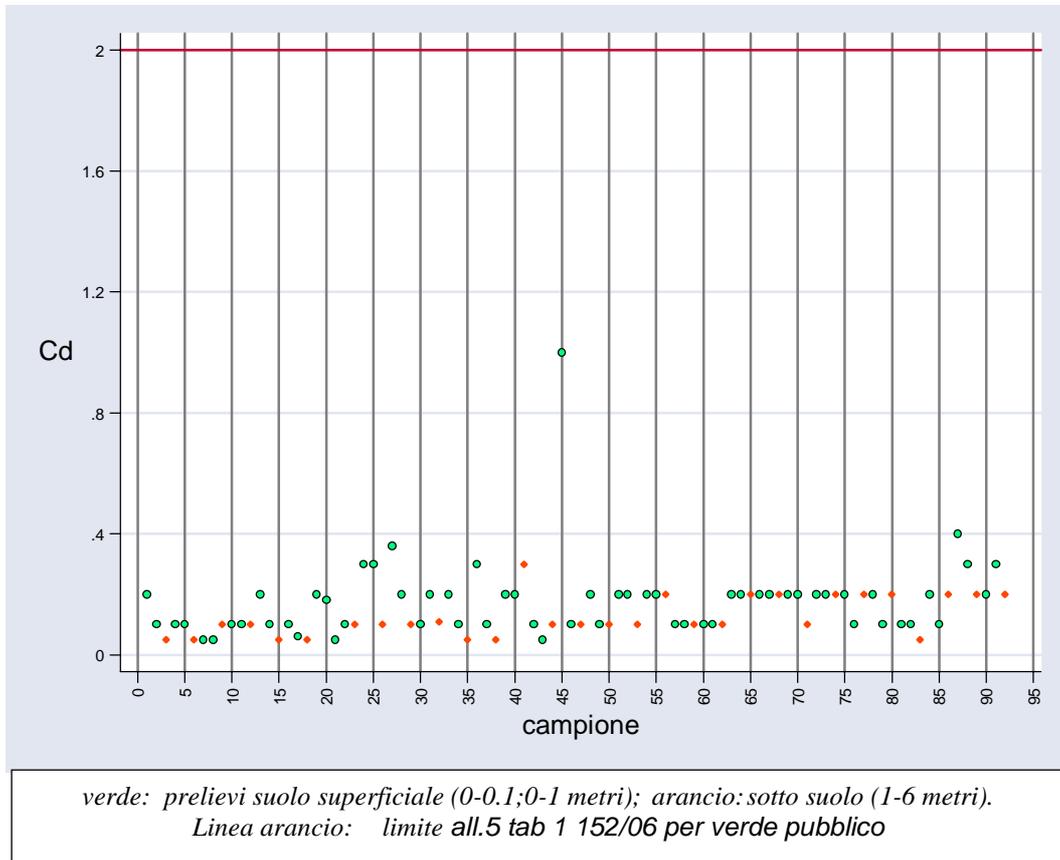
-> tipoprelievo = 1-6 _metri				
	Percentiles	Smallest		
1.00%	0.05	0.05		
5.00%	0.05	0.05		
10.00%	0.05	0.05	Obs	30
25.00%	0.05	0.05	Sum of Wgt.	30
50.00%	0.05		Mean	0.05
		Largest	Std. Dev.	0
75.00%	0.05	0.05		
90.00%	0.05	0.05	Variance	0
<b>95.00%</b>	<b>0.05</b>	0.05	Skewness	.
99.00%	0.05	0.05	Kurtosis	.

L'osservazione di quanto sopra riportato rende chiaro l'impossibilità (e l'inutilità) di trattare questi dati in quanto in maggioranza #N/D.

## 8.3 Cadmio

### 8.3.1 Analisi grafica dei dati

A) grafico a dispersione:

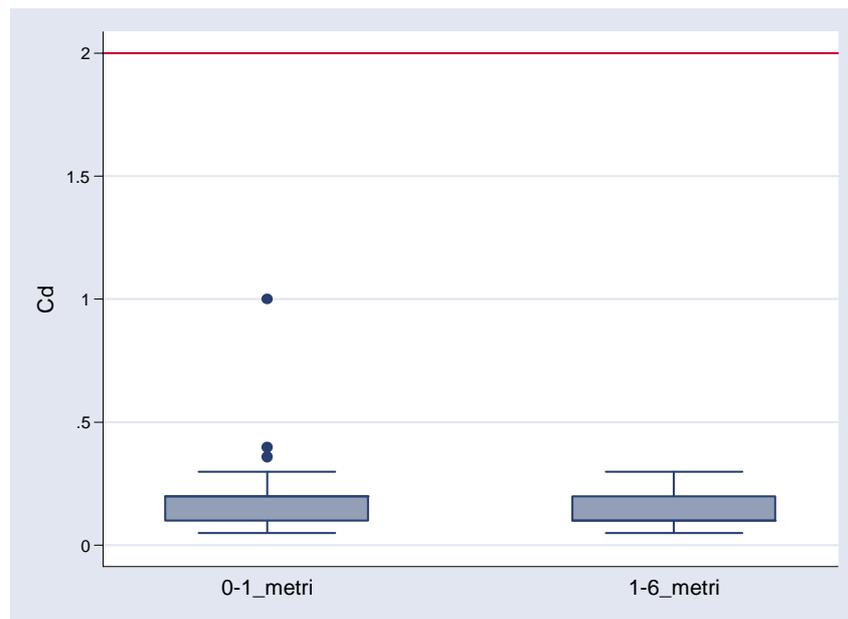


B) descrittori statistici:

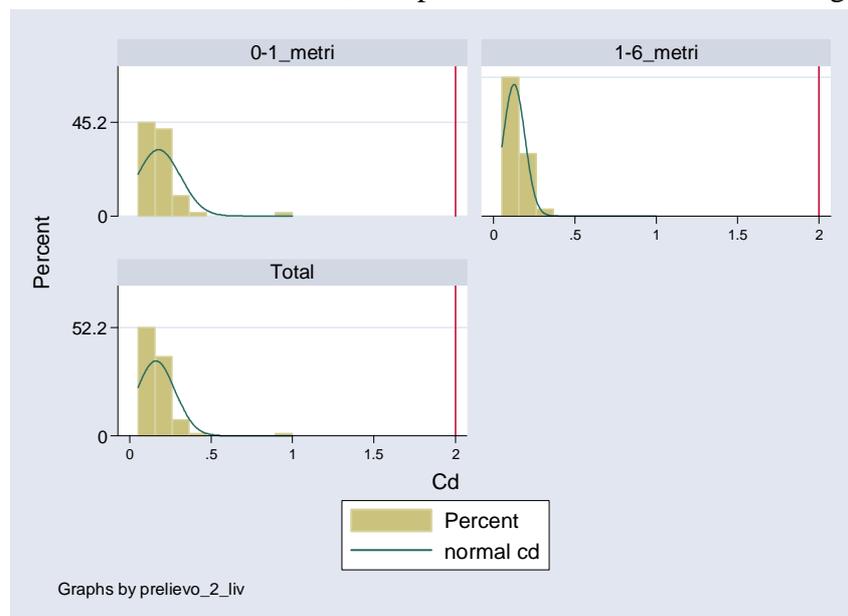
-> tipoprelievo = 0-1_metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	0.05	0.05		
5%	0.05	0.05		
10%	0.1	0.05	Obs	62
25%	0.1	0.05	Sum of Wgt.	62
50%	0.2		Mean	0.177
		Largest	Std. Dev.	0.132
75%	0.2	0.3		
90%	0.3	0.36	Variance	0.017
<b>95%</b>	<b>0.3</b>	0.4	Skewness	4.037
99%	1	1	Kurtosis	25.445

-> tipoprelievo = 1-6_metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	0.05	0.05		
5%	0.05	0.05		
10%	0.05	0.05	Obs	30
25%	0.1	0.05	Sum of Wgt.	30
50%	0.1		Mean	0.125
		Largest	Std. Dev.	0.067
75%	0.2	0.2		
90%	0.2	0.2	Variance	0.004
<b>95%</b>	<b>0.2</b>	0.2	Skewness	0.701
99%	0.3	0.3	Kurtosis	2.624

C) boxplot (distinti per profondità di prelievo) :



Il grafico risulta schiacciato per la presenza della linea al valore del limite di legge. I dati non risultano distribuiti normalmente; una prima idea di ciò viene data dal grafico seguente:



D) a conferma vengono presentati i test per la distribuzione dei dati:

Shapiro-Wilk W test for normal data

tipoprelievo 0-1\_metri

Variable	Obs	W	test V	for z	normal data Prob>z
cd	62	0.66243	18.84	6.34	0

tipoprelievo 1-6\_metri

Shapiro-Wilk test for normal data					
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
cd	30	0.90131	3.137	2.364	0.00904

Shapiro-Wilk W test for 3-parameter lognormal data

tipoprelievo 0-1\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
cd	62	0.66243	18.84	7.231	0

tipoprelievo 1-6\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
cd	30	0.90131	3.137	3.159	0.00079

### 8.3.2 Conclusioni

I 95<sup>o</sup> percentili delle distribuzioni campionarie del Cadmio sono:

tipoprelievo = 0-1 metri      0.3

tipoprelievo = 1-6 metri      0.2

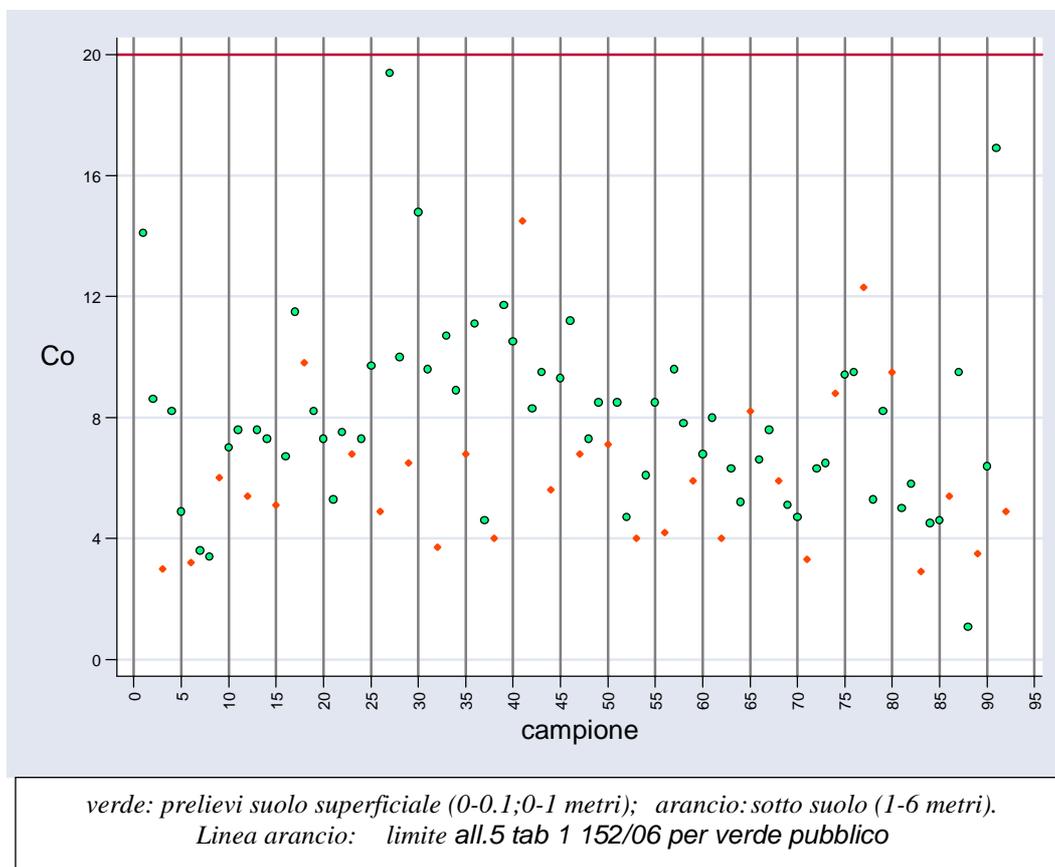
Per i due livelli di prelievo non è possibile ipotizzare forme distributive normali o log-normali.

Per i futuri confronti con dati di siti specifici ad entrambi i livelli di prelievo è preferibile usare test di tipo non-parametrico (e.g. Wilcoxon-Mann-Whitney rank sum test).

# Cobalto

## 8.3 Analisi grafica dei dati

A) grafico a dispersione:

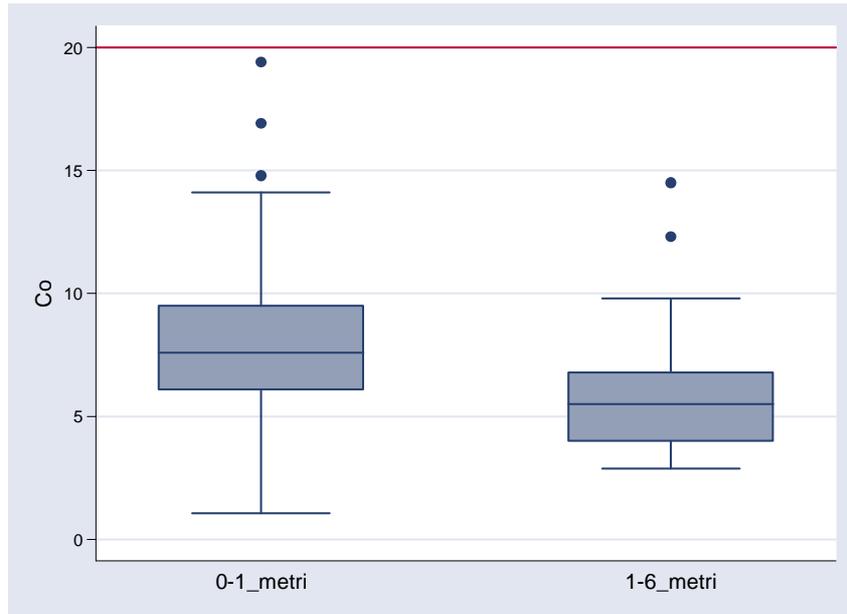


B) Descrittori statistici:

-> tipoprelievo = 0-1_metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	1.07	1.07		
5%	4.5	3.4		
10%	4.7	3.6	Obs	62
25%	6.1	4.5	Sum of Wgt.	62
50%	7.6		Mean	7.995
		Largest	Std. Dev.	3.135
75%	9.5	14.1		
90%	11.2	14.8	Variance	9.828
95%	14.1	16.9	Skewness	1.111
99%	19.4	19.4	Kurtosis	5.467

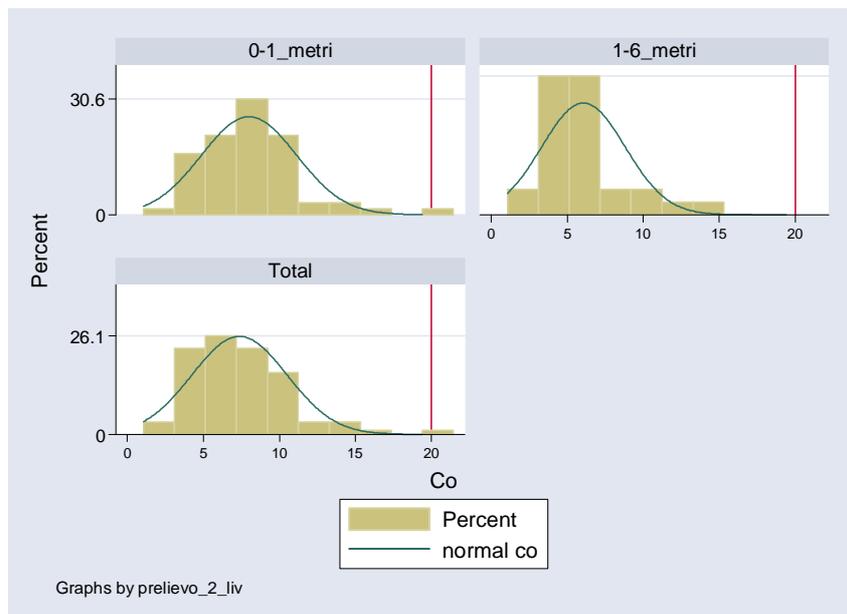
-> tipoprelievo = 1-6_metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	2.9	2.9		
5%	3	3		
10.0%	3.25	3.2	Obs	30
25.0%	4	3.3	Sum of Wgt.	30
50.0%	5.5		Mean	6.067
		Largest	Std. Dev.	2.749
75.0%	6.8	9.5		
90.0%	9.65	9.8	Variance	7.559
95.0%	12.3	12.3	Skewness	1.340
99.0%	14.5	14.5	Kurtosis	4.646

C) Boxplot (distinti per profondità di prelievo):



Dal boxplot si risulta evidente che tutti i valori sono al disotto dei limiti di legge.

Di seguito la rappresentazione grafica della distribuzione empirica dei dati:



D) Test per la distribuzione dei dati:

### Shapiro-Wilk W test for normal data

tipoprelievo 0-1\_metri

Shapiro-Wilk	W	test	for	normal	data
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
co	62	0.92956	3.931	2.956	0.00156

tipoprelievo 1-6\_metri

Shapiro-Wilk	W	test	for	normal	data
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
co	30	0.88086	3.787	2.753	0.00295

### Shapiro-Wilk W test for 3-parameter lognormal data

tipoprelievo 0-1\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
co	62	0.92956	3.931	1.588	0.05618

tipoprelievo 1-6\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
co	30	0.88086	3.787	2.251	0.01221

Dai dati sopra, risultano negativi i test di normalità e di log-normalità (a meno del prelievo superficiale che è al limite della regione di rifiuto ma che si preferisce, per coerenza con gli altri dati, rifiutare).

## 8.4 Conclusioni

I 95<sup>i</sup> percentili delle distribuzioni campionarie del Cobalto sono:

tipoprelievo = 0-1 metri      14.1

tipoprelievo = 1-6 metri      12.3

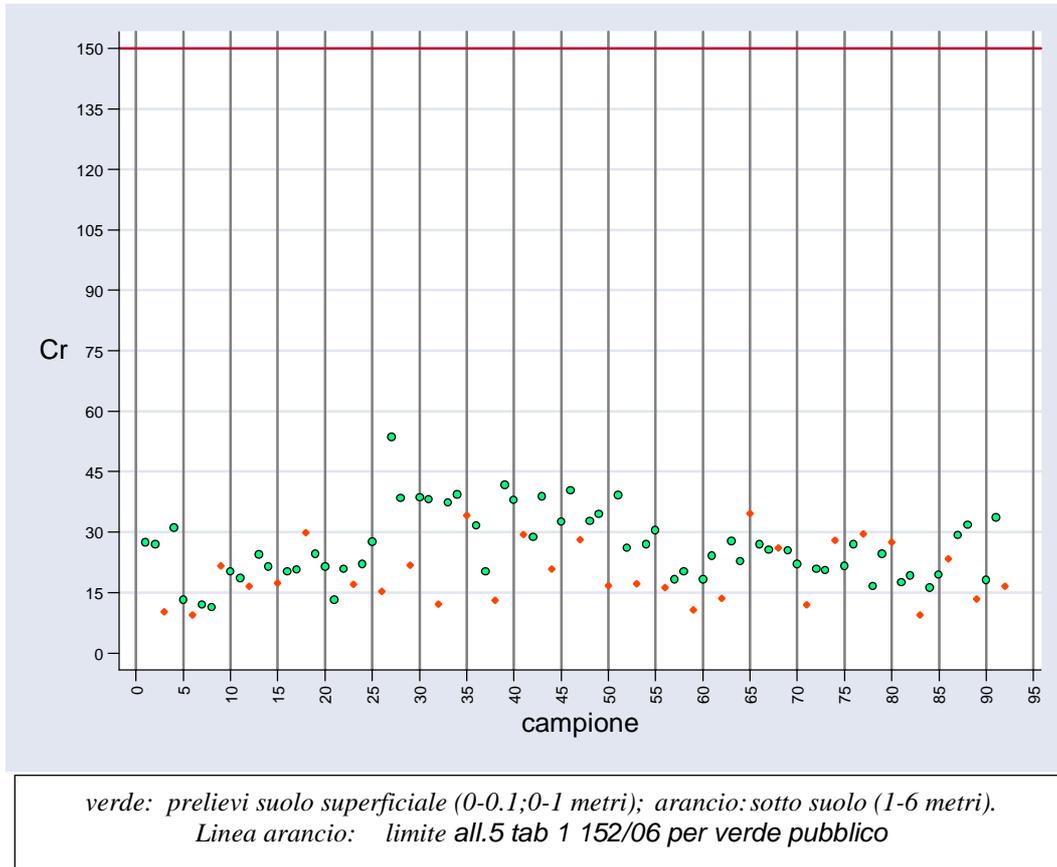
Per il Cobalto non sono ipotizzabili né una distribuzione normale né una log-normale.

La preferenza ricade perciò verso test di tipo non-parametrico (e.g. Wilcoxon-Mann-Whitney rank sum test) per i futuri confronti con prelievi da siti specifici.

# Cromo

## 8.5 Analisi grafica dei dati

A) grafico a dispersione:

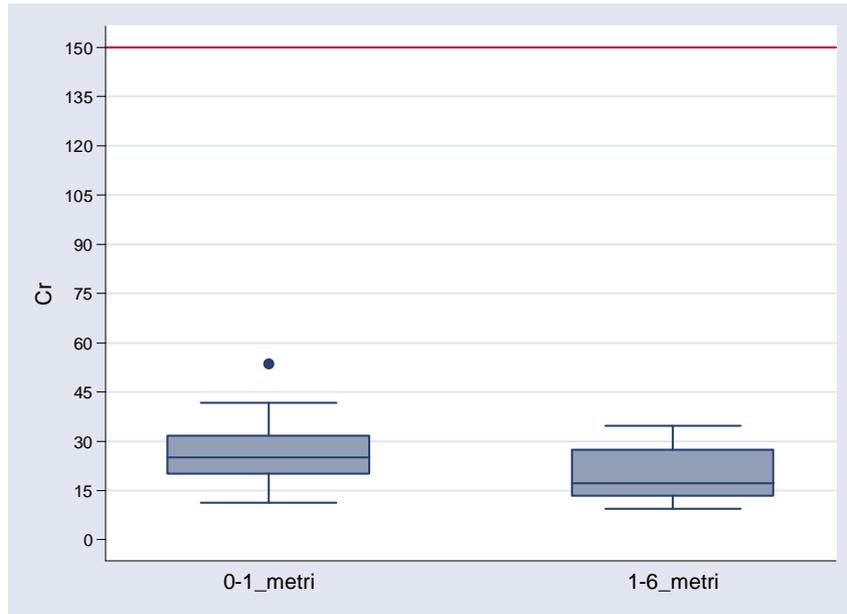


B) descrittori statistici:

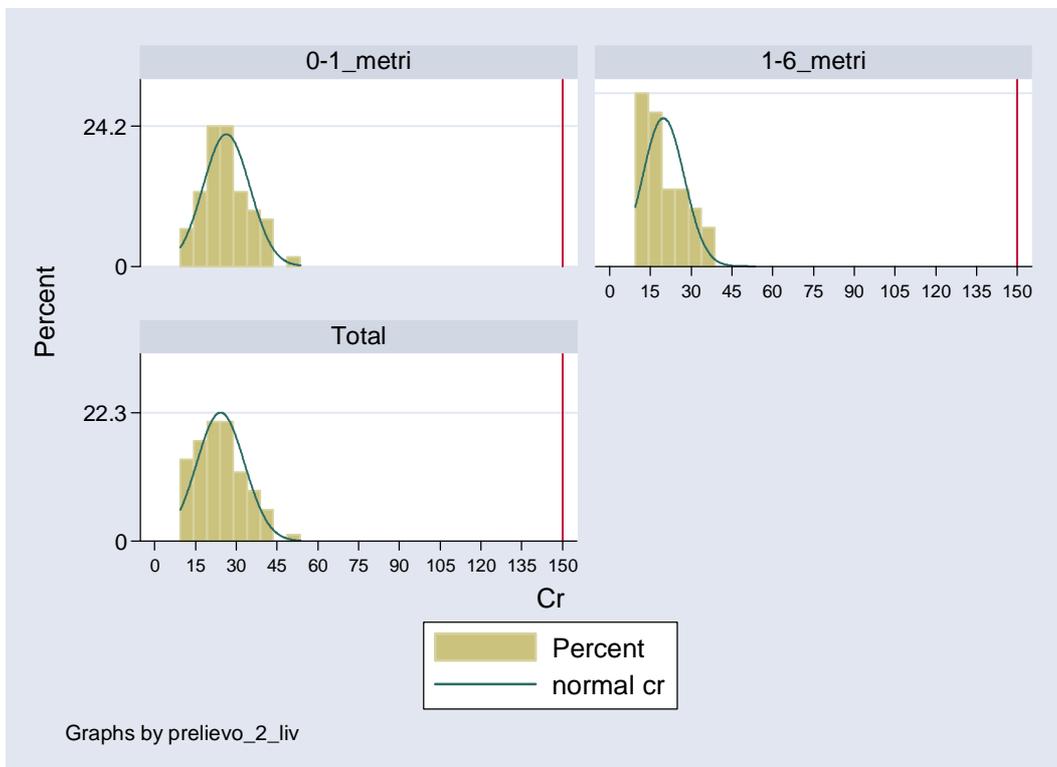
-> tipoprelievo = 0-1_metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	11.3	11.3		
5%	13.3	12		
10%	17.5	13.2	Obs	62
25%	20.2	13.3	Sum of Wgt.	62
50%	25.05		Mean	26.34
		Largest	Std. Dev.	8.572
75%	31.7	39.3		
90%	38.6	40.3	Variance	73.47
95%	39.3	41.7	Skewness	0.644
99%	53.6	53.6	Kurtosis	3.226

-> tipoprelievo = 1-6_metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	9.4	9.4		
5%	9.5	9.5		
10%	10.5	10.3	Obs	30
25%	13.4	10.7	Sum of Wgt.	30
50%	17.15		Mean	19.75
		Largest	Std. Dev.	7.63367
75%	27.5	29.6		
90%	29.75	29.9	Variance	58.2729
95%	34.2	34.2	Skewness	0.43044
99%	34.7	34.7	Kurtosis	1.96745

C) boxplot (distinti per profondità di prelievo):



Anche in questo caso di dati sembrerebbero non indicare una distribuzione normale.  
 A conferma di ciò si espongono i grafici delle distribuzioni marginali ed i test per Normalità e log-normalità:



D) test per la distribuzione dei dati:

Si utilizza il test di Shapiro-Wilk [ $H_0: Cr \sim N(\mu, \sigma^2)$ ] per la verifica di ipotesi di normalità della distribuzione dei dati

Shapiro-Wilk W test for normal data

tipoprelievo 0-1\_metri

Shapiro-Wilk	W	test	for	normal	data
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
cr	62	0.95748	2.373	1.866	0.031

tipoprelievo 1-6\_metri

Shapiro-Wilk	W	test	for	normal	data
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
cr	30	0.9272	2.314	1.735	0.04139

Poiché i dati rifiutano l'ipotesi di normalità, si procede al test per la log-normalità:

Shapiro-Wilk W test for 3-parameter lognormal data

tipoprelievo 0-1\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
cr	62	0.95748	2.373	-1.031	0.84878

tipoprelievo 1-6\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
cr	30	0.9272	2.314	-0.865	0.80652

## 8.6 Conclusioni

I 95<sup>1</sup> percentili delle distribuzioni campionarie del Cromo sono:

tipoprelievo = 0-1 metri      39.3

tipoprelievo = 1-6 metri      34.2

Con un livello di significatività  $\alpha$  al 95 per entrambi i campionamenti, si accetta l'ipotesi di log-normalità.

Per tutti i livelli è utilizzabile il test t-Student per i futuri confronti con dati di siti specifici, dopo la conversione dei dati in scala logaritmica.

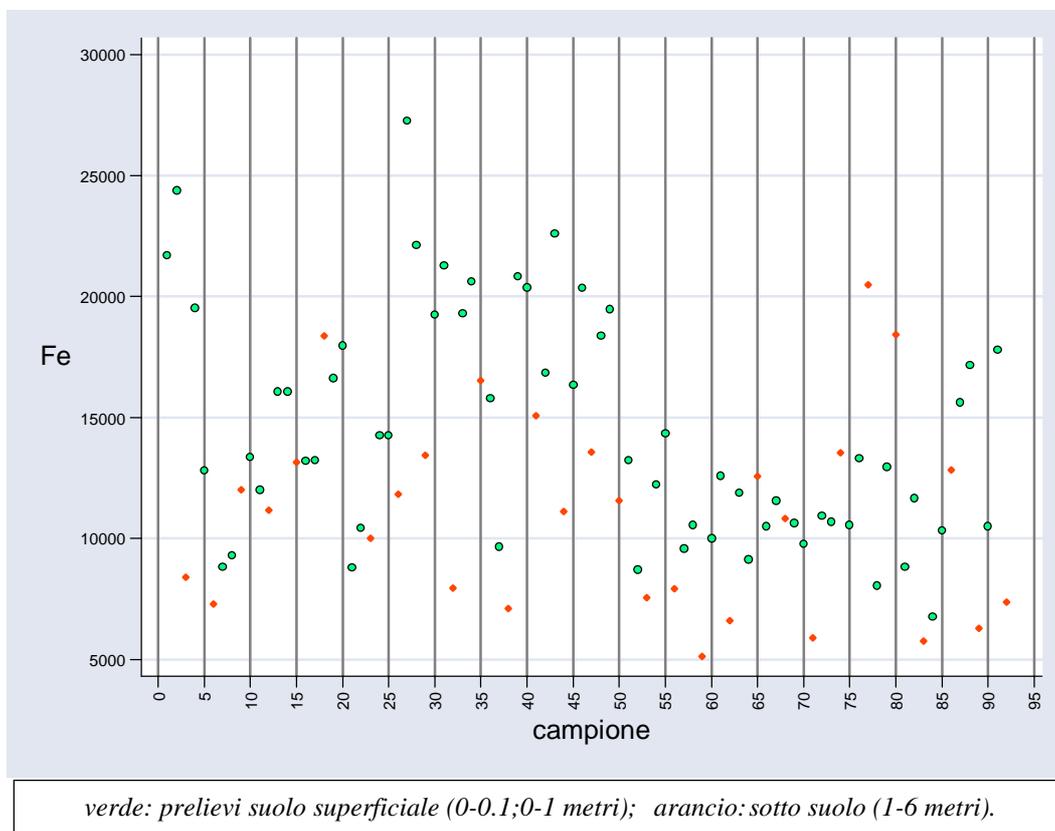
## **Cromo VI**

Per il Cromo risulta inutile ogni analisi poiché i dati sono tutti #N/D oppure mancanti.

# Ferro

## 8.7 Analisi grafica dei dati

A) grafico a dispersione:

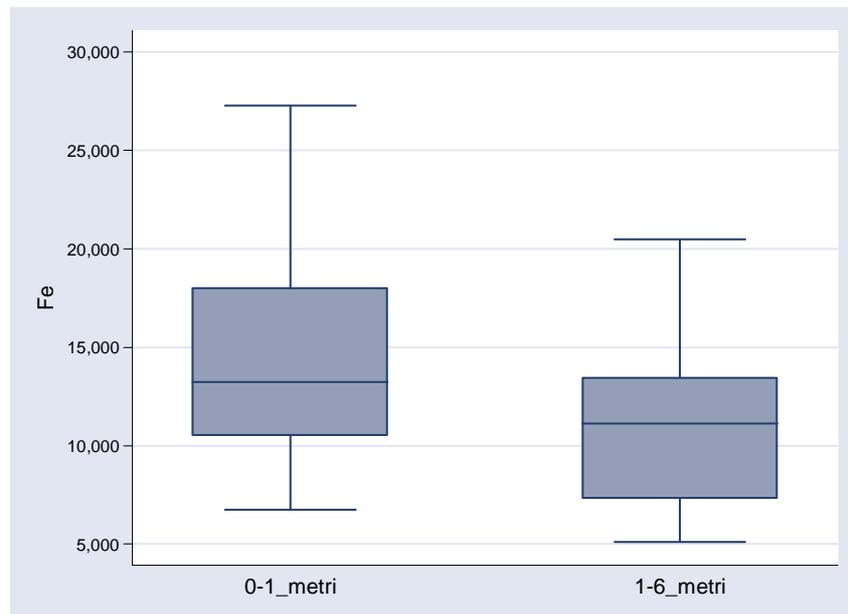


B) descrittori statistici:

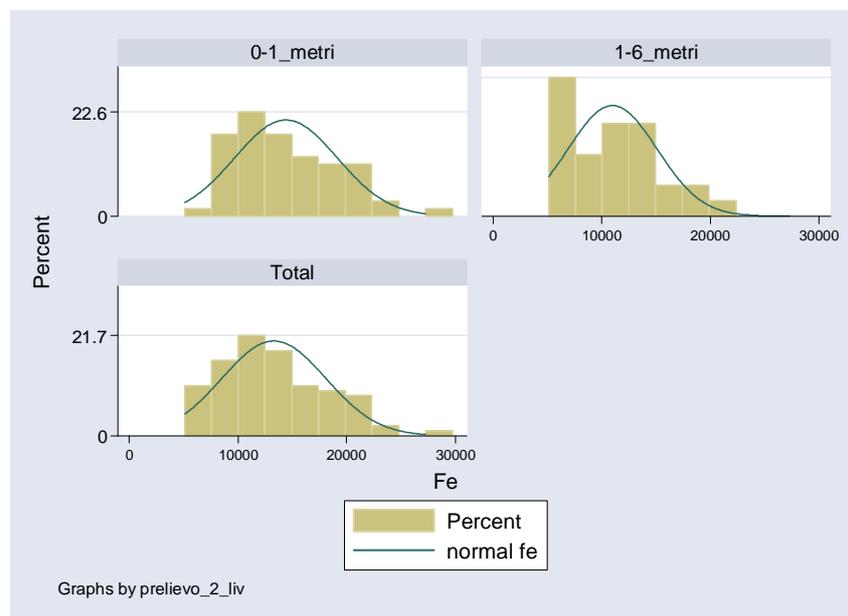
-> tipoprelievo = 0-1_metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	6,760.10	6760.1		
5%	8,782.00	8044.8		
10%	9,135.80	8700.2	Obs	62
25%	10,515.00	8782	Sum of Wgt.	62
50%	13,238.00		Mean	14406.52
		Largest	Std. Dev.	4720.21
75%	17,986.00	22116		
90%	20,824.50	22594.7	Variance	22300000
95%	22,116.00	24400	Skewness	0.59
99%	27,274.00	27274	Kurtosis	2.48

-> tipoprelievo = 1-6_metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	5,117.20	5117.2		
5%	5,766.50	5766.5		
10%	6,082.50	5892.7	Obs	30
25%	7,356.40	6272.3	Sum of Wgt.	30
50%	11,137.15		Mean	10989.72
		Largest	Std. Dev.	4104.50
75%	13,434.80	16534.4		
90%	17,459.20	18384	Variance	16800000
95%	18,428.80	18428.8	Skewness	0.53
99%	20,480.60	20480.6	Kurtosis	2.51

C) boxplot (distinti per profondità di prelievo):



Si espongono i grafici delle distribuzioni marginali ed i test per Normalità e log-normalità:



D) test per la distribuzione dei dati:

Si adotta il test di Shapiro-Wilk [ $H_0: Fe \sim N(\mu, \sigma^2)$ ] per testare la normalità delle distribuzioni.

Shapiro-Wilk W test for normal data  
tipoprelievo 0-1\_metri

Shapiro-Wilk	W	test	for	normal	data
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
fe	62	0.94458	3.092	2.438	0.00738

tipoprelievo 1-6\_metri

Shapiro-Wilk	W	test	for	normal	data
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
fe	30	0.94372	1.789	1.202	0.1146

Shapiro-Wilk W test for 3-parameter lognormal data  
0-

tipoprelievo 0.1\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
fe	62	0.94458	3.092	-1.601	0.94535

## 8.8 Conclusioni

I 95<sup>1</sup> percentili delle distribuzioni campionarie del Ferro sono:

tipoprelievo = 0-1 metri      22116.0

tipoprelievo = 1-6 metri      18428.8

Con un livello di significatività  $\alpha$  al 95%, nel caso di campionamento superficiale, i dati accettano l'ipotesi di normalità che viene perciò preservata.

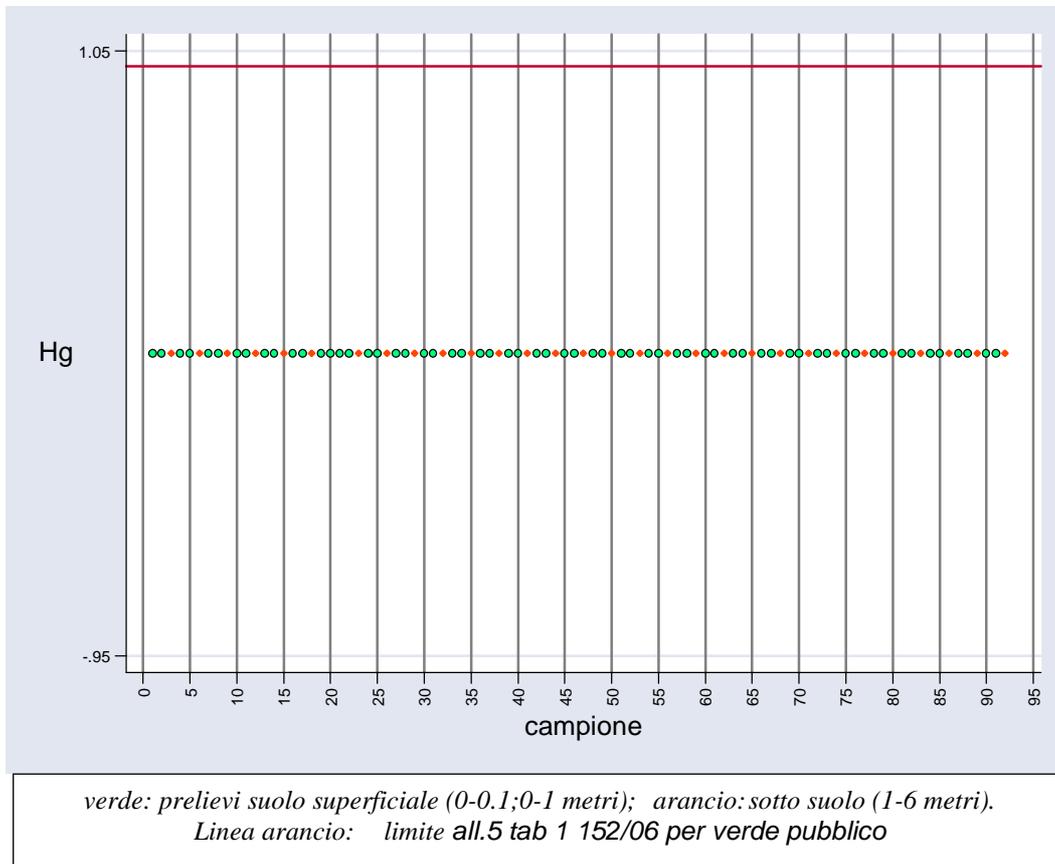
Per il sottosuolo si può invece ipotizzare una distribuzione log-normale.

Per tutti i livelli è perciò utilizzabile il test t-Student per i futuri confronti con dati di siti specifici, dopo opportune modifiche dei dati al livello di sottosuolo.

# Mercurio

## 8.9 Analisi grafica dei dati

A) grafico a dispersione:

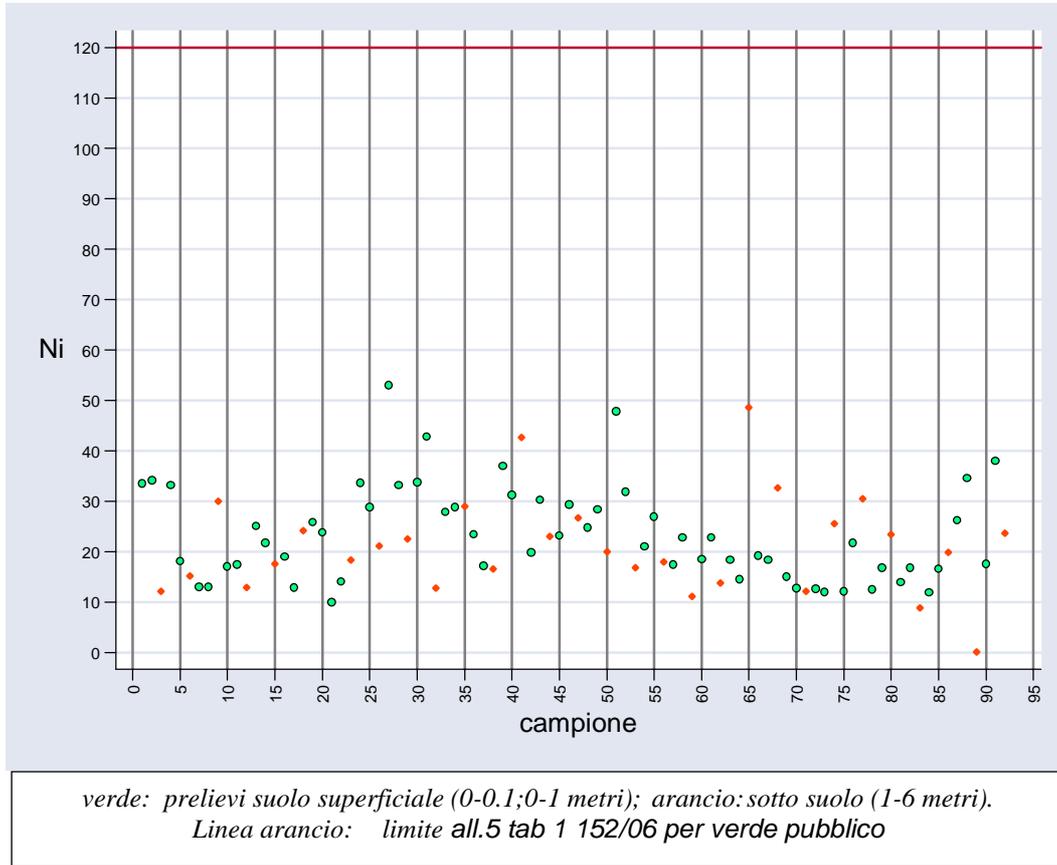


Tutti i dati risultano come #N/D e alcuna analisi è possibile.

# Nichel

## 8.10 Analisi grafica dei dati

A) grafico a dispersione:

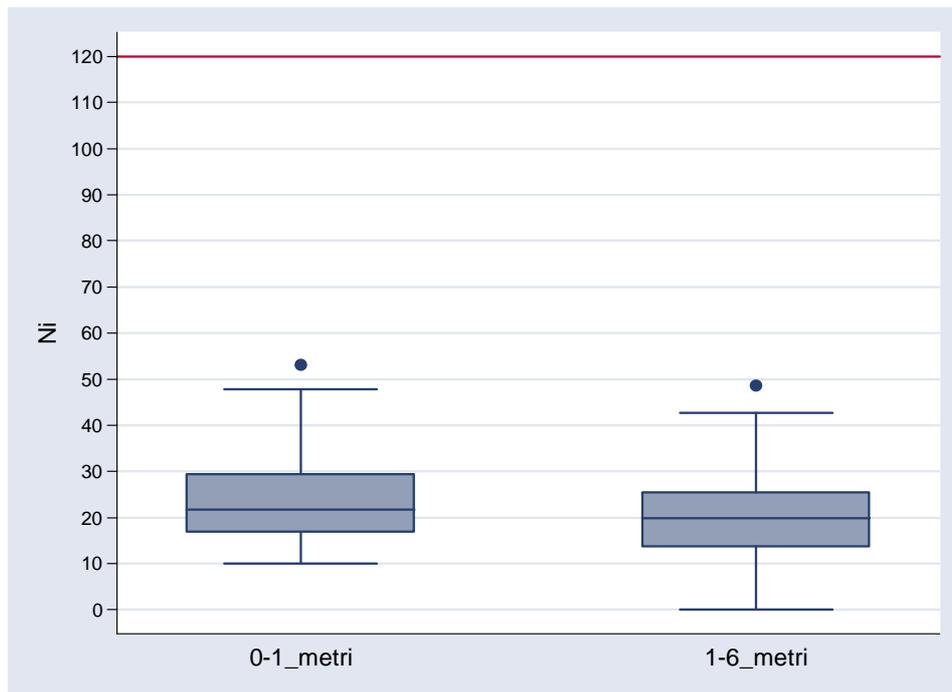


B) descrittori statistici:

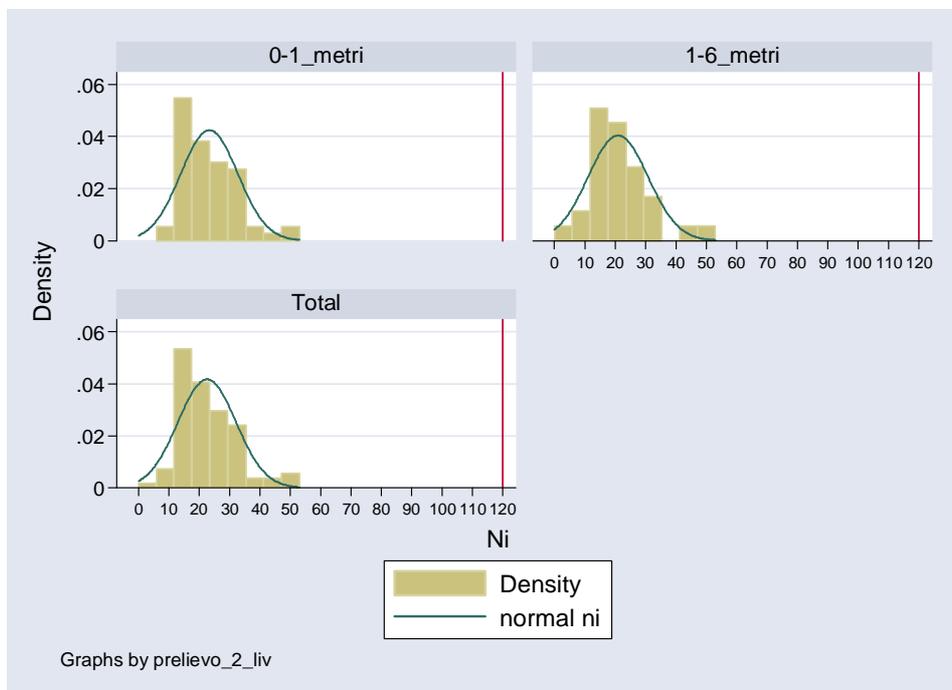
-> tipoprelievo = 0-1_metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	10.00	10		
5%	12.10	11.8		
10%	12.80	12	Obs	62
25%	16.80	12.1	Sum of Wgt.	62
50%	21.75		Mean	23.35
		Largest	Std. Dev.	9.40
75%	29.40	37.9		
90%	34.10	42.8	Variance	88.30
95%	37.90	47.8	Skewness	0.88
99%	53.00	53	Kurtosis	3.52

-> tipoprelievo = 1-6_metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	0.05	0.05		
5%	8.80	8.8		
10%	11.60	11.1	Obs	30
25%	13.70	12.1	Sum of Wgt.	30
50%	19.90		Mean	20.97
		Largest	Std. Dev.	9.86
75%	25.50	30.5		
90%	31.60	32.7	Variance	97.24
95%	42.70	42.7	Skewness	0.74
99%	48.60	48.6	Kurtosis	4.13

C) boxplot (distinti per profondità di prelievo):



Di seguito i grafici ed i test consueti:



D) Test di normalità per la distribuzione dei dati è quello di Shapiro-Wilk:

Shapiro-Wilk W test for normal data

tipoprelievo 0-1_metri		W	V	z	Prob>z
Variable	Obs				
ni	62	0.93124	3.837	2.904	0.00184

tipoprelievo 1-6_metri		W	V	z	Prob>z
Variable	Obs				
ni	30	0.95299	1.494	0.83	0.20315

Shapiro-Wilk W test for 3-parameter lognormal data

tipoprelievo 0-1_metri		W	V	z	Prob>z
Variable	Obs				
ni	62	0.93124	3.837	-0.993	0.83958

## 8.11 Conclusioni

I 95<sup>i</sup> percentili delle distribuzioni campionarie del Nichel sono:

tipoprelievo = 0-1 metri      37.9  
 tipoprelievo = 1-6 metri      42.7

Con un livello di significatività  $\alpha$  al 95%, nel caso di campionamento superficiale i dati si distribuiscono secondo una log-normale

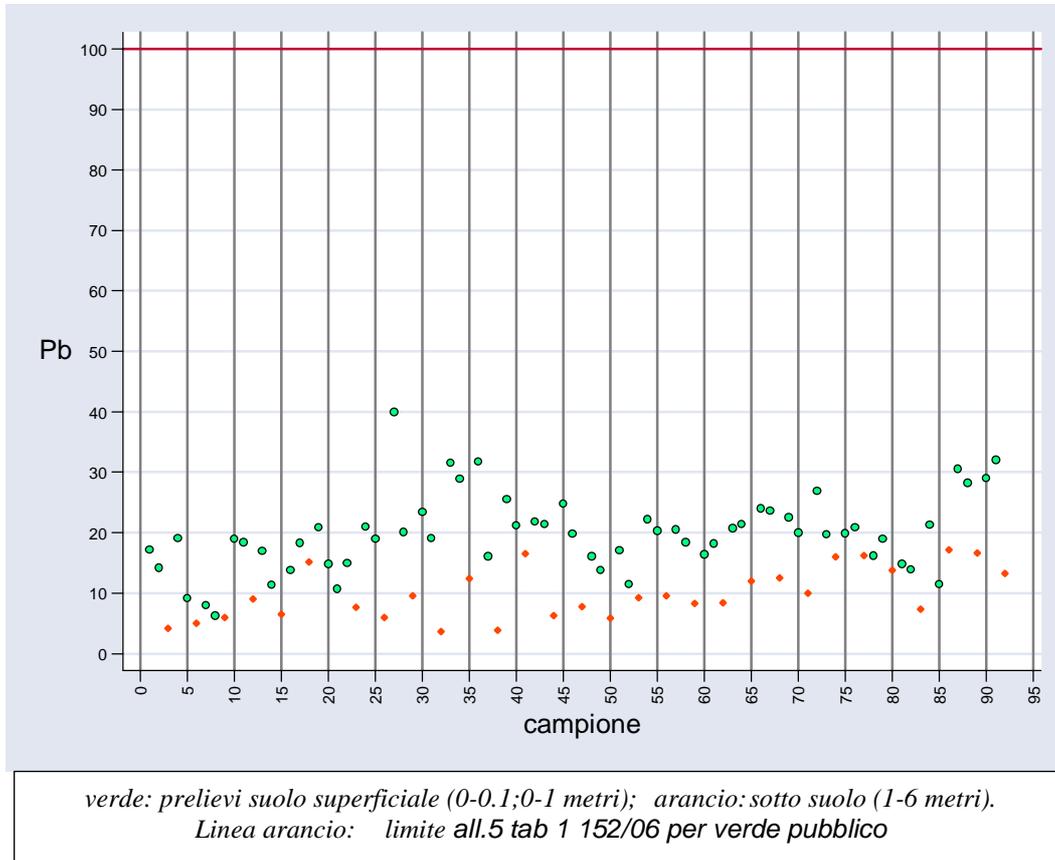
E' valida invece l'ipotesi di normalità per il prelievi al sottosuolo.

Per il Nichel è utilizzabile il test T-Student per i confronti con campioni da siti specifici, con l'assunto che al livello superficiale si debbano prima trasformare i dati in scala logaritmica.

# Piombo

## 8.12 Analisi grafica dei dati

A) grafico a dispersione:

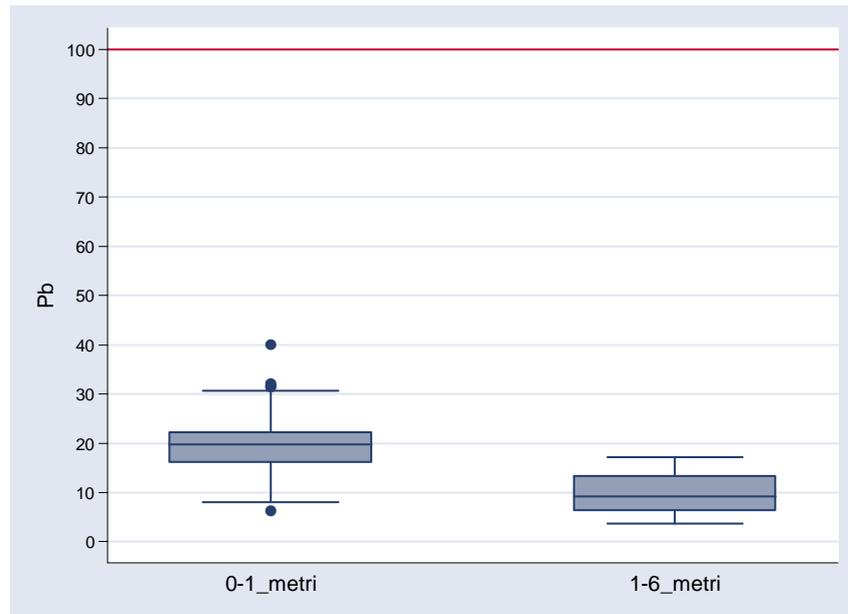


B) descrittori statistici:

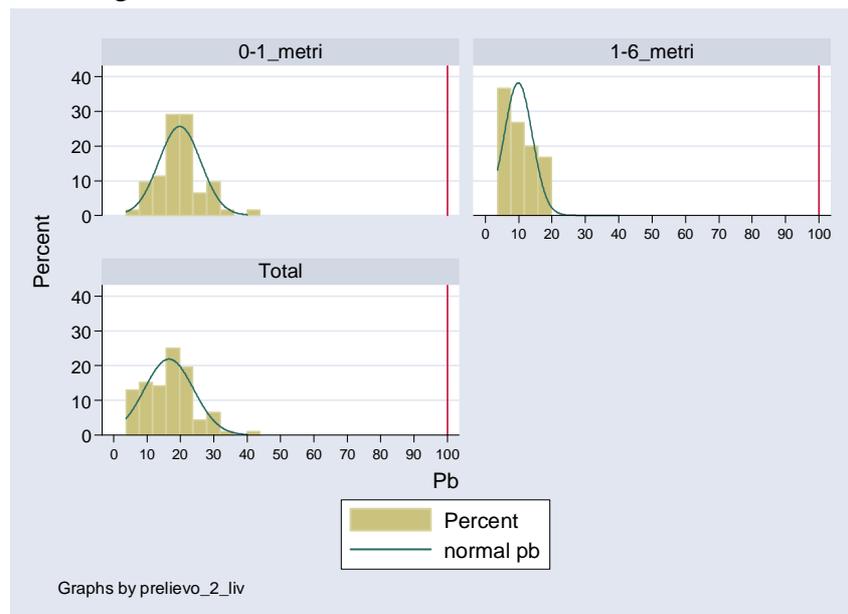
-> tipoprelievo = 0-1 _metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	6.30	6.30		
5%	10.70	8.00		
10%	11.50	9.20	Obs	62
25%	16.10	10.70	Sum of Wgt.	62
50%	19.75		Mean	19.83
		Largest	Std. Dev.	6.27
75%	22.20	31.50		
90%	28.90	31.70	Variance	39.32
95%	31.50	32.10	Skewness	0.55
99%	40.00	40.00	Kurtosis	3.86

-> tipoprelievo = 1-6 _metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	3.70	3.70		
5%	3.90	3.90		
10%	4.60	4.20	Obs	30
25%	6.30	5.00	Sum of Wgt.	30
50%	9.15		Mean	9.88
		Largest	Std. Dev.	4.21
75%	13.30	16.20		
90%	16.35	16.50	Variance	17.74
95%	16.60	16.60	Skewness	0.33
99%	17.20	17.20	Kurtosis	1.88

C) boxplot (distinti per profondità di prelievo):



Distribuzioni marginali:



D) test per la distribuzione dei dati

Di seguito i test di Shapiro-Wilk [ $H_0: Pb \sim N(\mu, \sigma^2)$ ] per valutare la normalità della distribuzione ad un livello di confidenza  $\alpha$  al 95%:

Shapiro-Wilk W test for normal data

tipoprelievo	0-1_metri				
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
pb	62	0.96875	1.744	1.201	0.11485

tipoprelievo	1-6_metri				
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z

pb	30	0.93268	2.14	1.573	0.05786
----	----	---------	------	-------	---------

## 8.13 Conclusioni

I 95<sup>i</sup> percentili delle distribuzioni campionarie del Piombo sono:

tipoprelievo = 0-1 metri	31.5
tipoprelievo = 1-6 metri	16.6

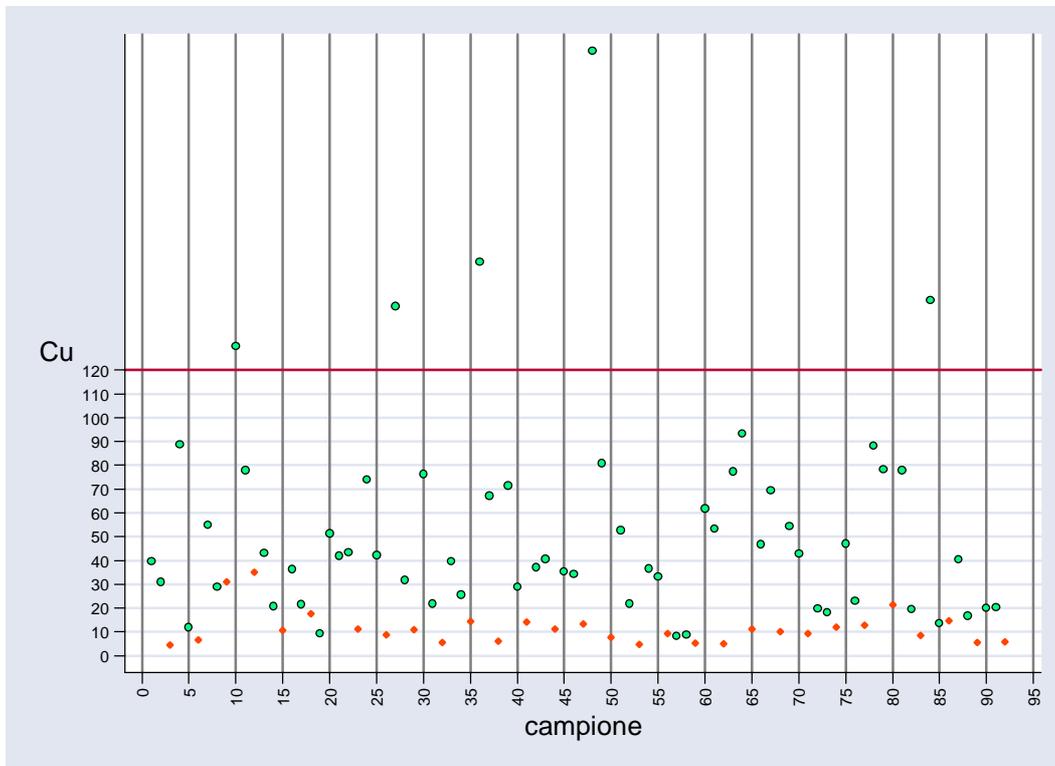
Con un livello di significatività  $\alpha$  al 95%, i dati si distribuiscono secondo una normale ad entrambi i livelli.

Nel caso del Piombo è utilizzabile il test T-Student per i confronti con campioni da siti specifici.

# Rame

## 8.14 Analisi grafica dei dati

A) grafico a dispersione:



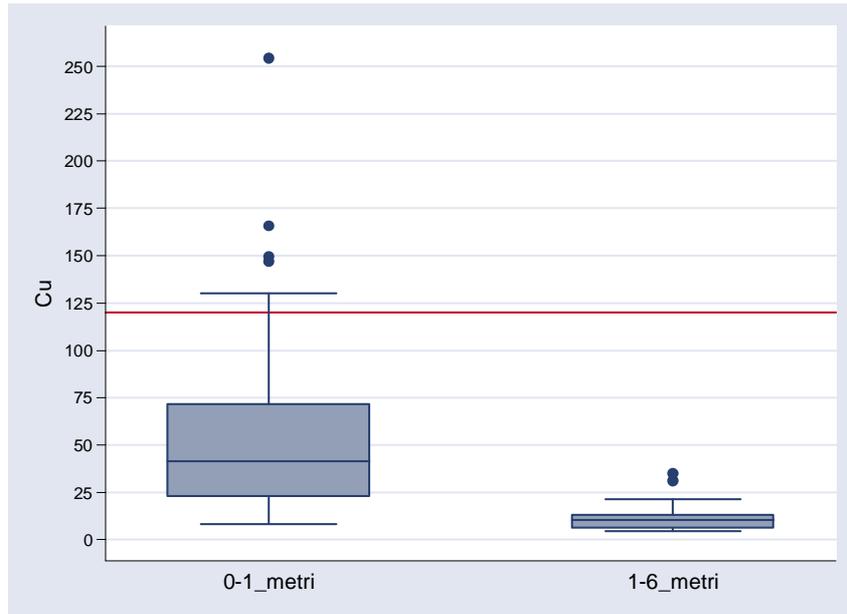
verde: prelievi suolo superficiale (0-0.1;0-1 metri); arancio: sotto suolo (1-6 metri).  
 Linea arancio: limite all.5 tab 1 152/06 per verde pubblico

B) descrittori statistici:

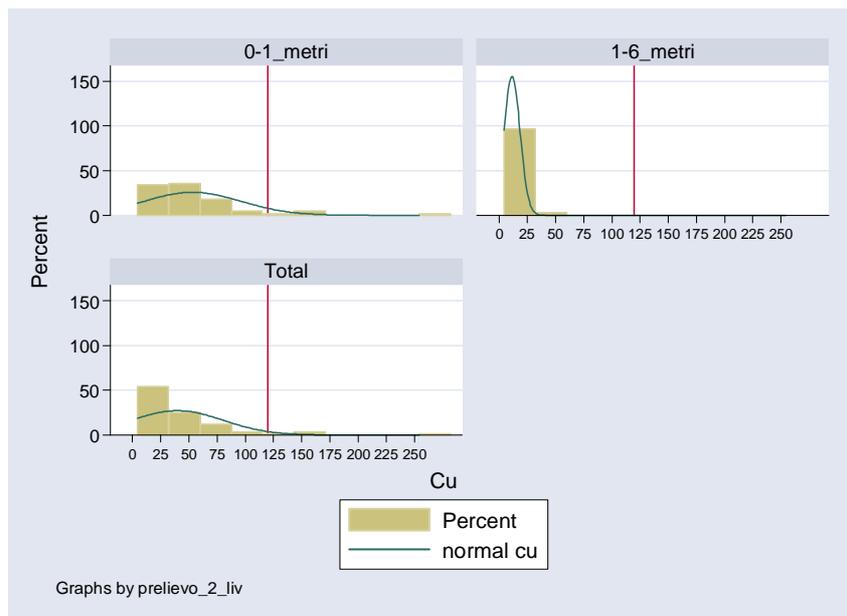
-> tipoprelievo = 0-1 _metri			
	Percentiles	Smallest	
1%	8.3	8.3	
5%	12.1	8.9	
10%	18.2	9.4	Obs 62
25%	23.1	12.1	Sum of Wgt. 62
50%	41.35		Mean 53.227
		Largest	Std. Dev. 43.098
75%	71.5	147	
90%	88.8	149.4	Variance 1857.463
95%	147	165.6	Skewness 2.284
99%	254.2	254.2	Kurtosis 9.801

-> tipoprelievo = 1-6 _metri			
	Percentiles	Smallest	
1%	4.4	4.4	
5%	4.7	4.7	
10%	5.15	5	Obs 30
25%	6	5.3	Sum of Wgt. 30
50%	10.35		Mean 11.467
		Largest	Std. Dev. 7.134
75%	13.2	17.6	
90%	19.55	21.5	Variance 50.900
95%	31	31	Skewness 1.900
99%	35	35	Kurtosis 6.568

C) boxplot (distinti per profondità di prelievo):



Si espongono i grafici delle distribuzioni marginali



D) test per la distribuzione dei dati:

Si utilizza il test di Shapiro-Wilk [ $H_0: Cu \sim N(\mu, \sigma^2)$ ] per valutare l'ipotesi di normalità delle distribuzioni

#### Shapiro-Wilk W test for **normal** data

tipoprelievo 0-1\_metri

Shapiro-Wilk	W	test	for	normal	data
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
cu	62	0.78047	12.25	5.411	0

tipoprelievo 1-6\_metri

Shapiro-Wilk	W	test	for	normal	data
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
cu	30	0.7885	6.723	3.94	0.00004

#### Shapiro-Wilk W test for 3-parameter lognormal data

tipoprelievo 0-1\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
cu	62	0.78047	12.25	-1.556	0.9402

tipoprelievo 1-6\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
cu	30	0.7885	6.723	-0.142	0.55649

## 8.15 Conclusioni

I 95<sup>i</sup> percentili delle distribuzioni campionarie del Rame sono:

tipoprelievo = 0-1 metri      147  
tipoprelievo = 1-6 metri      31.0

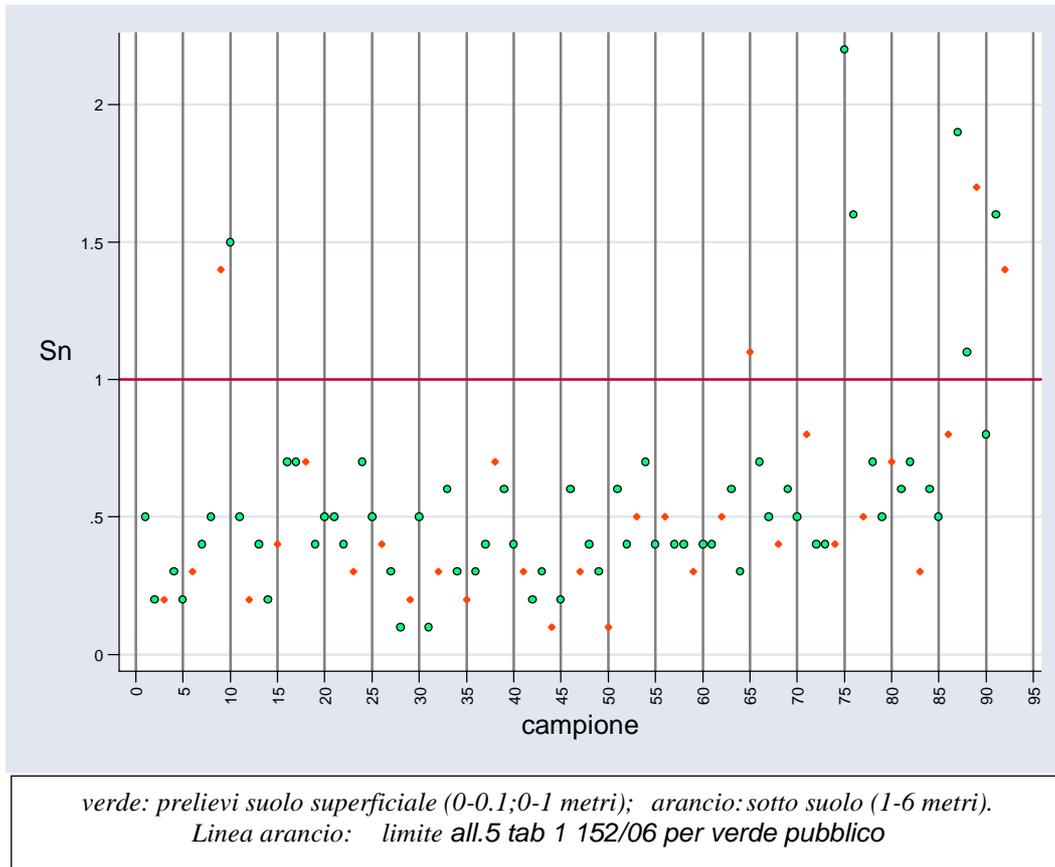
Con un livello di significatività  $\alpha$  al 95%, i dati si distribuiscono secondo una log-normale a tutti i livelli.

E' utilizzabile il test T-Student per i confronti con campioni da siti specifici.

# Stagno

## 8.16 Analisi grafica dei dati

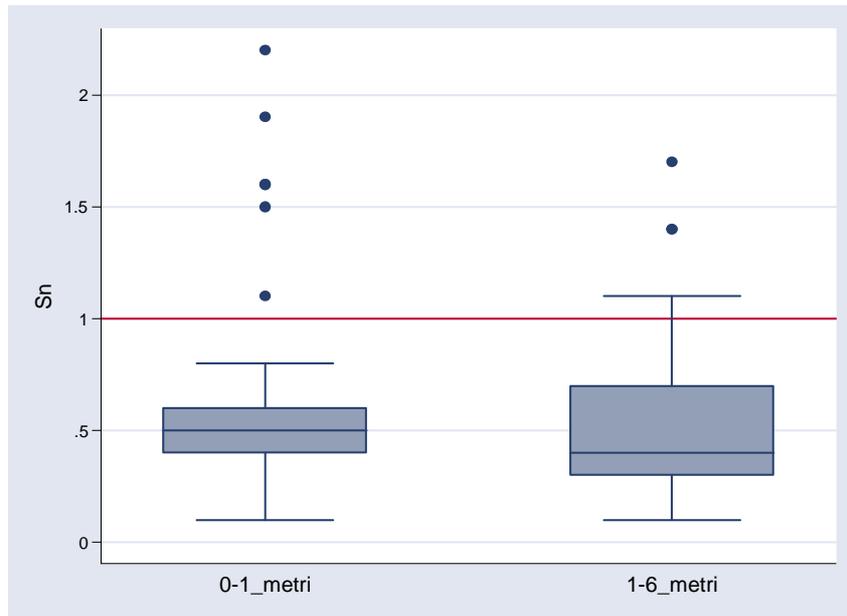
A) grafico a dispersione:



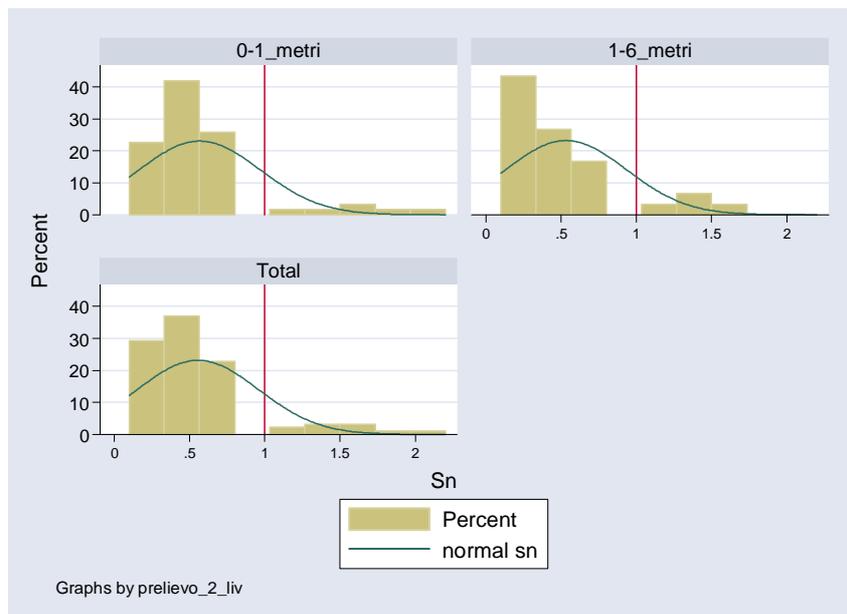
B) descrittori statistici:

-> tipoprelievo = 0-1_metri					-> tipoprelievo = 1-6_metri				
	Percentiles	Smallest				Percentiles	Smallest		
1%	0.1	0.1			1%	0.1	0.1		
5%	0.2	0.1			5%	0.1	0.1		
10%	0.2	0.2	Obs	62	10%	0.2	0.2	Obs	30
25%	0.4	0.2	Sum of Wgt.	62	25%	0.3	0.2	Sum of Wgt.	30
50%	0.5		Mean	0.568	50%	0.4		Mean	0.533
		Largest	Std. Dev.	0.405			Largest	Std. Dev.	0.402
75%	0.6	1.6			75%	0.7	1.1		
90%	0.8	1.6	Variance	0.164	90%	1.25	1.4	Variance	0.162
95%	1.6	1.9	Skewness	2.303	95%	1.4	1.4	Skewness	1.465
99%	2.2	2.2	Kurtosis	8.437	99%	1.7	1.7	Kurtosis	4.423

C) boxplot (distinti per profondità di prelievo):



Di seguito si espongono i grafici delle distribuzioni marginali ed i test per Normalità e log-normalità:



D) test per la distribuzione dei dati:

Di seguito i test di Shapiro-Wilk [ $H_0: S_n \sim N(\mu, \sigma^2)$ ] per la normalità della distribuzione con un livello di significatività  $\alpha$  al 95%:

Shapiro-Wilk W test for normal data

tipoprelievo 0-1\_metri

Shapiro-Wilk test for normal data					
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
sn	62	0.73851	14.59	5.789	0

tipoprelievo 1-6\_metri

Shapiro-Wilk test for normal data					
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
sn	30	0.83877	5.125	3.379	0.00036

Shapiro-Wilk W test for 3-parameter lognormal data

tipoprelievo 0-1\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
sn	62	0.73851	14.59	6.751	0

tipoprelievo 1-6\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
sn	30	0.83877	5.125	4.321	0.00001

## 8.17 Conclusioni

I 95<sup>°</sup> percentili delle distribuzioni del Stagno sono:

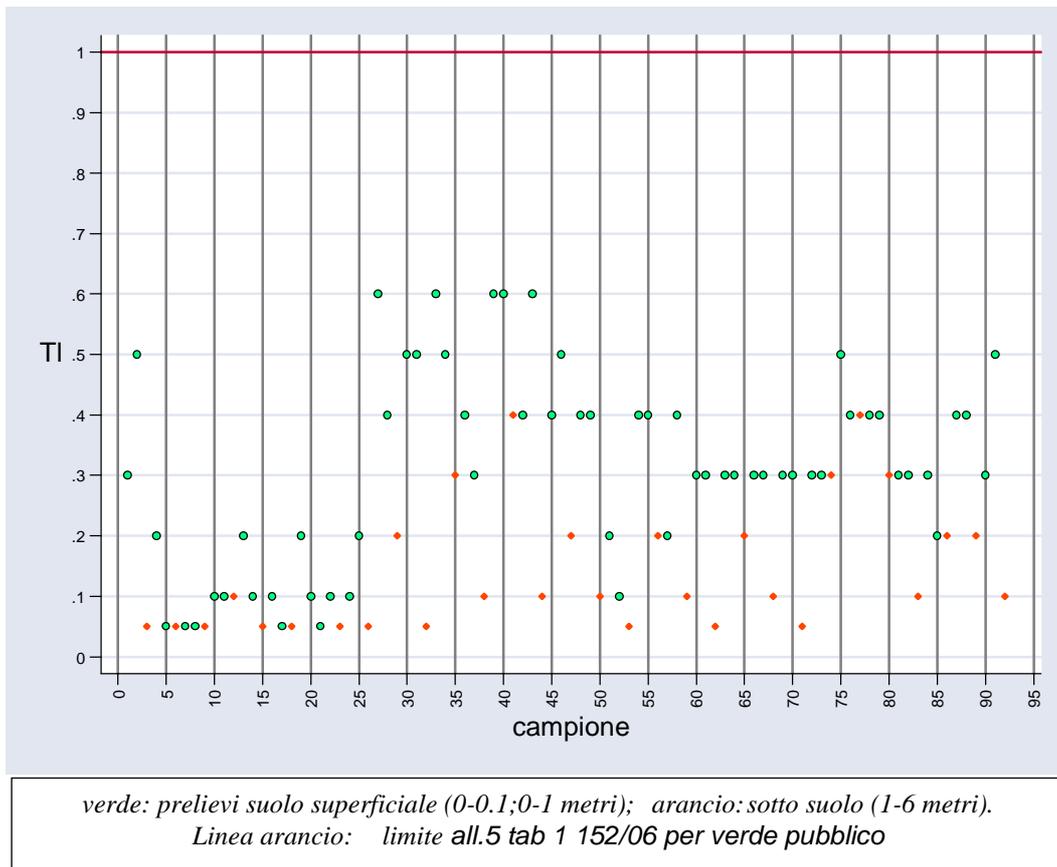
tipoprelievo = 0-1 metri      1.6  
tipoprelievo = 1-6 metri      1.4

Con un livello di significatività  $\alpha$  al 95%, i dati rifiutano le ipotesi di normalità e log-normalità. E' perciò preferibile utilizzare test non parametrici a tutti i livelli di prelievo.

# Tallio

## 8.18 Analisi grafica dei dati

A) grafico a dispersione:

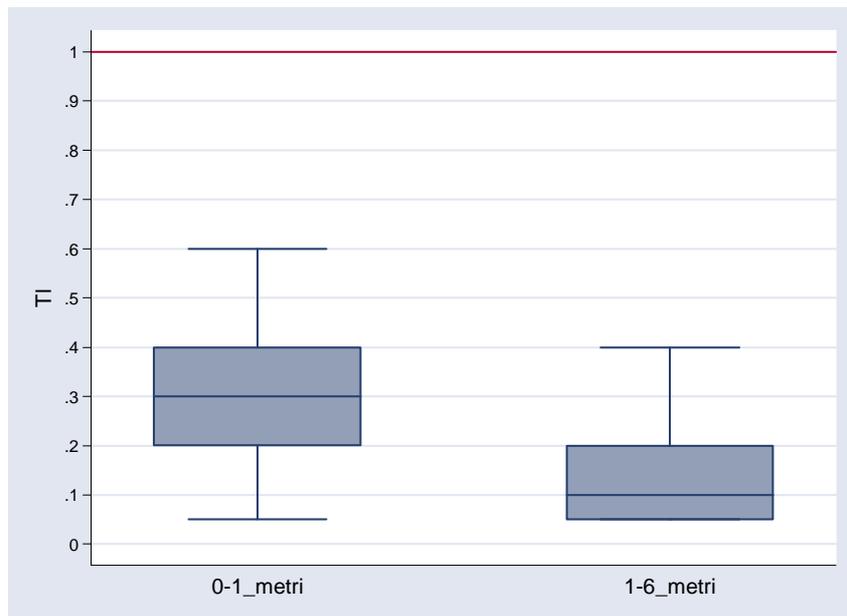


B) descrittori statistici:

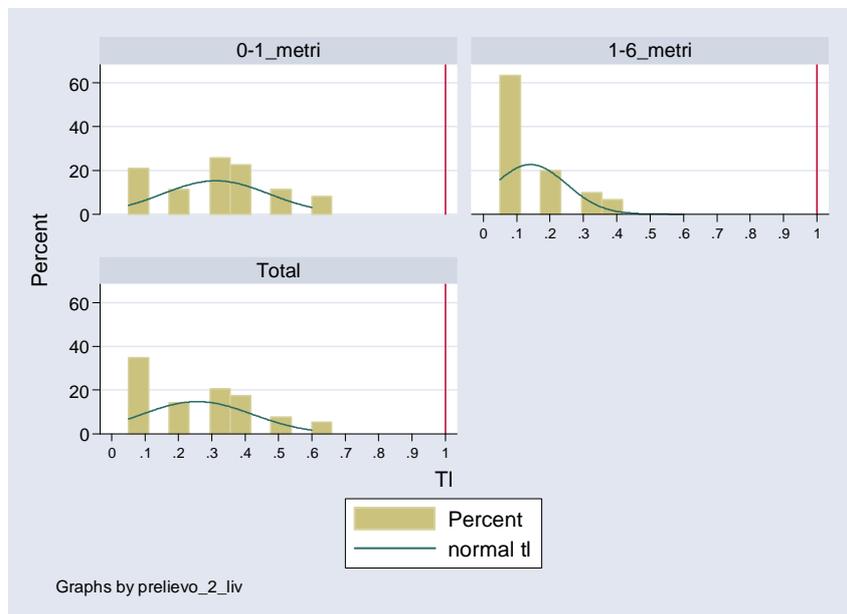
-> tipoprelievo = 0-1_metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	0.05	0.05		
5%	0.05	0.05		
10%	0.1	0.05	Obs	62
25%	0.2	0.05	Sum of Wgt.	62
50%	0.3		Mean	0.312
		Largest	Std. Dev.	0.160
75%	0.4	0.6		
90%	0.5	0.6	Variance	0.026
95%	0.6	0.6	Skewness	-0.004
99%	0.6	0.6	Kurtosis	2.151

-> tipoprelievo = 1-6_metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	0.05	0.05		
5%	0.05	0.05		
10%	0.05	0.05	Obs	30
25%	0.05	0.05	Sum of Wgt.	30
50%	0.1		Mean	0.142
		Largest	Std. Dev.	0.108
75%	0.2	0.3		
90%	0.3	0.3	Variance	0.012
95%	0.4	0.4	Skewness	1.086
99%	0.4	0.4	Kurtosis	3.110

C) boxplot (distinti per profondità di prelievo):



Di seguito si espongono i grafici delle distribuzioni marginali ed i test per Normalità e log-normalità:



D) test per la distribuzione dei dati:

Di seguito i test di Shapiro-Wilk [ $H_0: Tl \sim N(\mu, \sigma^2)$ ] per la normalità della distribuzione con un livello di significatività  $\alpha$  al 95%:

Shapiro-Wilk W test for normal data

tipoprelievo 0-1\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
tl	62	0.98725	0.711	-0.735	0.76895

tipoprelievo 1-6\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
tl	30	0.85747	4.53	3.124	0.00089

Shapiro-Wilk W test for 3-parameter lognormal data

tipoprelievo 1-6\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
tl	30	0.85747	4.53	3.987	0.00003

## 8.19 Conclusioni

I 95<sup>i</sup> percentili delle distribuzioni del Tallio sono:

tipoprelievo = 0-0.1 metri    0.6  
tipoprelievo = 1-6 metri        0.4

Con un livello di significatività  $\alpha$  al 95%, nei campionamenti al suolo superficiale i dati non rifiutano l'ipotesi di normalità;

Utilizzabile perciò il t-Student in questi casi.

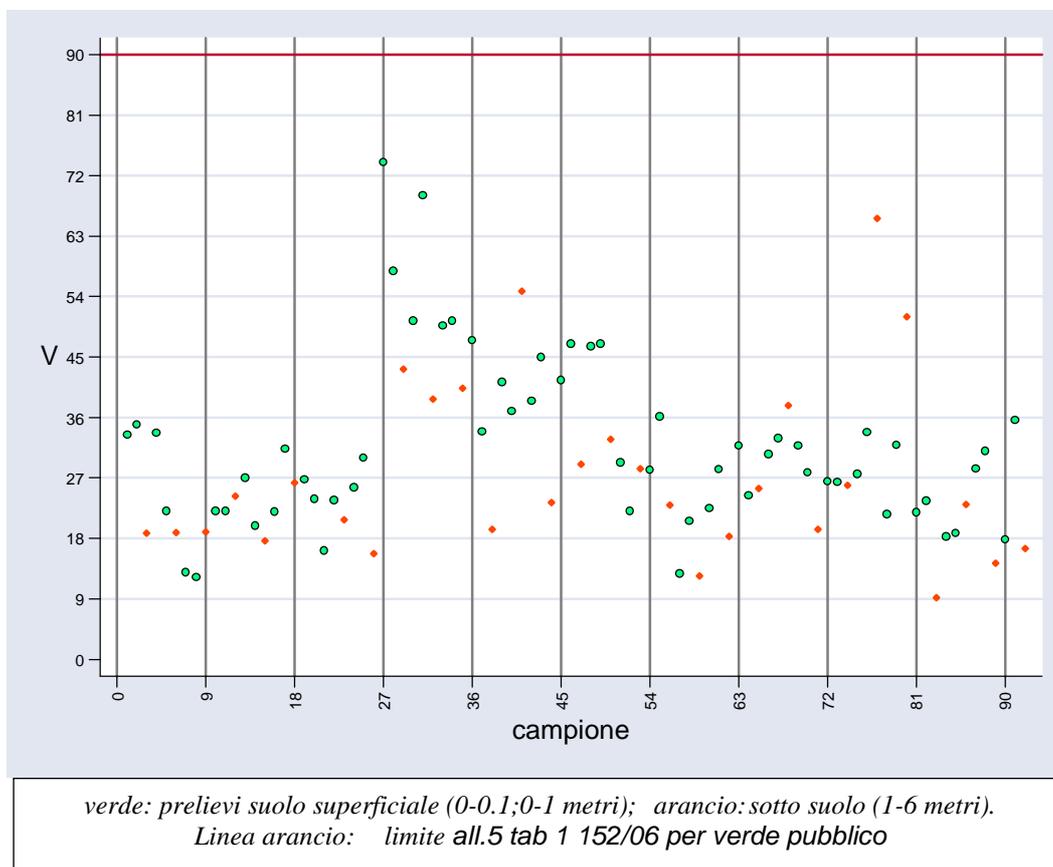
Per il livello più profondo invece non è possibile ipotizzare una forma distributiva né Normale, né log-Normale.

E' consigliabile l'uso di test non parametrici in quest'ultimo caso.

# Vanadio

## 8.20 Analisi grafica dei dati

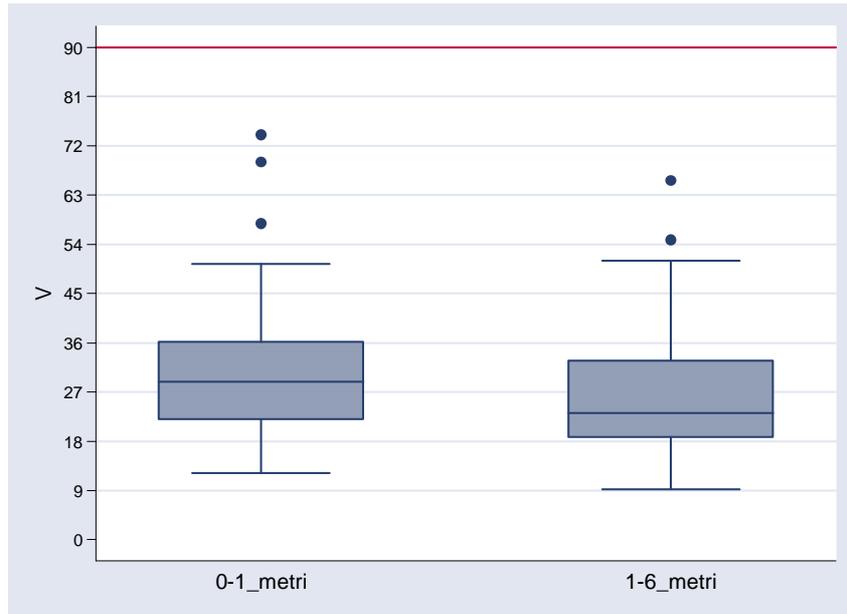
A) grafico a dispersione:



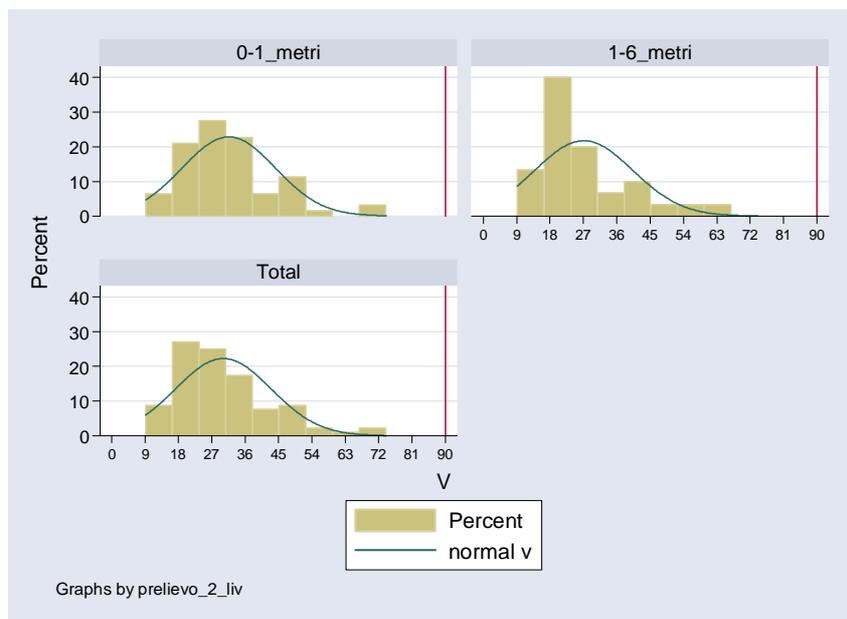
B) descrittori statistici:

-> tipoprelievo = 0-1 _metri				-> tipoprelievo = 1-6 _metri			
Percentiles	Smallest			Percentiles	Smallest		
1%	12.2	12.2		1%	9.2	9.2	
5%	16.2	12.8		5%	12.4	12.4	
10%	18.8	13	Obs	10%	15	14.3	Obs
25%	22.1	16.2	Sum of Wgt.	25%	18.8	15.7	Sum of Wgt.
50%	28.85		Mean	50%	23.2		Mean
			Std. Dev.				Std. Dev.
		Largest				Largest	
75%	36.2	50.4		75%	32.7	43.2	
90%	47.5	57.8	Variance	90%	47.1	51	Variance
95%	50.4	69	Skewness	95%	54.8	54.8	Skewness
99%	74	74	Kurtosis	99%	65.6	65.6	Kurtosis

C) boxplot (distinti per profondità di prelievo):



Di seguito i grafici delle distribuzioni marginali ed i test per Normalità e Log-Normalità ed i test relativi:



D) test per la distribuzione dei dati:

Shapiro-Wilk W test for normal data

tipoprelievo 0-1\_metri

Shapiro-

Variable	Obs	W	test for	normal data	z	Prob>z
v	62	0.916	4.687	3.336	0.00042	

tipoprelievo 1-6\_metri

Shapiro-

W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
v	30	0.87872	3.855	2.79	0.00264

Shapiro-Wilk W test for 3-parameter lognormal data

tipoprelievo 0-1\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
v	62	0.916	4.687	-1.223	0.88926

tipoprelievo 1-6\_metri

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
v	30	0.87872	3.855	-1.395	0.91855

## 8.21 Conclusioni

I 95<sup>i</sup> percentili delle distribuzioni del Vanadio sono:

tipoprelievo = 0-0.1 metri      50.40

tipoprelievo = 1-6 metri        54.80

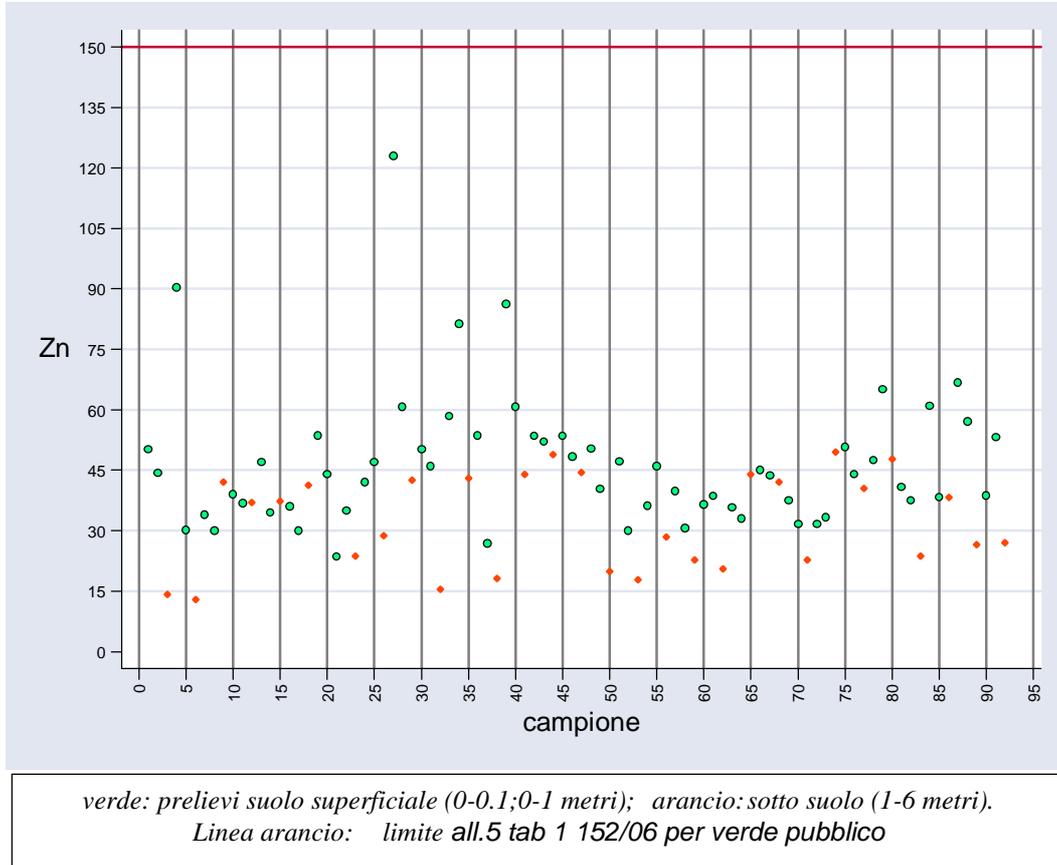
Con un livello di significatività  $\alpha$  al 95%, in tutti i campionamenti i dati hanno una distribuzione log-Normale.

Per tutti è utilizzabile il test T-Student.

# Zinco

## 8.22 Analisi grafica dei dati

A) grafico a dispersione:

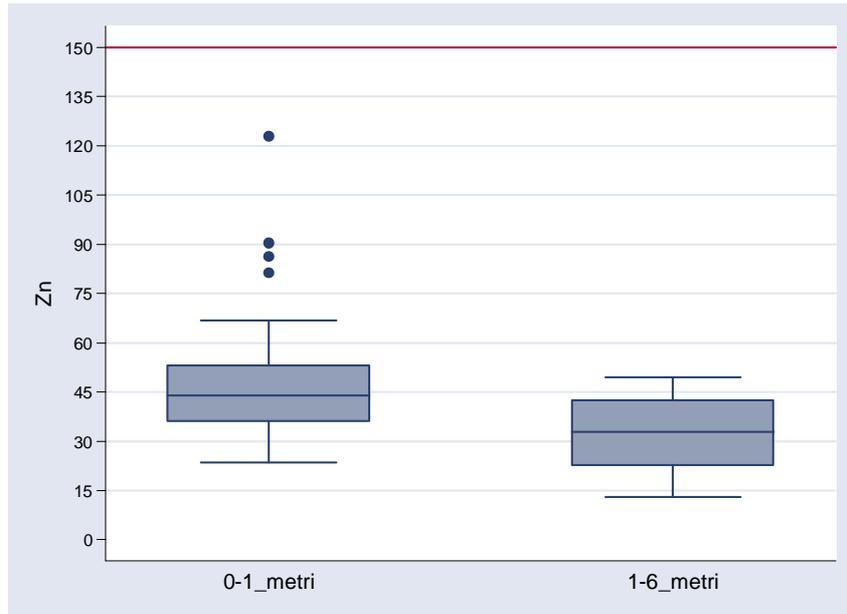


B) descrittori statistici:

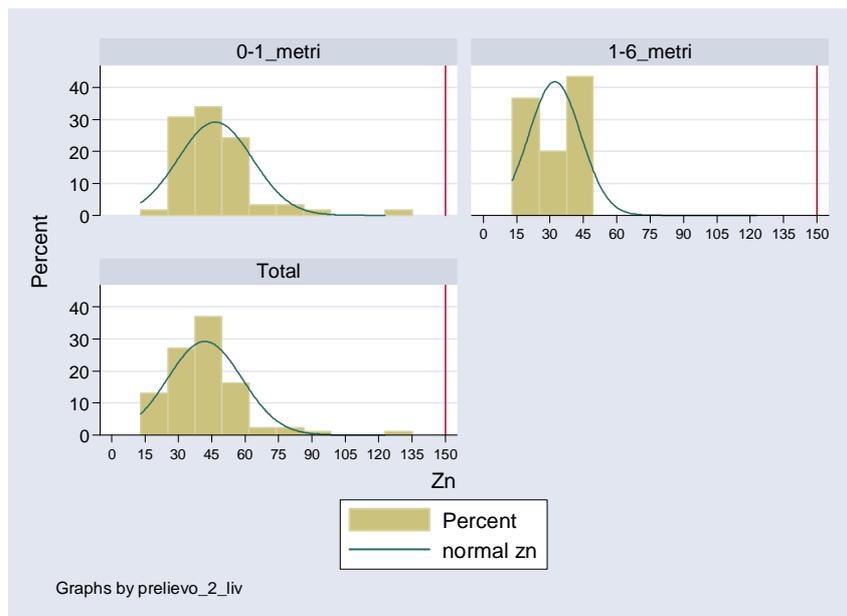
-> tipoprelievo = 0-1_metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	23.6	23.6		
5%	30	26.9		
10%	30.7	30	Obs	62
25%	36	30	Sum of Wgt.	62
50%	43.95		Mean	46.600
		Largest	Std. Dev.	16.740
75%	53.1	81.3		
90%	60.9	86.2	Variance	280.213
95%	81.3	90.4	Skewness	2.089
99%	123	123	Kurtosis	9.172

-> tipoprelievo = 1-6_metri				
	Percentiles	Smallest		
1%	13	13		
5%	14.2	14.2		
10%	16.7	15.5	Obs	30
25%	22.7	17.9	Sum of Wgt.	30
50%	32.85		Mean	32.170
		Largest	Std. Dev.	11.691
75%	42.5	44.5		
90%	46.1	47.7	Variance	136.689
95%	48.9	48.9	Skewness	-0.109
99%	49.5	49.5	Kurtosis	1.549

C) boxplot (distinti per profondità di prelievo):



Di seguito i grafici delle distribuzioni marginali



D) test per la distribuzione dei dati:

Si effettuano i test con un livello di significatività  $\alpha$  al 95%:

Shapiro-Wilk W test for normal data

tipoprelievo 0-1\_metri

Variable	Obs	W	test for normal data	z	Prob>z
zn	62	0.82537	9.745	4.917	0

tipoprelievo 1-6\_metri

Shapiro-  
Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
zn	30	0.9142	2.727	2.074	0.01902

Shapiro-Wilk W test for 3-parameter lognormal data

tipoprelievo 0-1\_metri

Shapiro-  
Wilk W test for log-normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
zn	62	0.82537	9.745	-1.322	0.90688

tipoprelievo 1-6\_metri

Shapiro-  
Wilk W test for log-normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
zn	30	0.9142	2.727	-1.355	0.91237

## 8.23 Conclusioni

I 95<sup>i</sup> percentili delle distribuzioni del Vanadio sono:

tipoprelievo = 0-0.1 metri 81.30

tipoprelievo = 1-6 metri 48.90

Per lo Zinco si ha distribuzione log-Normale per tutti i livelli di prelievo.

A tutti i livelli di prelievo è utilizzabile il test t-Student, dopo opportuna trasformazione dei dati.

## CONCLUSIONI

I dati utilizzati alla determinazione del fondo, finalizzati al confronto con dati specifici di un sito potenzialmente contaminato, sono stati sottoposti ai criteri indicati dal Protocollo Operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli di interesse nazionale (APAT - ISS 2006).

**Sulla base delle criticità evidenziate nella trattazione, la presente procedura è giunta alla definizione di valori di fondo antropizzato (ISO 19258).**

La possibilità di identificare valori di fondo naturale passa attraverso l'acquisizione di ulteriori informazioni circa:

- attività antropiche di ogni genere realizzatesi nell'area in studio in passato;
- studio delle direzioni dei venti prevalenti;
- entità e localizzazione prevalente della ricaduta degli inquinanti emessi dall'area industriale;
- caratteristiche ideologiche, geochimiche e idrogeologiche sito-specifiche finalizzate alla definizione della diffusione e trasporto degli inquinanti nelle matrici acqua-suolo.

Si ritiene utile informare, a questo proposito, che ARPA Puglia sta conducendo nell'area in oggetto una campagna di monitoraggio della qualità dell'aria attraverso campionatori vento-selettivi, i cui risultati potrebbero integrare le informazioni rivenienti dai modelli di ricaduta degli inquinanti emessi dall'area industriale di Brindisi.

Quanto sopra, insieme ad un appropriato studio dei modelli di diffusione e trasporto degli inquinanti nel sottosuolo, potrebbe orientare eventuali ulteriori attività di campionamento finalizzate all'identificazione di aree effettivamente rappresentative del fondo "naturale", che a nostro parere risultano giustificate dai risultati analitici.

Qualora venga ritenuto utile, questa Agenzia si rende disponibile all'esecuzione in tempi congrui delle attività necessarie a questo fine.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Protocollo Operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli di interesse nazionale (Pubblicazione APAT – Giugno 2006).
- [2] Linee Guida per la determinazione dei valori di fondo naturale nell'ambito della bonifica dei siti contaminati (Università degli Studi di Milano – Dipartimento di Scienze della Terra "A. Desio" - 2003).
- [3] APAT (2005): Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati, rev0, giugno 2005.
- [4] ARPAV, Comune di Venezia, Provincia di Venezia (2002) – "Determinazione del livello di fondo di metalli pesanti nei suoli dell'entroterra veneziano".
- [5] Beretta G.P. (2001) – "Gestione dei dati analitici in fase di caratterizzazione, bonifica e certificazione dei siti contaminati". Atti della giornata di studio Bonifica di siti contaminati. Quaderni Direzione Centrale Ambiente Provincia di Milano, pp 38 – 77.
- [6] U.S. Environmental Protection Agency (2000) – "Guidance for Data Quality Assessment. Practical Methods for Data Analysis". EPA QA/G-9, Office of Environmental Information, Washington D.C.
- [7] International Organization for Standardization (2005): Soil quality – Guidance on the determination of background values. ISO19258 - ISO TC 190/SC 7.
- [8] Salminen R., Tarvainen T., Demetriades A., Duris M., Fordyce F. M., Gregorauskiene V., Kahelin H., Kivisilla J., Klaver G., Klein H., Larson J.O., Lis J., Locutura J., Marsina K., Mjartanova H., Mouvet C., O Connor P., Odor L., Ottonello G., Paukola T., Plant J. A., Reimann C., Schermann O., Siewers U., Steenfelt A., Van der Sluys J., de Vivo B., Williams L. (1998) - FOREGS geochemical mapping. Field manual. Geologian tutkimuskeskus, Opas - Geological Survey of Finland, Guide 47. 36 pages, 15 figures, and 1 appendix.
- [9] U.S. Environmental Protection Agency (1996) – "The Data Quality Evaluation Statistical Toolbox (Data QUEST) Software", EPA QA/G-9D. Office of Research and Development, Washington D.C.
- [10] U.S. Environmental Protection Agency (2000a): Data Quality Objectives Process for Hazardous Waste Site Investigations. EPAQA/G-4HW, Final. Office of Environmental Information, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- [11] U.S. Environmental Protection Agency (2000a): Data Quality Objectives Process for Hazardous Waste Site Investigations. EPAQA/G-4HW, Final. Office of Environmental Information, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- [12] U.S. Environmental Protection Agency (2000b): Guidance for Data Quality Assessment: Practical Methods for Data Analysis. EPA QA/G-9, QA00 Update. Office of Environmental Information.
- [13] U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C. U.S. Environmental Protection Agency (2001) "RAGS: volume 3 PART A-Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment Appendix A".

- [14] U.S. Environmental Protection Agency (2002): Calculating Upper Confidence Limits for exposures point concentrations at hazardous waste sites. Oswer 9285.6-10. Office of Emergency and Remedial Response U.S.Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- [15] U.S. Environmental Protection Agency (2002): Guidance for Comparing Background and Chemical Concentrations in Soil for CERCLA Sites. Office of Emergency and Remedial Response U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460.
- [16] U.S. Environmental Protection Agency (2006): Guidance on Systematic Planning Using the Data Quality Objectives Process EPA QA/G-4 Final. Office of Environmental Information, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.

## ALLEGATO 1: Output di calcolo

ELABORAZIONE\_DATI\_ARSENICO\_TOP\_SOIL

The SAS System 16:21 Wednesday, October 1, 2008 57

La procedura UNIVARIATE  
Variabile: As

### Momenti

N	31	Somma dei pesi	31
Media	12.4290323	Somma delle osservazioni	385.3
Deviazione Std	7.02591363	Varianza	49.3634624
Skewness	1.93397654	Kurtosis	4.85239663
SS non corretta	6269.81	SS corretta	1480.90387
Coeff di var	56.5282436	Errore std media	1.26189134

### Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	12.42903	Deviazione Std	7.02591
Mediana	11.20000	Varianza	49.36346
Moda	21.50000	Intervallo	32.90000
		Intervallo interquartile	6.30000

### Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-	-----Valore p-----
T di Student	t 9.849527	Pr >  t  <.0001
dei segni	M 15.5	Pr >=  M  <.0001
dei segni per ranghi	S 248	Pr >=  S  <.0001

### Test di normalità

Test	--Statistica--	-----Valore p-----
Shapiro-Wilk	W 0.816432	Pr < W 0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D 0.202418	Pr > D <0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq 0.27672	Pr > W-Sq <0.0050
Anderson-Darling	A-Sq 1.612068	Pr > A-Sq <0.0050

### Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	38.0
99%	38.0
95%	25.0
90%	21.5
75% Q3	13.7
50% Mediana	11.2
25% Q1	7.4
10%	5.9
5%	5.3
1%	5.1
0% Min	5.1

### Osservazioni estreme

---Inferiori---		---Superiori---	
Valore	Oss	Valore	Oss
5.1	25	21.5	21
5.3	31	21.5	23
5.5	19	22.1	11
5.9	27	25.0	22

La procedura UNIVARIATE  
 Variabile: logas

Momenti

N	31	Somma dei pesi	31
Media	2.39710631	Somma delle osservazioni	74.3102957
Deviazione Std	0.48709382	Varianza	0.23726039
Skewness	0.49428392	Kurtosis	0.08826126
SS non corretta	185.247491	SS corretta	7.11781167
Coeff di var	20.3200758	Errore std media	0.08748463

Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	2.397106	Deviazione Std	0.48709
Mediana	2.415914	Varianza	0.23726
Moda	3.068053	Intervallo	2.00835
		Intervallo interquartile	0.61592

Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-	-----Valore p-----
T di Student	t 27.40031	Pr >  t  <.0001
dei segni	M 15.5	Pr >=  M  <.0001
dei segni per ranghi	S 248	Pr >=  S  <.0001

Test di normalità

Test	--Statistica--	-----Valore p-----
Shapiro-Wilk	W 0.963832	Pr < W 0.3671
Kolmogorov-Smirnov	D 0.099737	Pr > D >0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq 0.051471	Pr > W-Sq >0.2500
Anderson-Darling	A-Sq 0.35137	Pr > A-Sq >0.2500

Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	3.63759
99%	3.63759
95%	3.21888
90%	3.06805
75% Q3	2.61740
50% Mediana	2.41591
25% Q1	2.00148
10%	1.77495
5%	1.66771
1%	1.62924
0% Min	1.62924

Osservazioni estreme

----Inferiori----		----Superiori----	
Valore	Oss	Valore	Oss
1.62924	25	3.06805	21
1.66771	31	3.06805	23
1.70475	19	3.09558	11
1.77495	27	3.21888	22
1.84055	8	3.63759	10

Frequency

16 ^ \*\*\*\*\*





ELABORAZIONE\_DATI\_ARSENICO \_ SUOLO SUPERFICIALE\_SENZA\_OUTLIER

The SAS System 16:21 Wednesday, October 1, 2008 61

La procedura UNIVARIATE  
Variabile: As

Momenti

N	28	Somma dei pesi	28
Media	11.5821429	Somma delle osservazioni	324.3
Deviazione Std	4.16911515	Varianza	17.3815212
Skewness	1.08998224	Kurtosis	0.33420018
SS non corretta	4225.39	SS corretta	469.301071
Coeff di var	35.9960605	Errore std media	0.78788871

Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	11.58214	Deviazione Std	4.16912
Mediana	10.20000	Varianza	17.38152
Moda	8.60000	Intervallo	15.60000
		Intervallo interquartile	5.25000

NOTE: La modalità visualizzata è quella minore di 3 modalità con un conteggio di 2.

Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-	-----Valore p-----	
T di Student	t 14.70023	Pr >  t	<.0001
dei segni	M 14	Pr >=  M	<.0001
dei segni per ranghi	S 203	Pr >=  S	<.0001

Test di normalità

Test	--Statistica--	-----Valore p-----	
Shapiro-Wilk	W 0.879615	Pr < W	0.0039
Kolmogorov-Smirnov	D 0.179373	Pr > D	0.0210
Cramer-von Mises	W-Sq 0.217004	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq 1.29735	Pr > A-Sq	<0.0050

Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	21.30
99%	21.30
95%	20.20
90%	19.90
75% Q3	13.85
50% Mediana	10.20
25% Q1	8.60
10%	7.80
5%	7.30
1%	5.70
0% Min	5.70

Osservazioni estreme

---Inferiori---		---Superiori---	
Valore	Oss	Valore	Oss
5.7	28	15.9	18
7.3	25	18.3	9
7.8	17	19.9	20
8.0	4	20.2	1
8.1	22	21.3	19

The SAS System 16:21 Wednesday, October 1, 2008 62

La procedura UNIVARIATE

Variabile: logas

Momenti

N	28	Somma dei pesi	28
Media	2.39353703	Somma delle osservazioni	67.0190369
Deviazione Std	0.33320018	Varianza	0.11102236
Skewness	0.48938461	Kurtosis	-0.2926293
SS non corretta	163.41015	SS corretta	2.99760368
Coeff di var	13.9208282	Errore std media	0.06296891

Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	2.393537	Deviazione Std	0.33320
Mediana	2.322388	Varianza	0.11102
Moda	2.151762	Intervallo	1.31824
		Intervallo interquartile	0.47646

NOTE: La modalità visualizzata è quella minore di 3 modalità con un conteggio di 2.

Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-	-----Valore p-----	
T di Student dei segni	t 38.01141	Pr >  t	<.0001
dei segni per ranghi	M 14	Pr >=  M	<.0001
	S 203	Pr >=  S	<.0001

Test di normalità

Test	--Statistica--	-----Valore p-----	
Shapiro-Wilk	W 0.95236	Pr < W	0.2270
Kolmogorov-Smirnov	D 0.120259	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq 0.085707	Pr > W-Sq	0.1721
Anderson-Darling	A-Sq 0.538824	Pr > A-Sq	0.1568

Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	3.05871
99%	3.05871
95%	3.00568
90%	2.99072
75% Q3	2.62823
50% Mediana	2.32239
25% Q1	2.15176
10%	2.05412
5%	1.98787
1%	1.74047
0% Min	1.74047

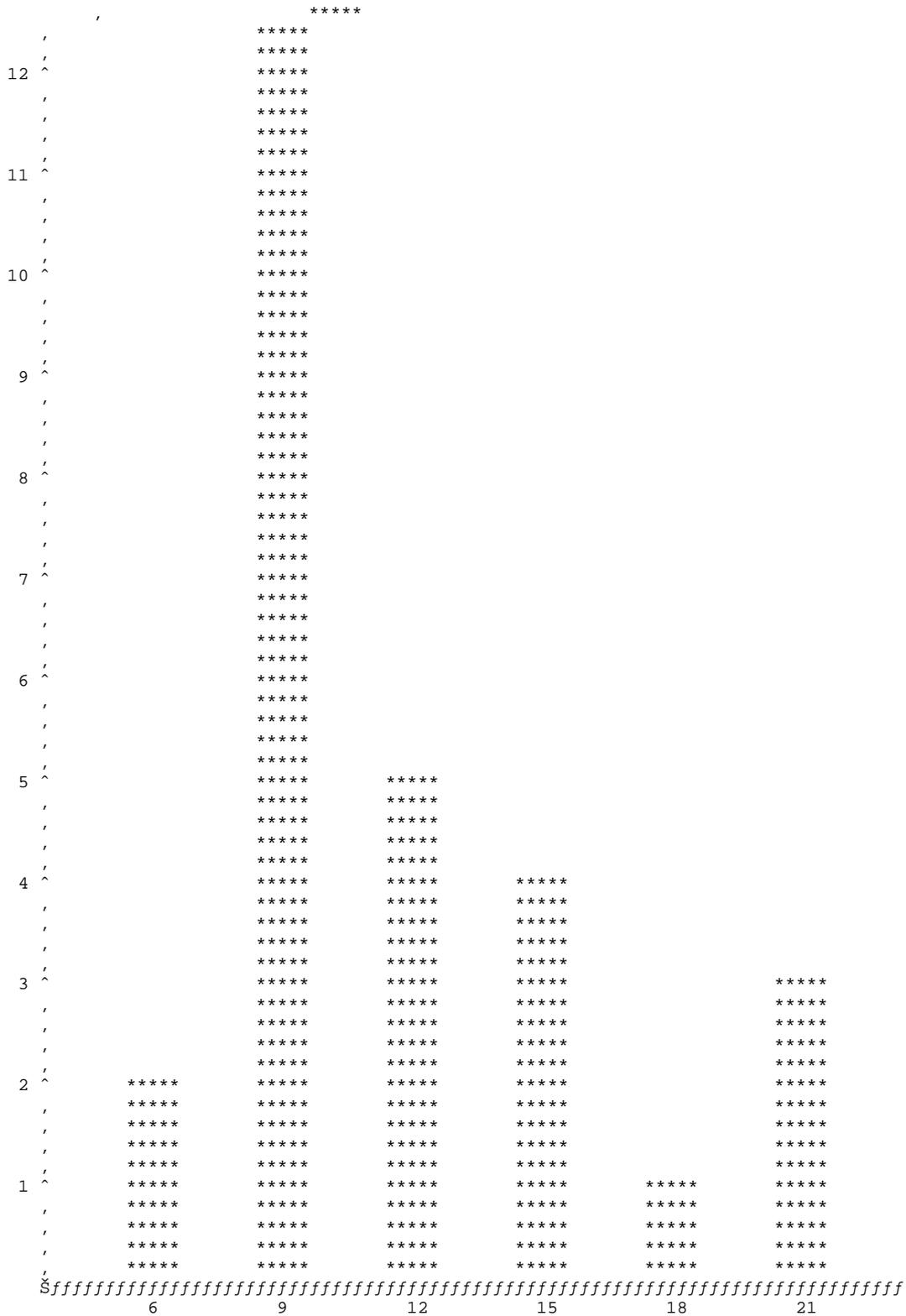
Osservazioni estreme

----Inferiori----		----Superiori----	
Valore	Oss	Valore	Oss
1.74047	28	2.76632	18
1.98787	25	2.90690	9
2.05412	17	2.99072	20
2.07944	4	3.00568	1
2.09186	22	3.05871	19

The SAS System 16:21 Wednesday, October 1, 2008 63

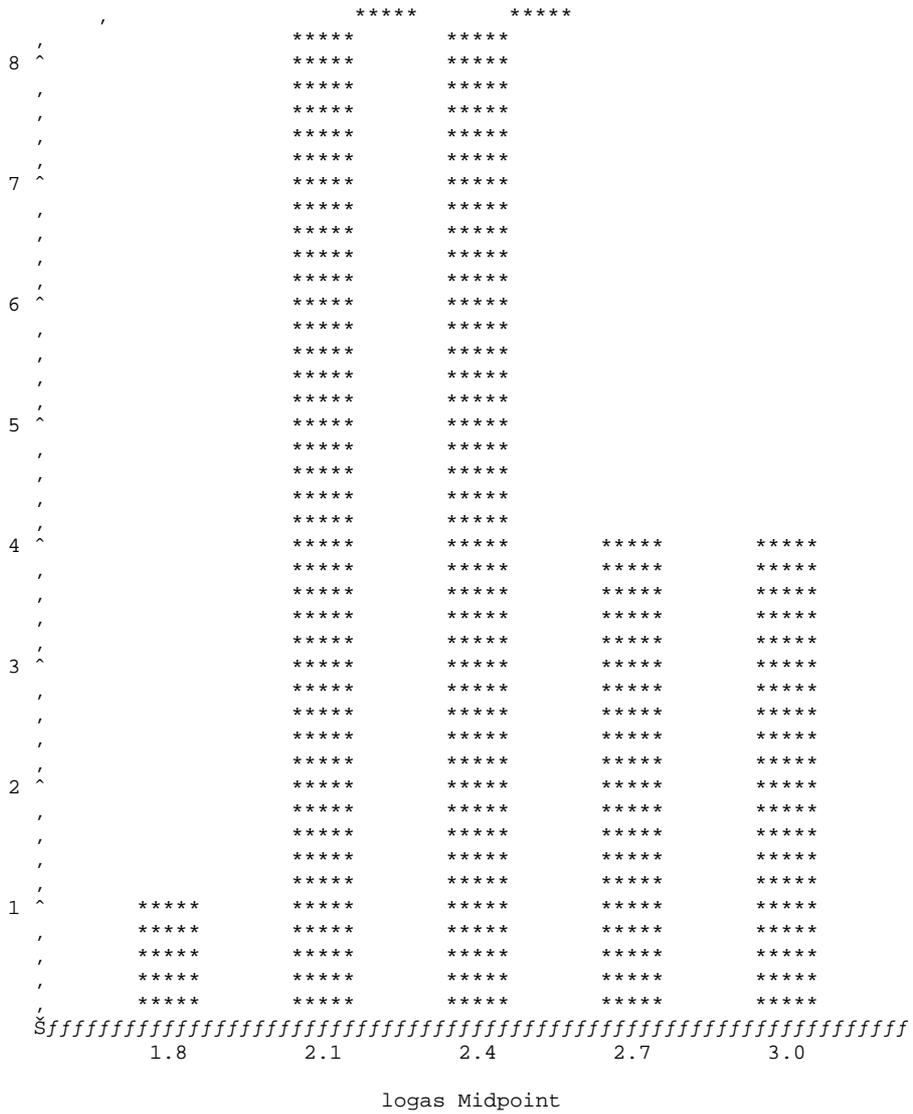
Frequency

13 ^ \*\*\*\*\*  
, \*\*\*\*\*



As Midpoint  
The SAS System 16:21 Wednesday, October 1, 2008 64





La procedura UNIVARIATE  
Variabile: As

Momenti

N	30	Somma dei pesi	30
Media	12.5983333	Somma delle osservazioni	377.95
Deviazione Std	6.74515769	Varianza	45.4971523
Skewness	1.98576055	Kurtosis	4.03347169
SS non corretta	6080.9575	SS corretta	1319.41742
Coeff di var	53.5400796	Errore std media	1.23149167

Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	12.59833	Deviazione Std	6.74516
Mediana	10.50000	Varianza	45.49715
Moda	.	Intervallo	28.20000
		Intervallo interquartile	5.85000

Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-	-----Valore p-----
T di Student	t 10.23014	Pr >  t  <.0001
dei segni	M 15	Pr >=  M  <.0001
dei segni per ranghi	S 232.5	Pr >=  S  <.0001

Test di normalità

Test	--Statistica--	-----Valore p-----
Shapiro-Wilk	W 0.778836	Pr < W <0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D 0.205392	Pr > D <0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq 0.355175	Pr > W-Sq <0.0050
Anderson-Darling	A-Sq 2.134111	Pr > A-Sq <0.0050

Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	33.700
99%	33.700
95%	32.000
90%	21.050
75% Q3	14.100
50% Mediana	10.500
25% Q1	8.250
10%	6.975
5%	6.600
1%	5.500
0% Min	5.500

Osservazioni estreme

---Inferiori---		---Superiori---	
Valore	Oss	Valore	Oss
5.50	30	17.8	1
6.60	24	20.7	22
6.65	18	21.4	20
7.30	27	32.0	21
7.45	8	33.7	10

La procedura UNIVARIATE  
Variabile: logas

Momenti

N	30	Somma dei pesi	30
Media	2.4298308	Somma delle osservazioni	72.894924
Deviazione Std	0.43761156	Varianza	0.19150388
Skewness	0.87639995	Kurtosis	0.67024111
SS non corretta	182.675944	SS corretta	5.55361253
Coeff di var	18.0099603	Errore std media	0.07989657

Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	2.429831	Deviazione Std	0.43761
Mediana	2.351194	Varianza	0.19150
Moda	.	Intervallo	1.81275
		Intervallo interquartile	0.53596

Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-		-----Valore p-----
T di Student	t	30.4122	Pr >  t  <.0001
dei segni	M	15	Pr >=  M  <.0001
dei segni per ranghi	S	232.5	Pr >=  S  <.0001

Test di normalità

Test	--Statistica--		-----Valore p-----
Shapiro-Wilk	W	0.943352	Pr < W 0.1120
Kolmogorov-Smirnov	D	0.108222	Pr > D >0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq	0.076663	Pr > W-Sq 0.2268
Anderson-Darling	A-Sq	0.527383	Pr > A-Sq 0.1710

Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	3.51750
99%	3.51750
95%	3.46574
90%	3.04676
75% Q3	2.64617
50% Mediana	2.35119
25% Q1	2.11021
10%	1.94125
5%	1.88707
1%	1.70475
0% Min	1.70475

Osservazioni estreme

----Inferiori----		----Superiori----	
Valore	Oss	Valore	Oss
1.70475	30	2.87920	1
1.88707	24	3.03013	22
1.89462	18	3.06339	20
1.98787	27	3.46574	21
2.00821	8	3.51750	10

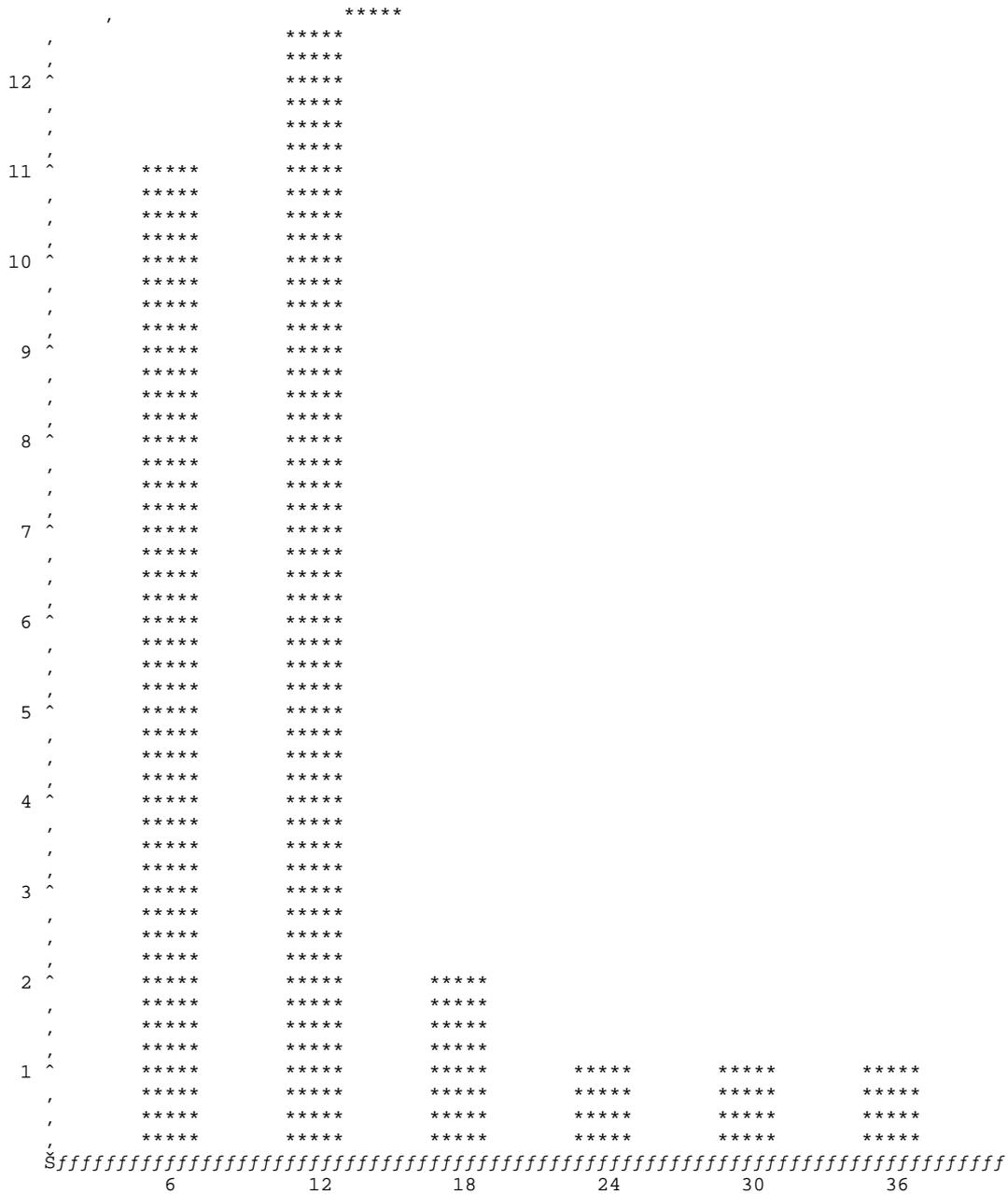
The SAS System 16:21 Wednesday, October 1, 2008 67

Frequency

```

14 ^      *****
    ,      *****
    ,      *****
    ,      *****
13 ^      *****

```





La procedura UNIVARIATE  
Variabile: As

Momenti

N	30	Somma dei pesi	30
Media	18.22	Somma delle osservazioni	546.6
Deviazione Std	12.7977746	Varianza	163.783034
Skewness	1.73830302	Kurtosis	3.23275825
SS non corretta	14708.76	SS corretta	4749.708
Coeff di var	70.2402557	Errore std media	2.33654328

Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	18.22000	Deviazione Std	12.79777
Mediana	14.85000	Varianza	163.78303
Moda	6.70000	Intervallo	53.60000
		Intervallo interquartile	12.60000

NOTE: La modalità visualizzata è quella minore di 2 modalità con un conteggio di 2.

Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-	-----Valore p-----	
T di Student	t 7.797844	Pr >  t	<.0001
dei segni	M 15	Pr >=  M	<.0001
dei segni per ranghi	S 232.5	Pr >=  S	<.0001

Test di normalità

Test	--Statistica--	-----Valore p-----	
Shapiro-Wilk	W 0.826553	Pr < W	0.0002
Kolmogorov-Smirnov	D 0.189099	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq 0.252851	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq 1.574393	Pr > A-Sq	<0.0050

Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	57.80
99%	57.80
95%	52.70
90%	32.90
75% Q3	22.10
50% Mediana	14.85
25% Q1	9.50
10%	6.70
5%	4.50
1%	4.20
0% Min	4.20

Osservazioni estreme

---Inferiori---		---Superiori---	
Valore	Oss	Valore	Oss
4.2	25	31.8	21
4.5	30	32.4	23
6.7	26	33.4	16
6.7	18	52.7	9
7.1	5	57.8	28

La procedura UNIVARIATE  
Variabile: logas

Momenti

N	30	Somma dei pesi	30
Media	2.69891531	Somma delle osservazioni	80.9674592
Deviazione Std	0.64673186	Varianza	0.4182621
Skewness	0.09207183	Kurtosis	-0.1285718
SS non corretta	230.653916	SS corretta	12.129601
Coeff di var	23.9626587	Errore std media	0.11807654

Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	2.698915	Deviazione Std	0.64673
Mediana	2.697994	Varianza	0.41826
Moda	1.902108	Intervallo	2.62190
		Intervallo interquartile	0.84429

NOTE: La modalità visualizzata è quella minore di 2 modalità con un conteggio di 2.

Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-	-----Valore p-----
T di Student	t 22.85734	Pr >  t  <.0001
dei segni	M 15	Pr >=  M  <.0001
dei segni per ranghi	S 232.5	Pr >=  S  <.0001

Test di normalità

Test	--Statistica--	-----Valore p-----
Shapiro-Wilk	W 0.984021	Pr < W 0.9194
Kolmogorov-Smirnov	D 0.074156	Pr > D >0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq 0.02302	Pr > W-Sq >0.2500
Anderson-Darling	A-Sq 0.165922	Pr > A-Sq >0.2500

Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	4.05699
99%	4.05699
95%	3.96462
90%	3.49336
75% Q3	3.09558
50% Mediana	2.69799
25% Q1	2.25129
10%	1.90211
5%	1.50408
1%	1.43508
0% Min	1.43508

Osservazioni estreme

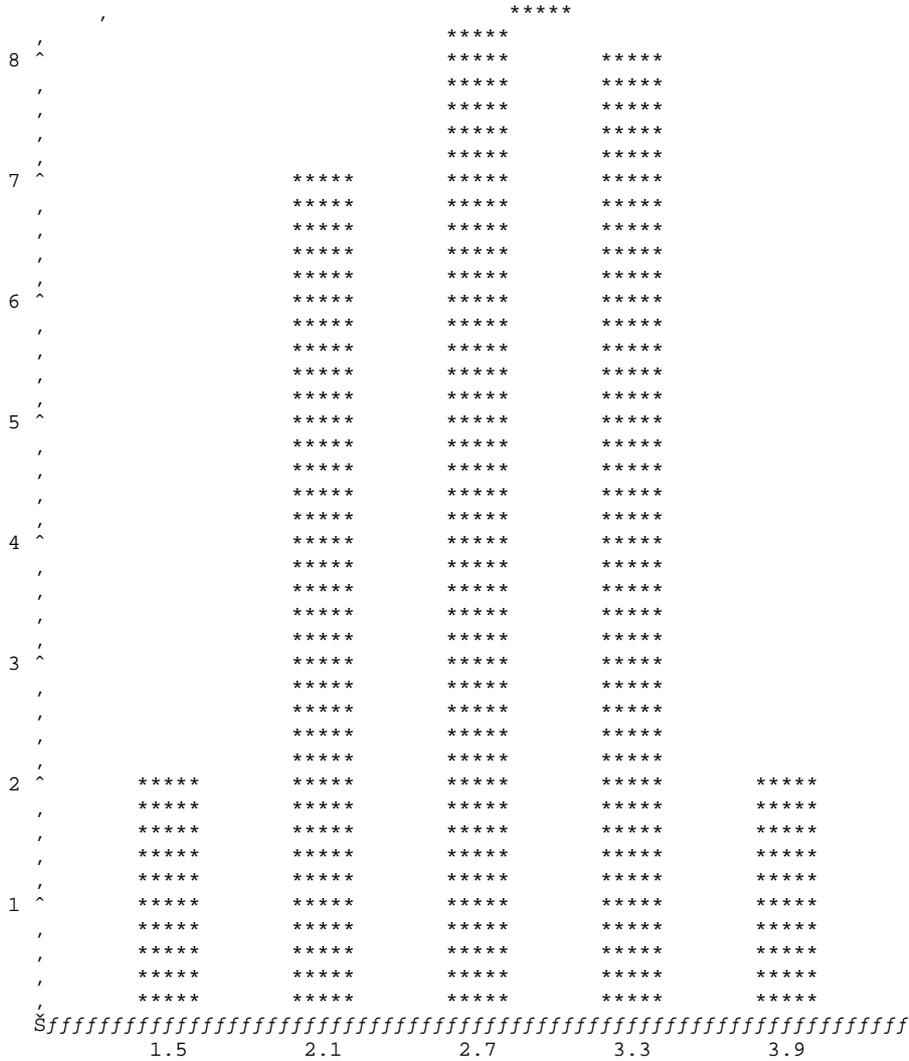
----Inferiori----		----Superiori----	
Valore	Oss	Valore	Oss
1.43508	25	3.45947	21
1.50408	30	3.47816	23
1.90211	26	3.50856	16
1.90211	18	3.96462	9
1.96009	5	4.05699	28

The SAS System 13:22 Monday, September 22, 2008 149

Frequency

14 ^ \*\*\*\*\*





§ff

logas Midpoint  
The SAS System 13:22 Monday, September 22, 2008 151

Oss	as1	as5	as10	as25	as50	as75	as90	as95	as99	logas1	logas5
1	4.2	4.5	6.7	9.5	14.85	22.1	32.9	52.7	57.8	1.43508	1.50408

Oss	logas10	logas25	logas50	logas75	logas90	logas95	logas99
1	1.90211	2.25129	2.69799	3.09558	3.49336	3.96462	4.05699

The SAS System 13:22 Monday, September 22, 2008 152

Oss	per	probi
1	0.01	-2.32635
2	0.05	-1.64485
3	0.10	-1.28155
4	0.25	-0.67449
5	0.50	-0.00000
6	0.75	0.67449
7	0.90	1.28155
8	0.95	1.64485
9	0.99	2.32635

ELABORAZIONE\_DATI\_BERILLIO\_TOP SOIL

The SAS System 16:21 Wednesday, October 1, 2008 73

La procedura UNIVARIATE  
Variabile: Be

Momenti

N	31	Somma dei pesi	31
Media	1.49032258	Somma delle osservazioni	46.2
Deviazione Std	0.61120364	Varianza	0.37356989
Skewness	1.02317467	Kurtosis	1.9892036
SS non corretta	80.06	SS corretta	11.2070968
Coeff di var	41.0114998	Errore std media	0.10977541

Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	1.490323	Deviazione Std	0.61120
Mediana	1.500000	Varianza	0.37357
Moda	0.700000	Intervallo	2.80000
		Intervallo interquartile	0.80000

NOTE: La modalità visualizzata è quella minore di 4 modalità con un conteggio di 3.

Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-	-----Valore p-----	
T di Student	t 13.57611	Pr >  t	<.0001
dei segni	M 15.5	Pr >=  M	<.0001
dei segni per ranghi	S 248	Pr >=  S	<.0001

Test di normalità

Test	--Statistica--	-----Valore p-----	
Shapiro-Wilk	W 0.932505	Pr < W	0.0513
Kolmogorov-Smirnov	D 0.105397	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq 0.048157	Pr > W-Sq	>0.2500
Anderson-Darling	A-Sq 0.440107	Pr > A-Sq	>0.2500

Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	3.4
99%	3.4
95%	2.7
90%	2.0
75% Q3	1.9
50% Mediana	1.5
25% Q1	1.1
10%	0.7
5%	0.7
1%	0.6
0% Min	0.6

Osservazioni estreme

---Inferiori---		---Superiori---	
Valore	Oss	Valore	Oss
0.6	25	2.0	19
0.7	30	2.0	27
0.7	8	2.2	26
0.7	3	2.7	24
0.8	31	3.4	10

The SAS System 16:21 Wednesday, October 1, 2008 74

La procedura UNIVARIATE  
Variabile: logbe

Momenti

N	31	Somma dei pesi	31
Media	0.88503756	Somma delle osservazioni	27.4361642
Deviazione Std	0.23575762	Varianza	0.05558165
Skewness	0.24520942	Kurtosis	0.15247219
SS non corretta	25.9494854	SS corretta	1.66744964
Coeff di var	26.6381485	Errore std media	0.04234332

Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	0.885038	Deviazione Std	0.23576
Mediana	0.916291	Varianza	0.05558
Moda	0.530628	Intervallo	1.01160
		Intervallo interquartile	0.32277

NOTE: La modalità visualizzata è quella minore di 4 modalità con un conteggio di 3.

Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-	-----Valore p-----
T di Student	t 20.90147	Pr >  t  <.0001
dei segni	M 15.5	Pr >=  M  <.0001
dei segni per ranghi	S 248	Pr >=  S  <.0001

Test di normalità

Test	--Statistica--	-----Valore p-----
Shapiro-Wilk	W 0.974044	Pr < W 0.6360
Kolmogorov-Smirnov	D 0.085718	Pr > D >0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq 0.029853	Pr > W-Sq >0.2500
Anderson-Darling	A-Sq 0.249944	Pr > A-Sq >0.2500

Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	1.481605
99%	1.481605
95%	1.308333
90%	1.098612
75% Q3	1.064711
50% Mediana	0.916291
25% Q1	0.741937
10%	0.530628
5%	0.530628
1%	0.470004
0% Min	0.470004

Osservazioni estreme

-----Inferiori-----		----Superiori----	
Valore	Oss	Valore	Oss
0.470004	25	1.09861	19
0.530628	30	1.09861	27
0.530628	8	1.16315	26
0.530628	3	1.30833	24
0.587787	31	1.48160	10

The SAS System 16:21 Wednesday, October 1, 2008 75

Frequency

12 ^ \*\*\*\*\*





ELABORAZIONE\_DATI\_BERILLIO\_SUOLO\_SUPERFICIALE

The SAS System 19:11 Monday, September 22, 2008 1

La procedura UNIVARIATE  
Variabile: Be

Momenti

N	31	Somma dei pesi	31
Media	1.52580645	Somma delle osservazioni	47.3
Deviazione Std	0.61044669	Varianza	0.37264516
Skewness	0.60148791	Kurtosis	-0.6440425
SS non corretta	83.35	SS corretta	11.1793548
Coeff di var	40.008134	Errore std media	0.10963946

Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	1.525806	Deviazione Std	0.61045
Mediana	1.300000	Varianza	0.37265
Moda	1.200000	Intervallo	2.10000
		Intervallo interquartile	0.90000

NOTE: La modalità visualizzata è quella minore di 3 modalità con un conteggio di 4.

Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-	-----Valore p-----
T di Student	t 13.91658	Pr >  t  <.0001
dei segni	M 15.5	Pr >=  M  <.0001
dei segni per ranghi	S 248	Pr >=  S  <.0001

Test di normalità

Test	--Statistica--	-----Valore p-----
Shapiro-Wilk	W 0.918932	Pr < W 0.0221
Kolmogorov-Smirnov	D 0.194543	Pr > D <0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq 0.178626	Pr > W-Sq 0.0092
Anderson-Darling	A-Sq 0.954121	Pr > A-Sq 0.0151

Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	2.8
99%	2.8
95%	2.7
90%	2.5
75% Q3	2.0
50% Mediana	1.3
25% Q1	1.1
10%	0.9
5%	0.7
1%	0.7
0% Min	0.7

Osservazioni estreme

---Inferiori---		---Superiori---	
Valore	Oss	Valore	Oss
0.7	25	2.1	10
0.7	17	2.5	26
0.7	3	2.6	27
0.9	23	2.7	24
0.9	2	2.8	20

The SAS System 19:11 Monday, September 22, 2008 2

La procedura UNIVARIATE  
Variabile: logbe

Momenti

N	31	Somma dei pesi	31
Media	0.34496194	Somma delle osservazioni	10.6938202
Deviazione Std	0.40318736	Varianza	0.16256004
Skewness	-0.016231	Kurtosis	-0.8588848
SS non corretta	8.56576232	SS corretta	4.87680133
Coeff di var	116.878793	Errore std media	0.07241459

Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	0.344962	Deviazione Std	0.40319
Mediana	0.262364	Varianza	0.16256
Moda	0.182322	Intervallo	1.38629
		Intervallo interquartile	0.59784

NOTE: La modalità visualizzata è quella minore di 3 modalità con un conteggio di 4.

Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-	-----Valore p-----	
T di Student	t 4.763708	Pr >  t	<.0001
dei segni	M 9.5	Pr >=  M	0.0005
dei segni per ranghi	S 162.5	Pr >=  S	<.0001

Test di normalità

Test	--Statistica--	-----Valore p-----	
Shapiro-Wilk	W 0.950137	Pr < W	0.1575
Kolmogorov-Smirnov	D 0.156342	Pr > D	0.0515
Cramer-von Mises	W-Sq 0.095257	Pr > W-Sq	0.1277
Anderson-Darling	A-Sq 0.53959	Pr > A-Sq	0.1578

Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	1.0296194
99%	1.0296194
95%	0.9932518
90%	0.9162907
75% Q3	0.6931472
50% Mediana	0.2623643
25% Q1	0.0953102
10%	-0.1053605
5%	-0.3566749
1%	-0.3566749
0% Min	-0.3566749

Osservazioni estreme

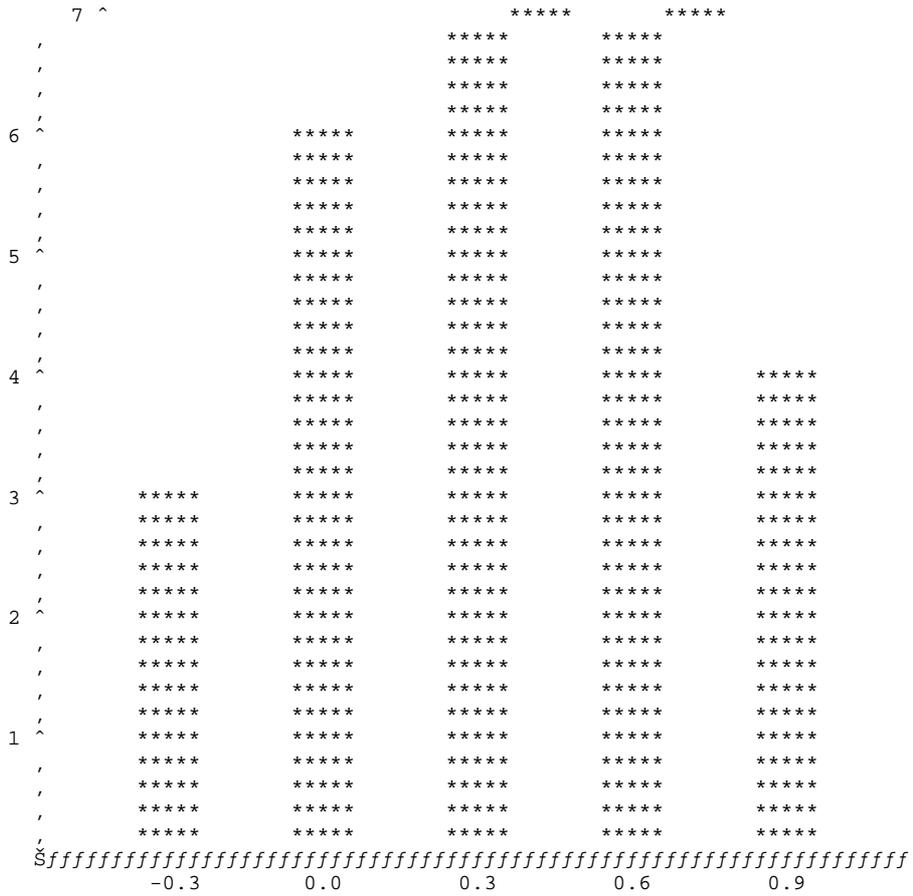
-----Inferiori----		-----Superiori----	
Valore	Oss	Valore	Oss
-0.356675	25	0.741937	10
-0.356675	17	0.916291	26
-0.356675	3	0.955511	27
-0.105361	23	0.993252	24
-0.105361	2	1.029619	20

The SAS System 19:11 Monday, September 22, 2008 3

Frequency

14 ^ \*\*\*\*\*





logbe Midpoint  
The SAS System 19:11 Monday, September 22, 2008 5

Oss	as1	as5	as10	as25	as50	as75	as90	as95	as99	logas1	logas5
1	0.7	0.7	0.9	1.1	1.3	2	2.5	2.7	2.8	-0.35667	-0.35667
Oss	logas10	logas25	logas50	logas75	logas90	logas95	logas99				
1	-0.10536	0.095310	0.26236	0.69315	0.91629	0.99325	1.02962				

ELABORAZIONE\_DATI\_BERILLIO\_TOP SOIL - SUOLO SUPERFICIALE

The SAS System 16:21 Wednesday, October 1, 2008 53

La procedura UNIVARIATE  
Variabile: Be

Momenti

N	31	Somma dei pesi	31
Media	1.50806452	Somma delle osservazioni	46.75
Deviazione Std	0.55932948	Varianza	0.31284946
Skewness	0.62204351	Kurtosis	-0.3377644
SS non corretta	79.8875	SS corretta	9.38548387
Coeff di var	37.0892273	Errore std media	0.10045854

Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	1.508065	Deviazione Std	0.55933
Mediana	1.400000	Varianza	0.31285
Moda	1.150000	Intervallo	2.10000
		Intervallo interquartile	0.90000

Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-	-----Valore p-----
T di Student	t 15.01181	Pr >  t  <.0001
dei segni	M 15.5	Pr >=  M  <.0001
dei segni per ranghi	S 248	Pr >=  S  <.0001

Test di normalità

Test	--Statistica--	-----Valore p-----
Shapiro-Wilk	W 0.949353	Pr < W 0.1498
Kolmogorov-Smirnov	D 0.128461	Pr > D >0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq 0.0853	Pr > W-Sq 0.1754
Anderson-Darling	A-Sq 0.521445	Pr > A-Sq 0.1783

Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	2.75
99%	2.75
95%	2.70
90%	2.30
75% Q3	1.95
50% Mediana	1.40
25% Q1	1.05
10%	0.95
5%	0.70
1%	0.65
0% Min	0.65

Osservazioni estreme

---Inferiori---		---Superiori---	
Valore	Oss	Valore	Oss
0.65	25	2.15	20
0.70	3	2.30	27
0.90	17	2.35	26
0.95	14	2.70	24
0.95	8	2.75	10

The SAS System 16:21 Wednesday, October 1, 2008 54

La procedura UNIVARIATE  
Variabile: logbe

Momenti

N	31	Somma dei pesi	31
Media	0.8962642	Somma delle osservazioni	27.7841901
Deviazione Std	0.21784527	Varianza	0.04745656
Skewness	0.22823246	Kurtosis	-0.6878633
SS non corretta	26.3256717	SS corretta	1.42369688
Coeff di var	24.3059215	Errore std media	0.03912617

Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	0.896264	Deviazione Std	0.21785
Mediana	0.875469	Varianza	0.04746
Moda	0.765468	Intervallo	0.82098
		Intervallo interquartile	0.36397

Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-	-----Valore p-----
T di Student	t 22.90703	Pr >  t  <.0001
dei segni	M 15.5	Pr >=  M  <.0001
dei segni per ranghi	S 248	Pr >=  S  <.0001

Test di normalità

Test	--Statistica--	-----Valore p-----
Shapiro-Wilk	W 0.973928	Pr < W 0.6325
Kolmogorov-Smirnov	D 0.109012	Pr > D >0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq 0.044901	Pr > W-Sq >0.2500
Anderson-Darling	A-Sq 0.272182	Pr > A-Sq >0.2500

Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	1.321756
99%	1.321756
95%	1.308333
90%	1.193922
75% Q3	1.081805
50% Mediana	0.875469
25% Q1	0.717840
10%	0.667829
5%	0.530628
1%	0.500775
0% Min	0.500775

Osservazioni estreme

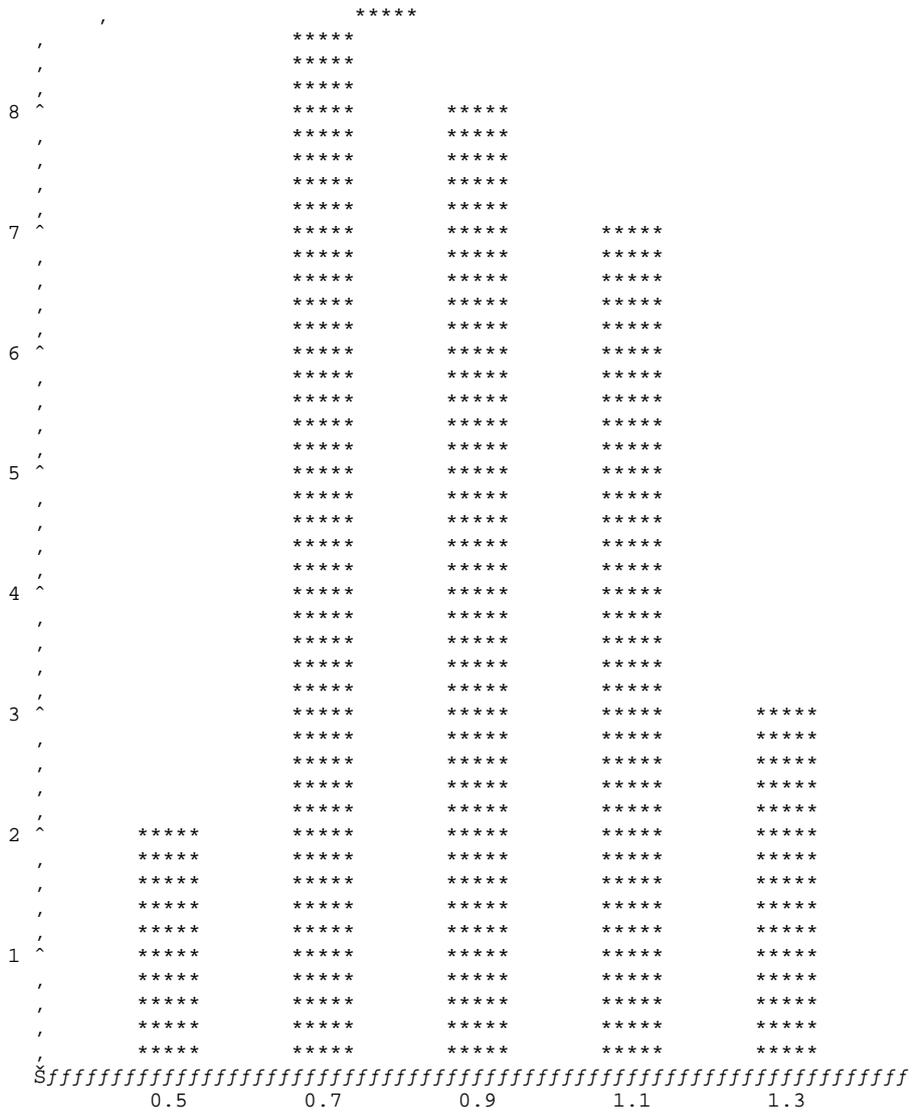
-----Inferiori-----		----Superiori----	
Valore	Oss	Valore	Oss
0.500775	25	1.14740	20
0.530628	3	1.19392	27
0.641854	17	1.20896	26
0.667829	14	1.30833	24
0.667829	8	1.32176	10

The SAS System 16:21 Wednesday, October 1, 2008 55

Frequency

13 ^	*****
,	*****
,	*****
,	*****
,	*****
12 ^	*****





ELABORAZIONE\_DATI\_BERILLIO\_SOTTOSUOLO

The SAS System 16:21 Wednesday, October 1, 2008 21

La procedura UNIVARIATE  
Variabile: Be

Momenti

N	30	Somma dei pesi	30
Media	0.64833333	Somma delle osservazioni	19.45
Deviazione Std	0.39533559	Varianza	0.15629023
Skewness	0.67361698	Kurtosis	-0.7881205
SS non corretta	17.1425	SS corretta	4.53241667
Coeff di var	60.9772121	Errore std media	0.07217807

Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	0.648333	Deviazione Std	0.39534
Mediana	0.550000	Varianza	0.15629
Moda	0.200000	Intervallo	1.20000
		Intervallo interquartile	0.70000

NOTE: La modalità visualizzata è quella minore di 2 modalità con un conteggio di 5.

Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-	-----Valore p-----
T di Student	t 8.982414	Pr >  t  <.0001
dei segni	M 15	Pr >=  M  <.0001
dei segni per ranghi	S 232.5	Pr >=  S  <.0001

Test di normalità

Test	--Statistica--	-----Valore p-----
Shapiro-Wilk	W 0.884738	Pr < W 0.0036
Kolmogorov-Smirnov	D 0.181343	Pr > D 0.0129
Cramer-von Mises	W-Sq 0.187471	Pr > W-Sq 0.0073
Anderson-Darling	A-Sq 1.167031	Pr > A-Sq <0.0050

Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	1.40
99%	1.40
95%	1.40
90%	1.30
75% Q3	1.00
50% Mediana	0.55
25% Q1	0.30
10%	0.20
5%	0.20
1%	0.20
0% Min	0.20

Osservazioni estreme

---Inferiori---		---Superiori---	
Valore	Oss	Valore	Oss
0.2	16	1.2	27
0.2	14	1.3	23
0.2	11	1.3	29
0.2	2	1.4	6
0.2	1	1.4	24

The SAS System 16:21 Wednesday, October 1, 2008 22

La procedura UNIVARIATE  
Variabile: logbe

Momenti

N	30	Somma dei pesi	30
Media	0.47334669	Somma delle osservazioni	14.2004007
Deviazione Std	0.2310707	Varianza	0.05339367
Skewness	0.3989438	Kurtosis	-1.0375968
SS non corretta	8.27012905	SS corretta	1.54841634
Coeff di var	48.8163752	Errore std media	0.04218754

Misure statistiche di base

Posizione		Variabilità	
Media	0.473347	Deviazione Std	0.23107
Mediana	0.437734	Varianza	0.05339
Moda	0.182322	Intervallo	0.69315
		Intervallo interquartile	0.43078

NOTE: La modalità visualizzata è quella minore di 2 modalità con un conteggio di 5.

Test di locazione: Mu0=0

Test	-Statistica-	-----Valore p-----
T di Student	t 11.22006	Pr >  t  <.0001
dei segni	M 15	Pr >=  M  <.0001
dei segni per ranghi	S 232.5	Pr >=  S  <.0001

Test di normalità

Test	--Statistica--	-----Valore p-----
Shapiro-Wilk	W 0.909729	Pr < W 0.0146
Kolmogorov-Smirnov	D 0.135441	Pr > D >0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq 0.115859	Pr > W-Sq 0.0687
Anderson-Darling	A-Sq 0.819614	Pr > A-Sq 0.0314

Quantili (Definizione 5)

Quantile	Stima
100% Max	0.875469
99%	0.875469
95%	0.875469
90%	0.832909
75% Q3	0.693147
50% Mediana	0.437734
25% Q1	0.262364
10%	0.182322
5%	0.182322
1%	0.182322
0% Min	0.182322

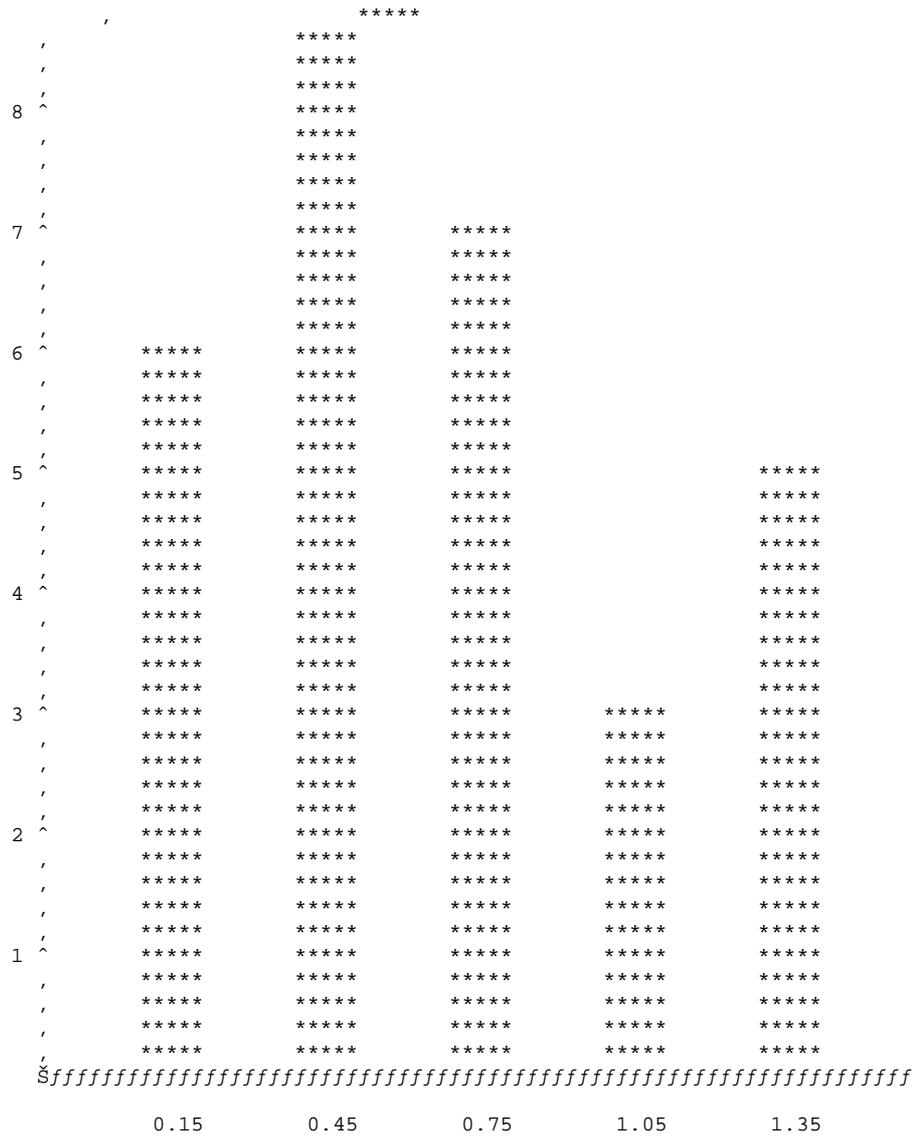
Osservazioni estreme

-----Inferiori----		-----Superiori----	
Valore	Oss	Valore	Oss
0.182322	16	0.788457	27
0.182322	14	0.832909	23
0.182322	11	0.832909	29
0.182322	2	0.875469	6
0.182322	1	0.875469	24

The SAS System 16:21 Wednesday, October 1, 2008 23

Frequency

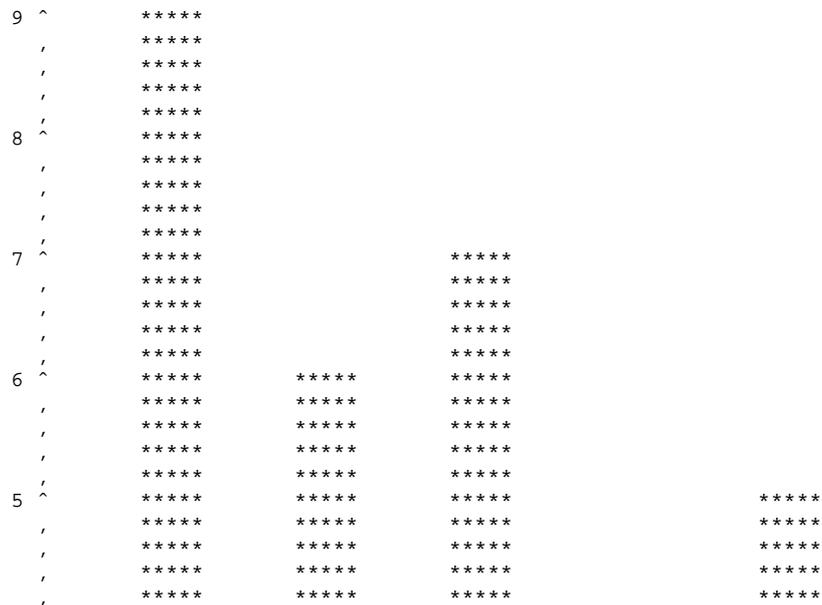
9 ^ \*\*\*\*\*

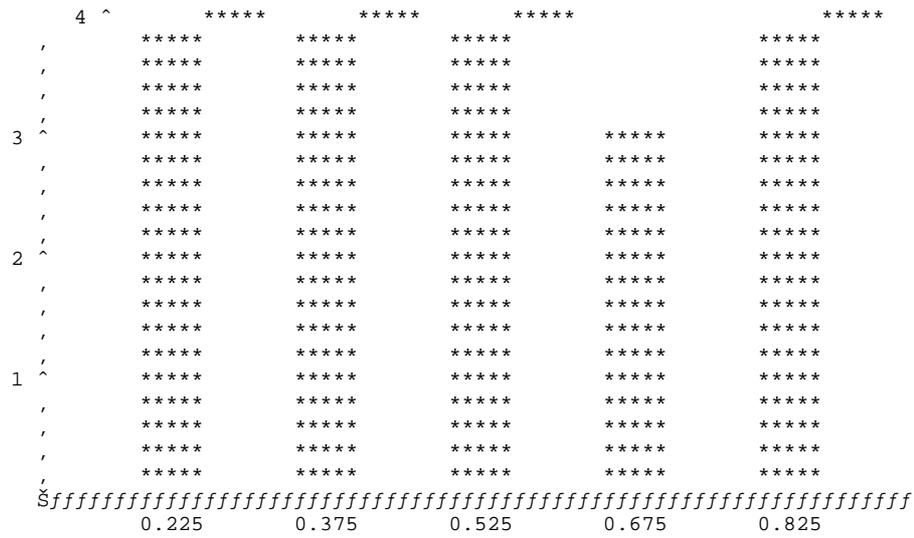


Be Midpoint  
The SAS System

16:21 Wednesday, October 1, 2008 24

Frequency





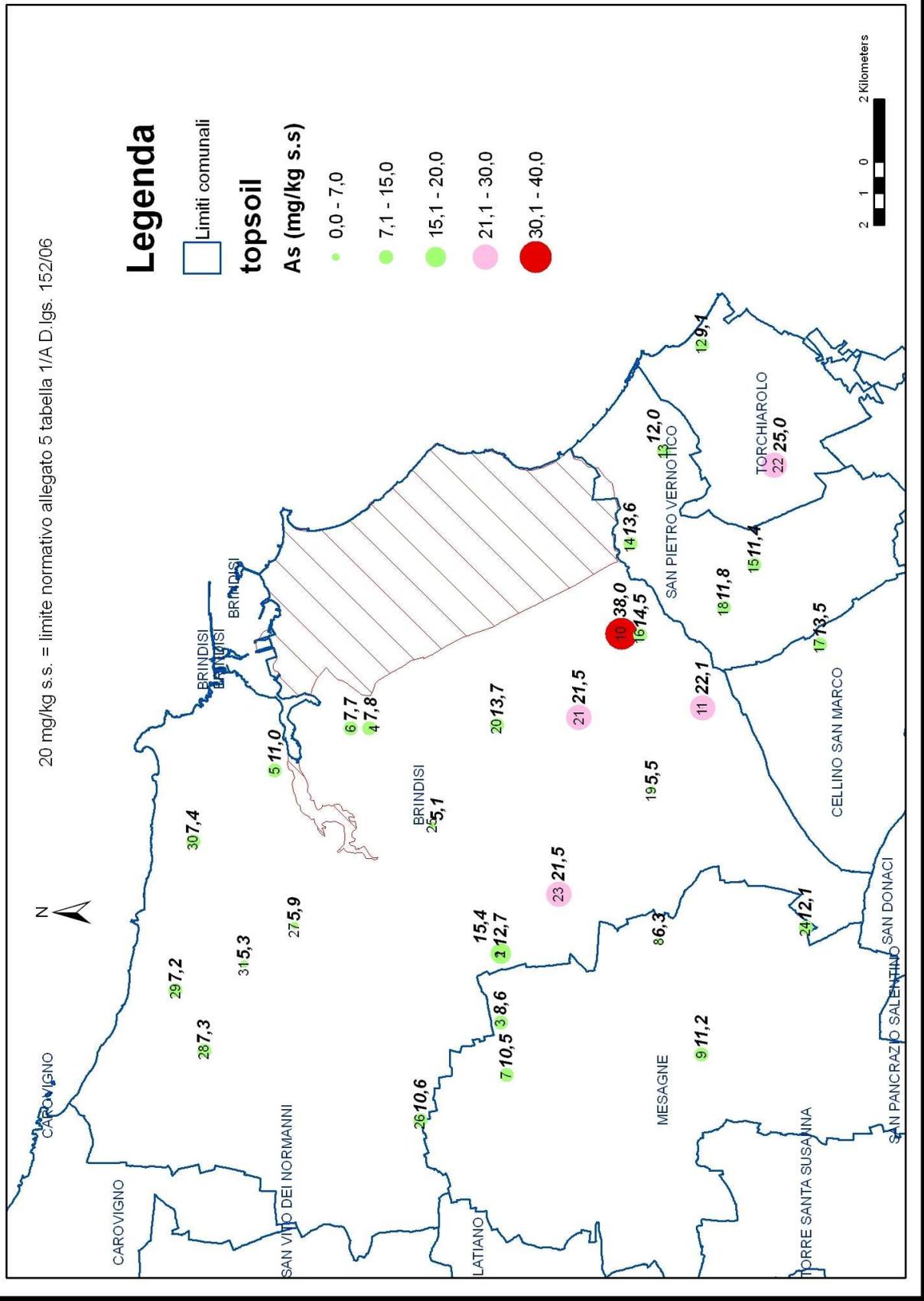
logbe Midpoint

**ALLEGATO 2: Rappresentazione Grafica Valori As - Be**

# Fondo Naturale Brindisi

## Arsenico - topsoil (0-0,1metri)

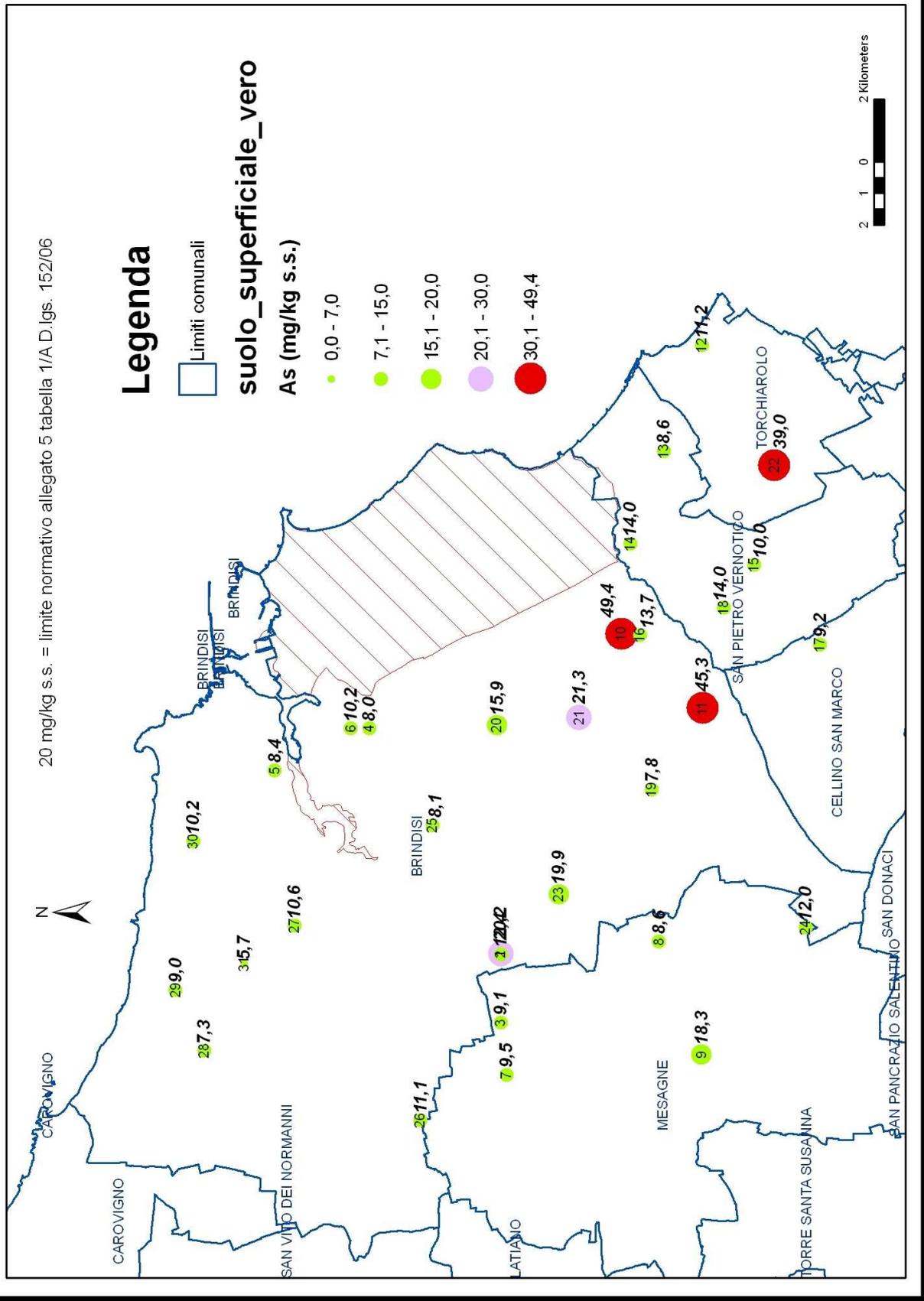
20 mg/kg s.s. = limite normativo allegato 5 tabella 1/A D.lgs. 152/06



# Fondo Naturale Brindisi

## Arsenico - suolo superficiale (0-1 metri)

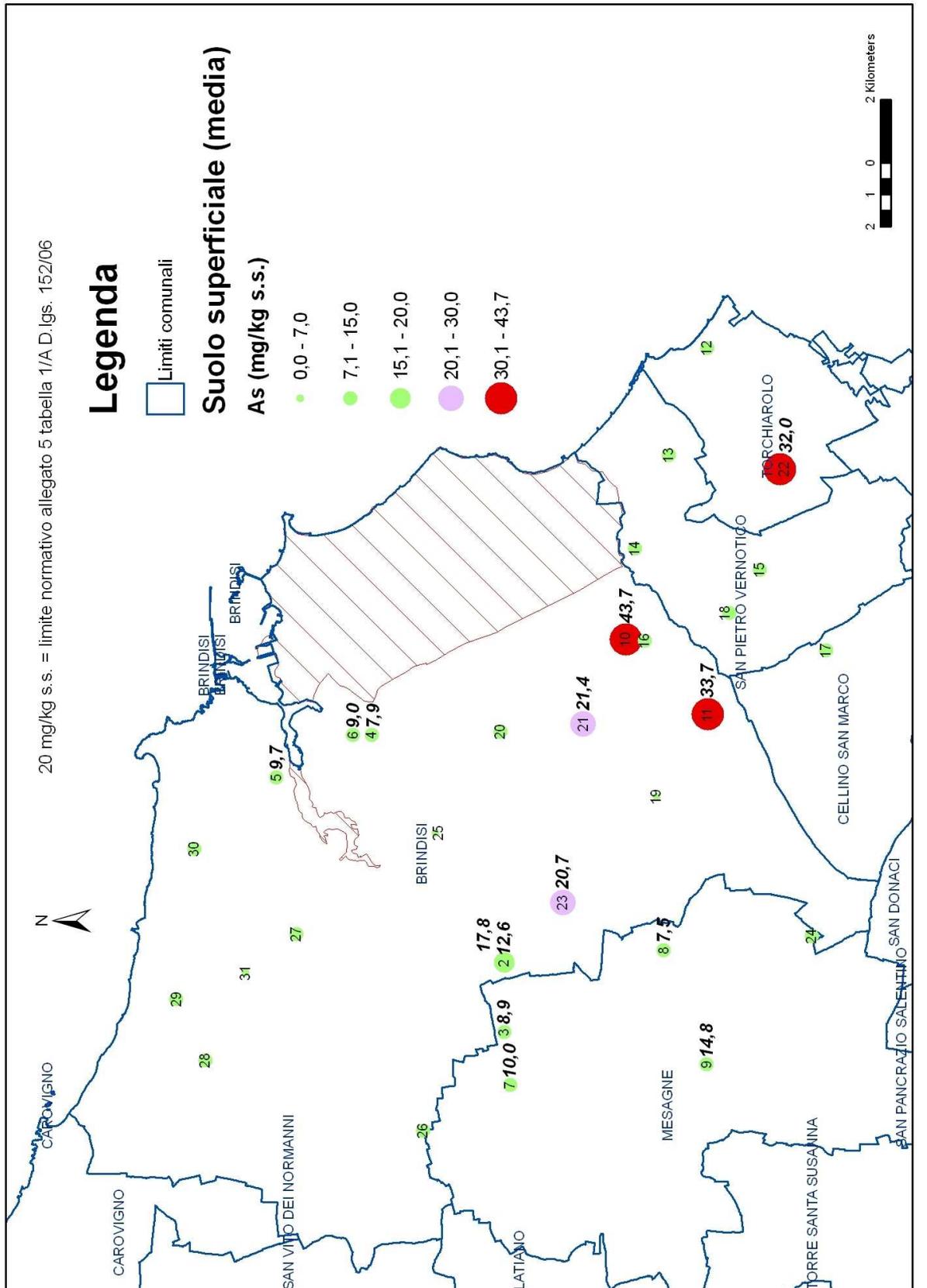
20 mg/kg s.s. = limite normativo allegato 5 tabella 1/A D.lgs. 152/06



## Fondo Naturale Brindisi

### Arsenico - suolo superficiale (media 0,0-0,1m e 0-1m)

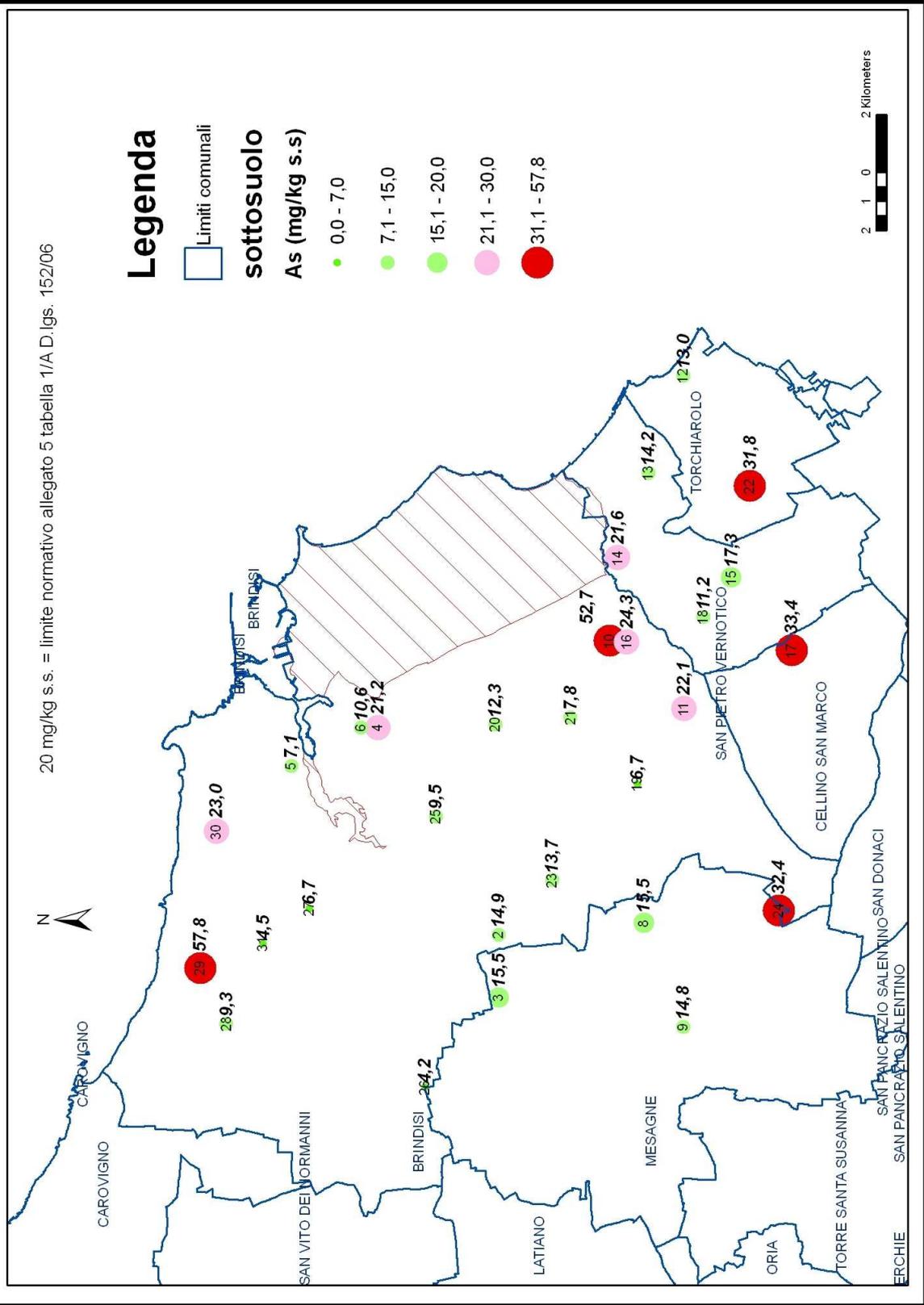
20 mg/kg s.s. = limite normativo allegato 5 tabella 1/A D.lgs. 152/06



# Fondo Naturale Brindisi

## Arsenico - sottosuolo (1-6 metri)

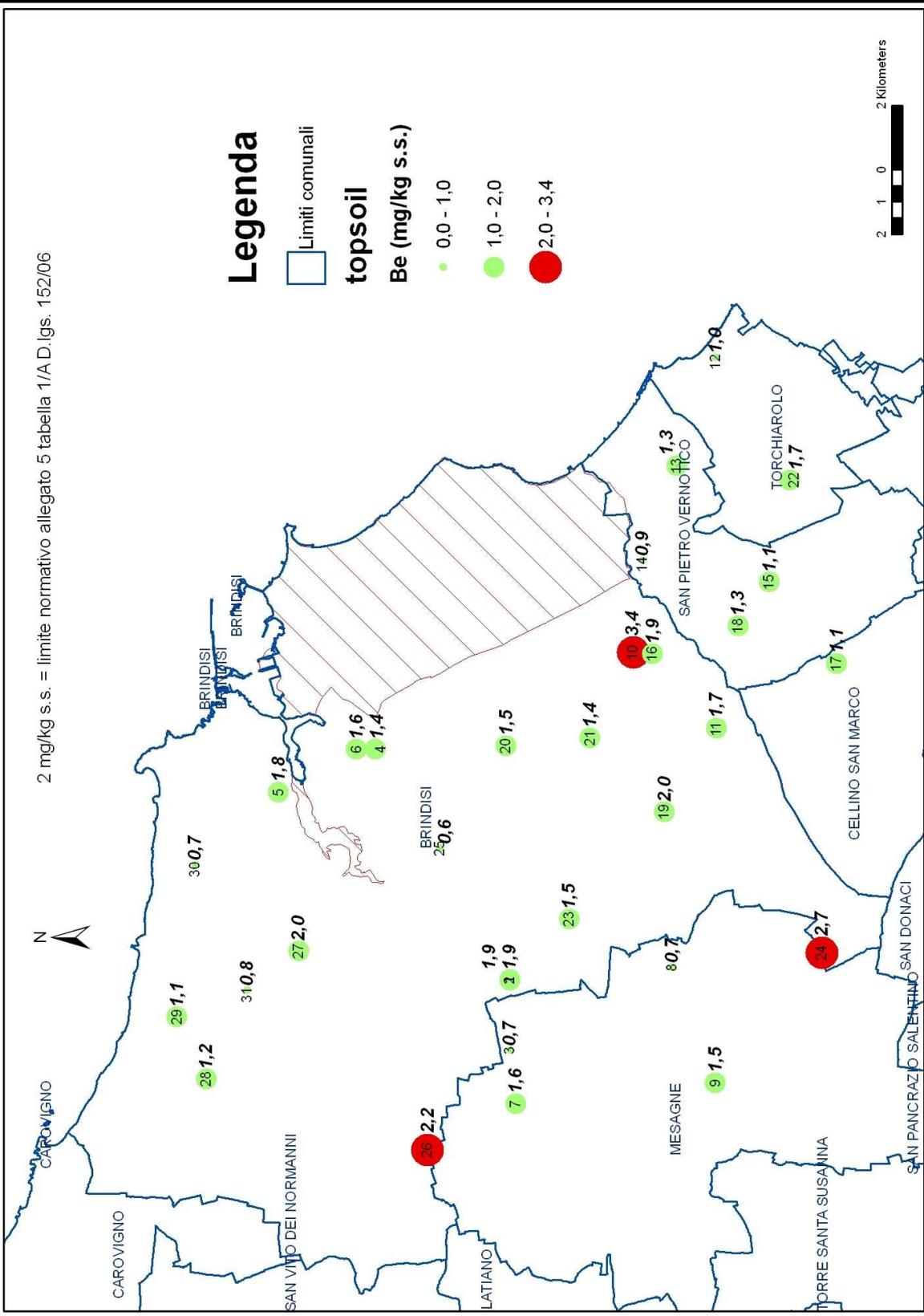
20 mg/kg s.s. = limite normativo allegato 5 tabella 1/A D.lgs. 152/06



# Fondo Naturale Brindisi

## Berillio - topsoil (0-0,1metri)

2 mg/kg s.s. = limite normativo allegato 5 tabella 1/A D.lgs. 152/06



# Fondo Naturale Brindisi

## Berillio - suolo superficiale (0-1 metri)

2 mg/kg s.s. = limite normativo allegato 5 tabella 1/A D.lgs. 152/06

### Legenda

□ Limiti comunali

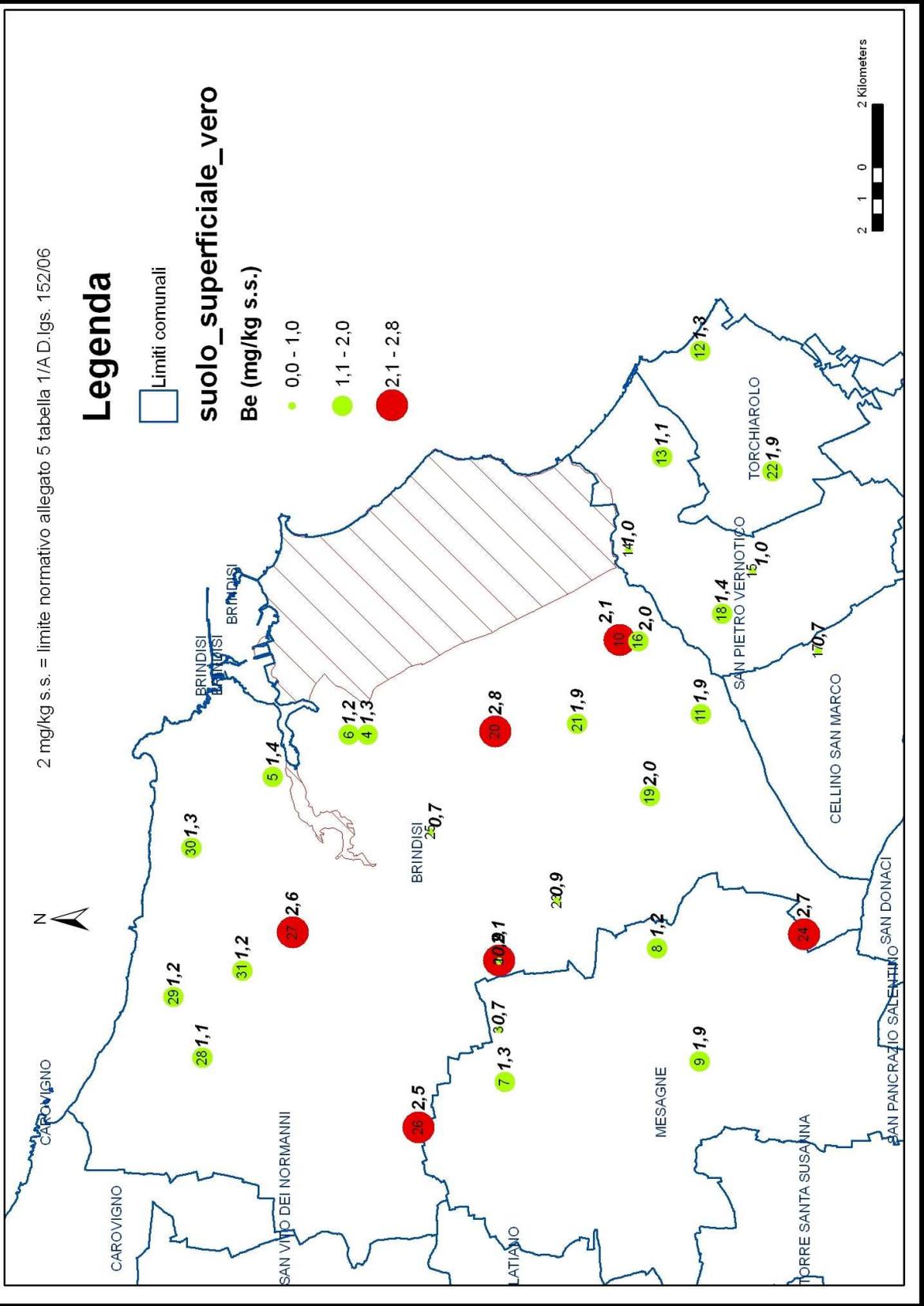
suolo\_superficiale\_vero

Be (mg/kg s.s.)

● 0,0 - 1,0

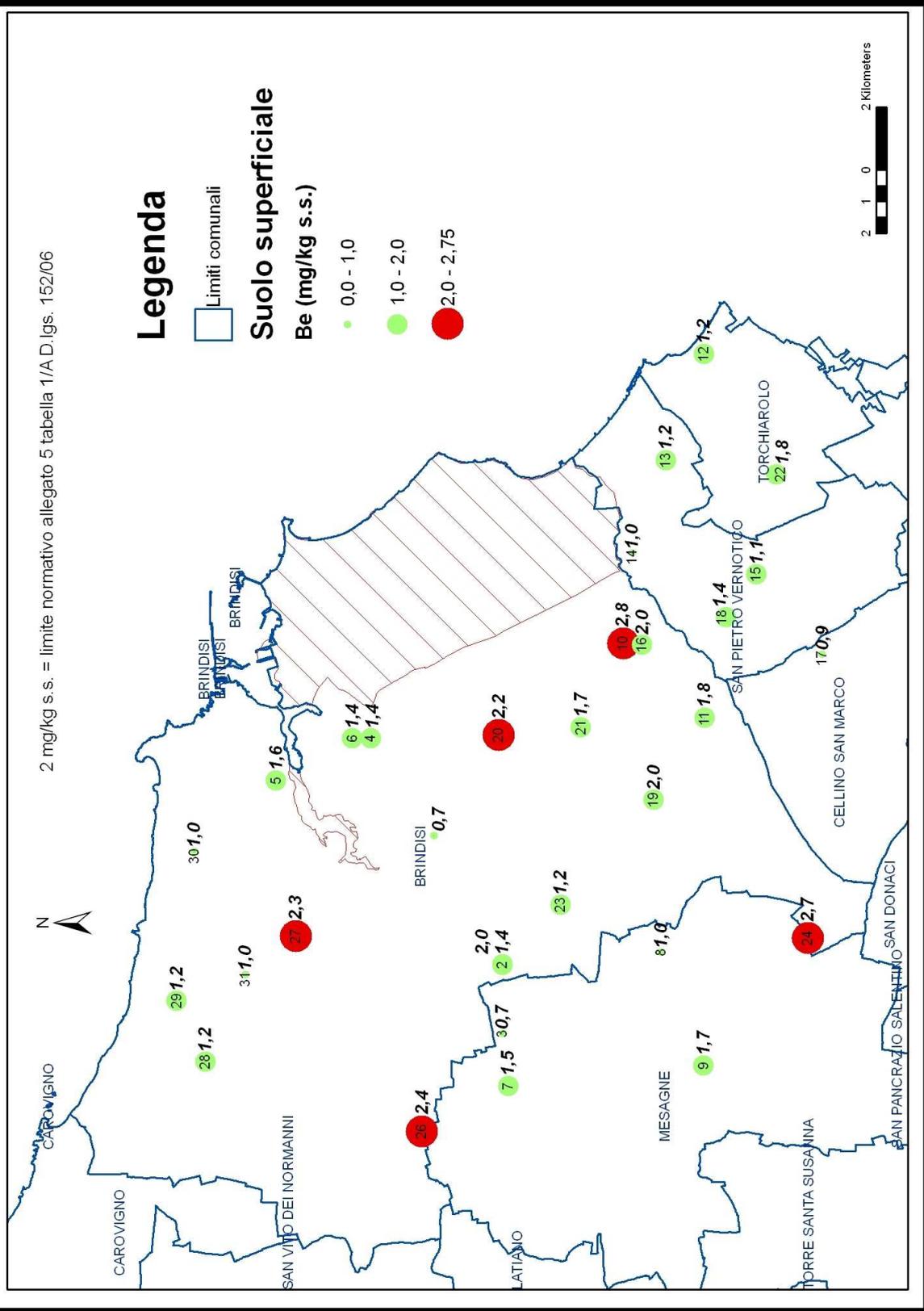
● 1,1 - 2,0

● 2,1 - 2,8



## Fondo Naturale Brindisi

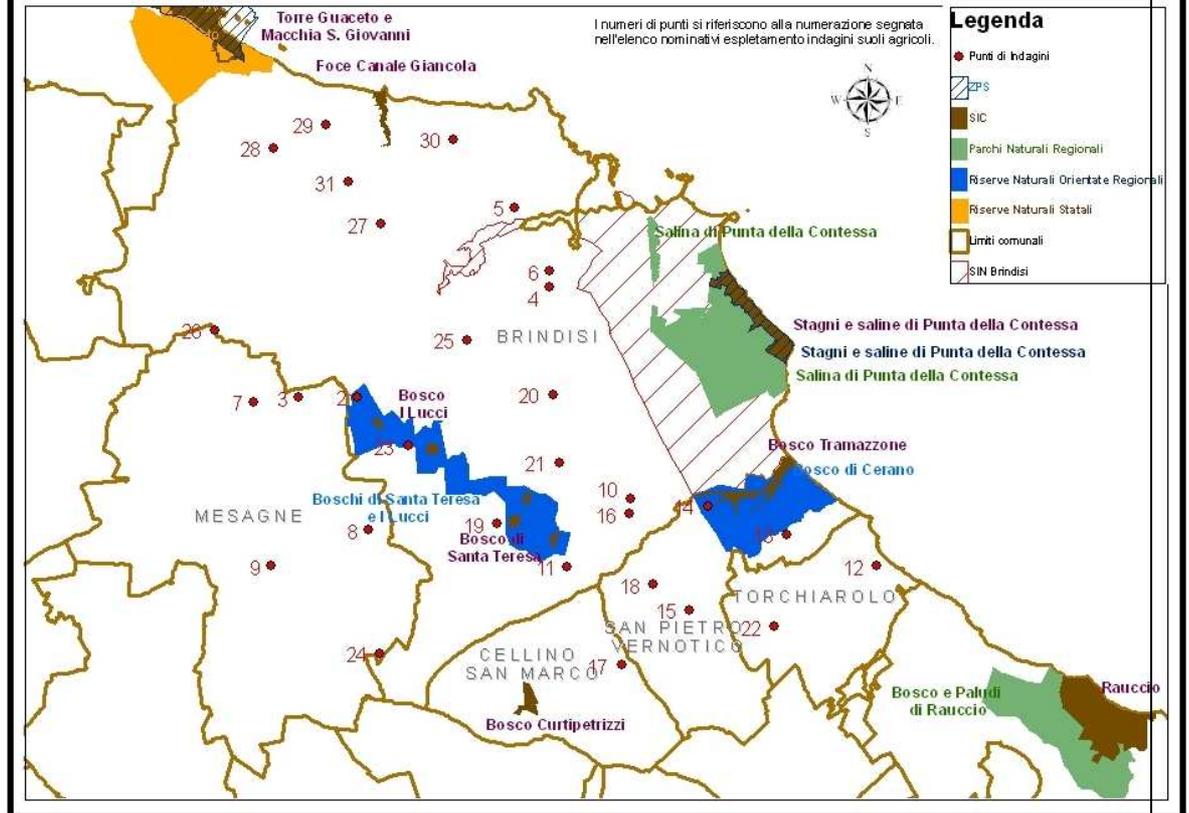
### Berillio - suolo superficiale (media 0,0-0,1m e 0-1m)





## **ALLEGATO 3: Mappe tematiche**

## Fondo Naturale Brindisi Aree Protette e Siti Natura 2000



P. CAVI, SPA ARPA, 3 ottobre 2008

Progetto ARAB – Analisi di rischio sul lotto di aree agricole adiacente al nastro trasportatore ENEL ed alla centrale Federico II Caratterizzate in stralcio al “Piano di Caratterizzazione delle aree agricole”

**A. Relazione di sintesi**

Il gruppo di lavoro dell’Università del Salento, costituito dalle Unità Operative di Ecologia, Botanica e Fisiologia Vegetale. Chimica Generale ed Inorganica, Ecologia del Paesaggio, Fisiologia Ambientale ed Ecotossicologia, Igiene ed Ingegneria dei Sistemi Energetici e dell’Ambiente, congiuntamente con ARPA Puglia ha condotto l’analisi di rischio sulle aree in oggetto come definito dal rapporto di convenzione stipulato tra il Commissario Delegato per l’Emergenza Ambientale in Puglia e l’Università del Salento, articolando le attività in dettaglio come programmato nel piano di lavoro congiunto allegato alla Convenzione.

Le relazione finale è strutturata in conformità a quanto indicato all’art.2 della Convenzione stessa. Nella presente relazione di sintesi sono evidenziati gli aspetti principali, organizzati su cinque punti: definizione del modello concettuale, interventi localizzati sul punto S53, analisi delle vie di dispersione degli elementi inquinanti, analisi modellistico-quantitativa del rischio, valutazione del rischio ed indicazione delle linee di intervento.

**A1 - Modello concettuale:** i risultati dell’analisi di Caratterizzazione, effettuata da SI, mostrano che 688 campioni su 972 nel terreno, 15 su 27 nella falda ed 1 nelle acque superficiali risultano contaminati, evidenziando tuttavia una assenza di consequenzialità tra contaminazione dei terreni e delle acque.

Per quanto concerne i terreni che, per estensione della contaminazione e rischio potenziale degli inquinanti, manifestano le maggiori criticità, le passività ambientali in essi riscontrate sono attribuibili esclusivamente alle classi dei Metalli (Stagno, Berillio, Arsenico, Vanadio, Cobalto, Rame, Cadmio, Nichel e Mercurio) e dei Pesticidi clorurati (4,4'-DDE, 4,4'-DDT, 4,4'-DDD, endrin, alaclor, aldrin e dieldrin). Soltanto il campione S23/C04 (3,00,4,00 m) è connotato da una lieve contaminazione riferibile agli Idrocarburi pesanti (58,1 mg/Kg ss).

Dei 688 campioni contaminati 635 sono contaminati esclusivamente da metalli, 44 da metalli e pesticidi, 8 solamente da Pesticidi ed 1 da Idrocarburi pesanti. Su 679 campioni (635 + 44) mostranti contaminazione da metalli, 246 risultano contaminati da un solo Metallo (Sn, Be, As, Co, Cu, Hg, Ni) mentre la restante parte è caratterizzata dalla presenza di due o più Metalli, fino a un massimo di sei nel campione S70/C03. Per quel che concerne i 52 campioni (44 + 8) contaminati da pesticidi, n. 36 sono caratterizzati dalla presenza di un solo pesticida, n. 7 da due, e n. 9 da tre.

Si riportano, nella

**Tabella 1** i contaminanti riscontrati, suddivisi per categoria di appartenenza, il numero di campioni contaminati dal medesimo analita ed il valore di concentrazione massimo accertato unitamente al punto di rinvenimento.

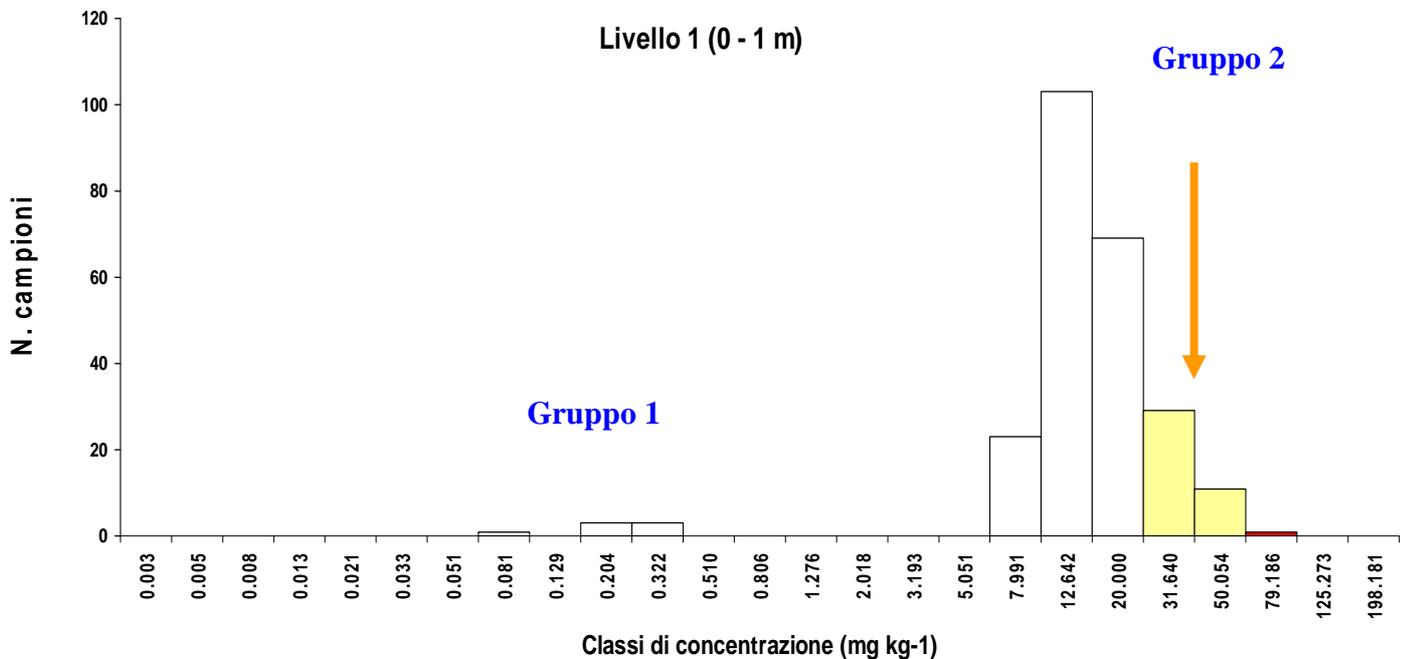
**Tabella 1.** Elenco dei contaminanti accertati e valore di concentrazione massimo riscontrato nelle per i diversi contaminanti.

<b>Metalli</b>	<b>N°</b>	<b>Livello massimo (mg/kg ss)</b>	<b>Limite (tab. A) (mg/kg ss)</b>	<b>Punto di sondaggio</b>
Stagno	538	4,59	1	S169/C01
Berillio	375	7,59	2	S209/C02
Arsenico	300	1520	20	S53/C02
Vanadio	68	506	90	S53/C02
Cobalto	42	59,4	20	S80/C02
Rame	6	555	120	S164/C01
Cadmio	2	7,11	2	S44/C05
Nichel	1	123	120	S70/C03
Mercurio	1	1,4	1	S239/C03
<b>Pesticidi clorurati</b>				
4,4'-DDE	40	0,561	0,01	S164/C01
4,4'-DDT	14	0,305	0,01	S60/C01
4,4'-DDD	10	0,964	0,01	S164/C01
Endrin	9	0,374	0.01	S47/C04
Alaclor	2	0,0218	0.01	S47/C03
Al drin	1	0,0144	0.01	S30/C02
Dieldrin	1	0,0244	0.01	S48/C01
<b>Idrocarburi</b>				
Idrocarburi*	1	58,1	10 (C ≤ 12) 50 (C > 12)	S23/C04

E' evidente che, per quel che concerne i Metalli, la contaminazione più diffusa è dovuta a Stagno, Berillio ed Arsenico. Meno diffusa è la contaminazione da Vanadio e Cobalto, mentre sporadica, è quella riferibile al Rame, Cadmio, Nichel e Mercurio. La contaminazione preponderante da Pesticidi è imputabile alla molecola 4,4'-DDE, con pochi casi di 4,4'-DDT, 4,4'-DDD e endrin. Raramente riscontrate le molecole, alaclor, aldrin e dieldrin.

Nella presente analisi di rischio l'attenzione è stata centrata su tre elementi, arsenico, berillio e vanadio, che, per estensione della contaminazione e tossicità potenziale, rappresentano le principali criticità nell'area. Sullo base di questa stessa analisi, nella presente sintesi dei risultati l'attenzione è centrata sull'arsenico che, alla luce della recente analisi effettuata da ARPA Puglia sul fondo antropico nell'area, fa rilevare superamenti dei limiti tabulari nello strato superficiale compreso tra 0 ed 1m pari 4.5% dei campioni complessivamente analizzati (Figura A1). Una attenzione principale allo strato più superficiale è motivata dal fatto che questo costituisce lo strato di maggiore rilevanza per i rischi potenzialmente inducibili in modo diretto alla salute umana. Nella

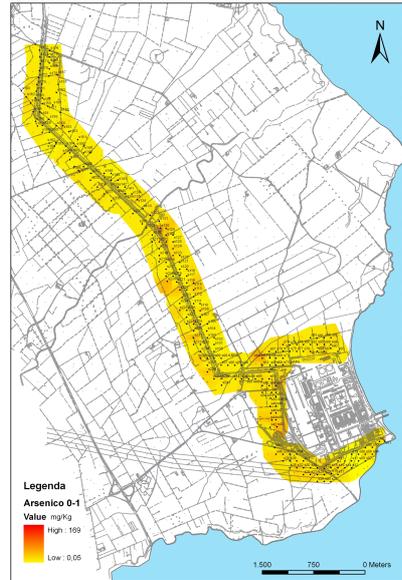
definizione del modello concettuale, tuttavia, è stata ri-analizzata la distribuzione dei principali contaminanti, e tra questi in primo luogo dell'arsenico, in tutto lo spazio tri-dimensionale oggetto dell'analisi di rischio di primo livello, in cui l'analisi spazialmente esplicita dei dati ha fatto rilevare alcuni punti fondamentali che hanno ispirato il successivo sviluppo dell'analisi di rischio:



**Figura A1.** Distribuzione in classi di concentrazione dei dati rilevati per l'arsenico per il suolo compreso tra le profondità di 0 e 1 m. In giallo viene evidenziato il range 20 – 50 mg kg<sup>-1</sup> relativo a quanto determinato dal D.Lgs. 152/06, ex D.M. 471/99, in considerazione dei limiti di utilizzo ai fini di verde pubblico, privato e residenziale e ai fini di uso commerciale ed industriale del suolo; la freccia si riferisce al limite di 32 mg kg<sup>-1</sup> definito in sede di Conferenza dei Servizi del 07/10/2008.

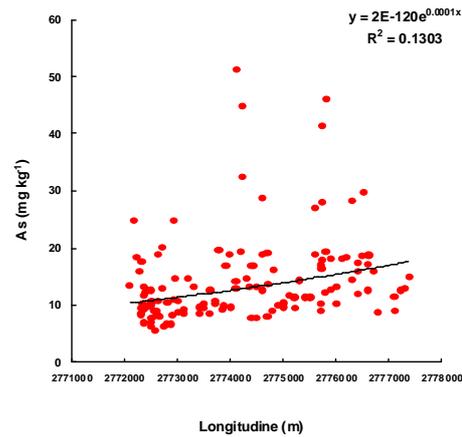
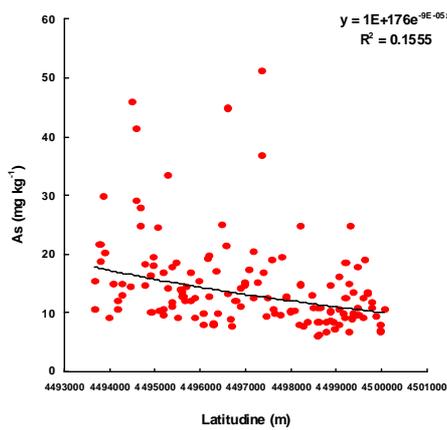
1. L'esistenza di una chiara discontinuità nell'area, relativamente al punto S53, che mostra valori 5 volte maggiori per l'arsenico rispetto a qualsiasi altro punto di prelievo effettuato nell'analisi di rischio di primo livello; il punto S53 è stato stralciato dalle successive analisi ed è stato fatto oggetto di un approfondimento specifico per valutare l'esatta dimensione spaziale dell'inquinamento a valle della quale è stato progettato l'intervento di messa in sicurezza e bonifica;
2. L'esistenza di una dipendenza spaziale della contaminazione osservata per tutti gli strati di profondità esaminati nell'analisi di rischio di primo livello (Figura A2), con un modelli di relazione che coinvolgono una scala spaziale crescente con la profondità. La contaminazione sembrerebbe correlata, per gli strati più superficiali di terreno, con la collocazione spaziale della Centrale ENEL Federico II (Figura A3a), come evidenziato particolarmente dalla variazione del 'lower bound' dell'insieme di valori di concentrazione di arsenico (Figura A3b);

0-1

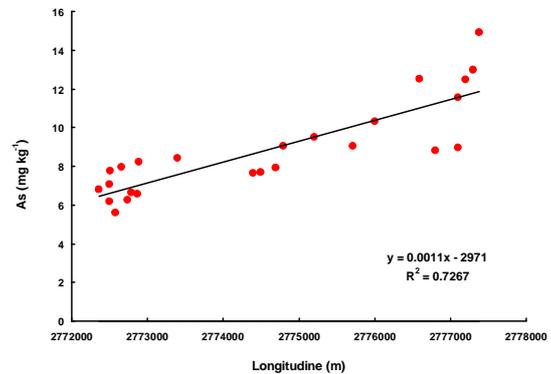
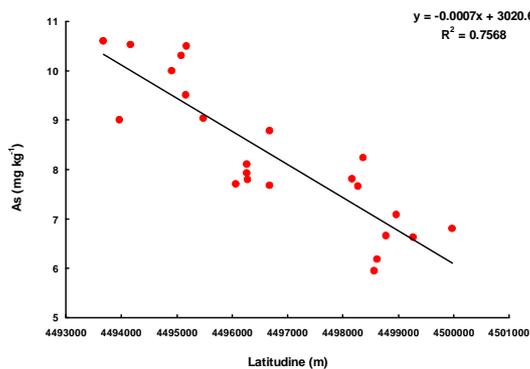


**Figura A2** – Analisi della autocorrelazione spaziale della concentrazione di arsenico negli strati più superficiali di terreno. Le aree in rosso evidenziano le zone di maggiore contaminazione.

a)



b)



**Figura A3.** – Analisi della correlazione tra la concentrazione di arsenico negli strati più superficiali di terreno e la distanza dei punti di campionamento dalla Centrale ENEL Federico II (a) e relativamente ai soli lower bound (b).

3. L'assenza di relazioni significative spazialmente esplicite delle concentrazioni di arsenico osservate nella Caratterizzazione in rapporto alla posizione dei punti di sondaggio rispetto alla posizione del nastro trasportatore. In termini di concentrazioni rilevate, non sono state osservate variazioni spazialmente esplicite significative né considerando solamente i dati dell'analisi di Caratterizzazione né confrontando questi dati con dati pregressi raccolti nella fase di definizione dei piani di caratterizzazione dell'area agricola.
4. Una rilevanza del reticolo idrografico come sede di concentrazione degli elementi contaminanti, con particolare riferimento all'arsenico; lungo l'asse del nastro trasportatore i punti in cui sono rilevate le maggiori densità di contaminazione sembrerebbero corrispondere con l'intersezione con il reticolo idrografico superficiale
5. L'eterogeneità verticale della contaminazione con un aumento negli strati sotto superficiali, pur non essendovi evidenze di inquinamento nell'acqua di falda freatica (Tabella 2).

**Tabella 2** - Valori di concentrazione dell'arsenico rilevati sull'intero pool di dati ad eccezione del sito di sondaggio S53, e in relazione alle diverse profondità. In grassetto vengono riportati i valori che superano i limiti di riferimento di cui alla tabella 1 degli obiettivi

	Totale dei campioni	Livelli di Profondità					
		0 – 0.4 m (top soil)	0 – 1 m (livello 1)	1 – 2 m (livello 2)	2 – 3 m (livello 3)	3 – 4 m (livello 4)	4 – 5 m (livello 5)
Valore minimo	0.05	5.06	0.06	0.06	0.08	0.08	0.05
Valore massimo	<b>169</b>	<b>30.40</b>	<b>51.10</b>	<b>169.00</b>	<b>108.00</b>	<b>101.00</b>	<b>79.10</b>
Valore medio	19.74	13.15	14.50	17.61	<b>23.18</b>	<b>25.61</b>	<b>24.17</b>
Deviazione st.	17.41	5.68	8.28	17.33	20.31	21.77	18.26

Nel corso dello sviluppo dell'analisi di rischio oggetto della presente relazione sono stati effettuati campionamenti di suolo superficiale in 19 punti di prelievo ai fini di valutare la mobilità biologica dell'arsenico lungo le catene alimentari in relazione alle concentrazioni in materiale vegetale detritico, erbivori, detritivori e consumatori secondari. Le considerazioni relative alla biodisponibilità dell'arsenico nell'area ed allo scorrimento 'biologico' lungo le catene alimentari saranno oggetto di un successivo punto di questa relazione di sintesi. Tuttavia, dato che l'analisi della distribuzione chimica dell'arsenico è riportata esclusivamente in questa sezione, in quanto fondamentale per lo sviluppo del modello concettuale alla base dell'analisi di rischio sviluppata, è importante far notare qui che il confronto tra i dati relativi all'analisi di rischio di primo livello e quelli raccolti per questa analisi di rischio sugli strati più superficiali mostrano una generalizzata riduzione della concentrazione di arsenico su tutti i punti di prelievo con coordinate analoghe. Questa osservazione, effettuata per l'arsenico, è generalizzabile alla maggior parte degli altri metalli e metalloidi determinati che, solo in pochissimi casi, mostrano nei dati del 2008 valori superiori a

quelli osservati nel 2006 e, in ogni caso, ben inferiori ai valori tabulari della tabella A del DM 471/99 ora D.Lgs. 152/06 (Figura A4).

Questa importante osservazione suggerisce che la fonte di contaminazione abbia quantomeno ridotto la propria intensità dopo la realizzazione dell'analisi di Caratterizzazione condotta da SI. Tale ipotesi si mostra coerente con l'ampliamento dell'intervallo spaziale in cui si osserva autocorrelazione delle concentrazioni di As osservato con la profondità più di ipotesi alternative di maggiore mobilità. Non è possibile tuttavia escludere che questa evidenza e l'assenza di relazioni con la distanza dalla Centrale ENEL Federico II per le concentrazioni osservate a profondità maggiori di 1 metro dipendano entrambe dai processi di diffusione verticale dell'arsenico in rapporto alla granulometria e natura chimica del terreno.

Sulla base della analisi dei dati derivanti dall'analisi di Caratterizzazione, delle attività presenti nell'area, delle caratteristiche pedo-geologiche, idrologico-idrografiche dell'area è stato quindi definito un modello concettuale in cui sono state considerate come fonti potenziali di contaminazione sia le attività relative a trasporto ed utilizzo del carbone sia le attività agricole, e come fonti di diffusione sia le via di diffusione passiva attraverso l'azione anemofila, i fenomeni di eluizione e trasporto nella falda e nel reticolo idrografico, sia la via di dispersione attiva attraverso assorbimento dalla componente vegetale e scorrimento lungo le catene alimentari. Nella definizione di livelli di probabilità delle fonti potenziali di contaminazione sulla base delle analisi *a priori* è stata evidenziata, con un livello di probabilità più elevato, la gestione del carbone all'interno della Centrale ENEL. Per tale motivo, oltre che per ottimizzare i costi dell'intervento e per considerare in termini conservativi le condizioni a rischio maggiore, gli approfondimenti relativi alle specie chimiche di arsenico presenti nell'area ed alla loro eluibilità nei terreni è stata effettuata sui campioni prelevati nell'intorno del punto S53, oggetto di specifico approfondimento. Le specie chimiche dell'arsenico caratterizzate da biodisponibilità e tossicità molto differenti. Pertanto, l'analisi della biodisponibilità dell'arsenico, come contaminante a maggior rischio potenziale, è stata considerata di importanza prioritaria nello svolgimento della presente analisi di rischio.

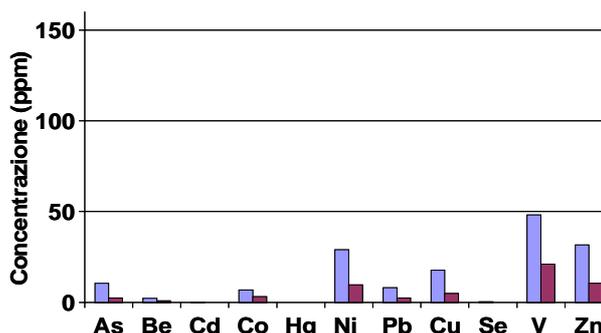


Figura A4. Confronto, a titolo esemplificativo, tra le concentrazioni di alcuni elementi riscontrate nella presente indagine (colonne rosse) e nell'analisi di rischio di primo livello condotta nel 2006 da Sviluppo Italia. I dati sono riferiti alle coordinate del punto di sondaggio S218.

## **A2. - Approfondimenti intorno al punto S53 e progettazione messa in sicurezza e bonifica**

Relativamente al primo punto, che può essere considerato un primo stralcio dell'analisi di rischio, gli approfondimenti sono stati previsti su due quadrati concentrici da 10m e 50m di lato,

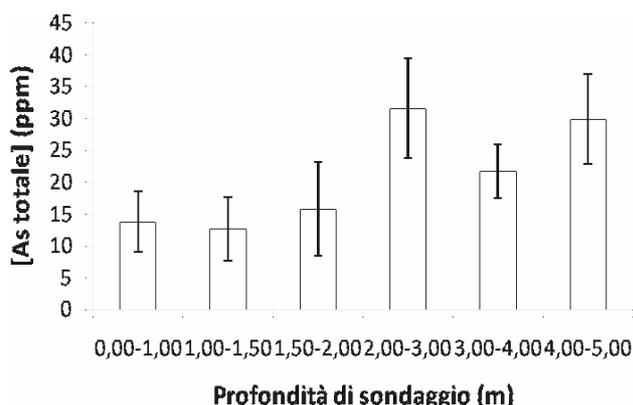


Figura A5. Distribuzione verticale dell'As nell'intorno del punto S53

di cui i primi sono stati anticipati ai fini di una ottimizzazione nell'uso delle risorse. I primi approfondimenti effettuati hanno mostrato che il fenomeno di contaminazione osservato nell'analisi di rischio di primo livello è localizzato in un quadrato di non oltre 10m di lato nell'intorno del punto S53 (Figura A5). Non si è ritenuto di scendere ulteriormente nella scala spaziale per evitare che imprecisioni tra le due analisi di rischio nella georeferenziazione del punto potessero determinare una mancata messa in sicurezza dello stesso in caso di contaminazione puntiforme.

Gli interventi tecnici applicabili al risanamento dei terreni contaminati possono essere finalizzati a due distinti obiettivi:

- 1) contenimento e controllo dei rischi a breve/medio termine per l'uomo e/o l'ambiente;
- 2) soluzione permanente del problema, cioè trattamento e rimozione della contaminazione.

Per quanto concerne in dettaglio il punto S53 possono essere considerate tre tipologie di intervento per la messa in sicurezza e bonifica: smaltimento *ex situ*, lavaggio del terreno *in situ* (*soil flushing*) ed inertizzazione. Tra queste, considerata la limitatezza spaziale della contaminazione, per il punto S53 viene suggerito lo smaltimento *ex situ*, in ragione del volume contenuto di terreno da trattare, considerato che nel campione con punto di rinvenimento S53/C02 (situato alla profondità di 1,00-2,00) è stata riscontrata una concentrazione di Arsenico di 1520 *mg/kg ss*, valore che risulta 76 volte superiore al limite di concentrazione riportato nel D.Lgs. 152/06 (20 *mg/kg ss*). Tale trattamento interesserà un volume di terreno compreso tra circa 200 m<sup>3</sup> e circa di 500m<sup>3</sup>. Infatti, sulla base degli approfondimenti effettuati ed in base al principio di massima cautela, lo smaltimento può essere esteso ai terreni fino ad una profondità di 5 m.

Nessun intervento di bonifica o messa in sicurezza si rende necessario per la falda acquifera, poiché il tipo di contaminazione in essa presente risulta di diversa origine rispetto a quella riscontrata nel terreno (le specie di metalli pesanti contaminanti la falda sono diverse da quelle contaminanti il terreno, ad eccezione del Nichel per un solo punto). Per lo stesso motivo la falda non è qui considerata come bersaglio.

### **A3 - Analisi delle vie di dispersione degli elementi inquinanti**

**A3.1 meccanismi di trasporto passivo nel terreno e biodisponibilità potenziale** L'analisi di eluibilità e speciazione dell'arsenico nell'area, è condotta sui campioni prelevati nell'intorno del punto S53 sia ai fini di ottimizzare le attività connesse agli approfondimenti richiesti, sia ai fini di una valutazione conservativa in quanto il punto S53 aveva mostrato i valori più elevati di contaminazione nella analisi di rischio di primo livello.

L'analisi di eluibilità e speciazione ha fornito informazioni, riassumibili nei presenti punti:

1. L'arsenico nell'area è presente in una forma diversa da quella con cui è presente in differenti aree del SIN di Brindisi. Ciò è evidenziato nelle differenze osservate per la frazione più facilmente eluibile, estratta in ossalato di ammonio ai fini della analisi delle specie chimiche presenti, tra l'area oggetto

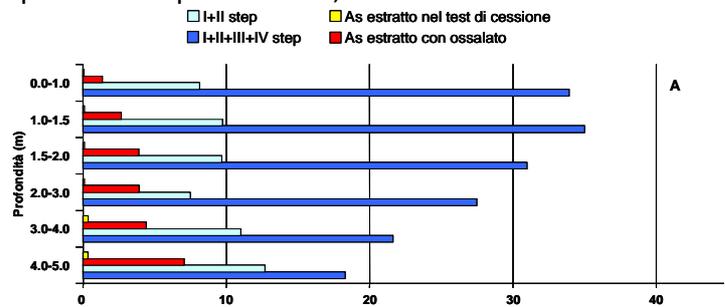
della presente analisi di rischio e l'area SISRI, per cui analoga analisi è stata effettuata dalla medesima U.O. di Chimica Generale ed Inorganica, nell'ambito di un approfondimento richiesto nella fase di approvazione dei piani di caratterizzazione della zona industriale. Nell'area oggetto della presente analisi di rischio la frazione eluibile per la speciazione, estratta con ossalato di ammonio, è risultata infatti pari al 4.0% (1.7%-7.1%) dell'arsenico totale presente nel campione, mentre la medesima frazione è risultata pari al 62.0% (35.9%-91.7%) dell'arsenico totale nei suoli dell'area SISRI (Tabella 3). C'è un fattore moltiplicativo 15x tra le concentrazioni di frazione eluibile osservata nelle due aree di studio, che lascia ipotizzare una differenza anche nelle fonti della contaminazione. L'utilizzo di estraenti di speciazione più forti quali l'acido fosforico 0.5M, testato preliminarmente sullo stesso campione che ha rilasciato la maggiore quantità di As in ossalato ha portato ad incrementare tale valore fino al 21.0% dell'arsenico totale presente nel campione

2. Nell'area oggetto di questa analisi di rischio l'arsenico è presente in una forma molto poco eluibile. L'eluibilità per le prove di speciazione (ossalato di ammonio) è pari al 4.0% in media. Nelle estrazioni sequenziali, con gli estraenti meno forti (1° step: acetato d'ammonio 1 M a pH 5, aggiustato con acido acetico; 2° step cloruro di idrossilammonio 1 M a pH 5, aggiustato con citrato di sodio) la frazione eluita è comunque limitata al 10.5% dell'arsenico totale estratto, mediamente il 20% viene estratto con basi ed acidi forti (pH 13-13.5; pH 1) ed oltre il 70% dell'arsenico è presente in frazioni quasi completamente insolubili o 'occluse', estratte unicamente in acido nitrico 8M ad 85°C o acqua regia [frazioni V e VI nelle estrazioni sequenziali (Tabella 3)]. Conseguentemente, l'89.5% dell'arsenico totale è estratto in condizioni di forza di acidi o basi incompatibile con le condizioni chimico-fisiche di un terreno, indicando un limite pari al 10.5% dell'arsenico totale come presente in forme potenzialmente eluibili, e quindi potenzialmente biodisponibili in tempi brevi, nelle condizioni chimico-fisiche del terreno. Ciò fatti salvi i necessari approfondimenti relativi alla determinazione del contributo di rilascio dovuto alla rimozione della sostanza organica operata nel 3° e 4° step delle estrazioni sequenziali ed al possibile utilizzo di fertilizzanti soprattutto di tipo fosfatico con componente anionica ad elevata capacità di scambio per gli ossoanioni dell'arsenico.

**Tabella 3.** Valori percentuali, rispetto all'As totale presente ed all'As totale estratto, per i sei livelli delle 5 carote e medie generali per l'As estratto nel test di cessione, con ossalato d'ammonio e nei primi due e nei primi quattro step delle procedure di estrazione sequenziale

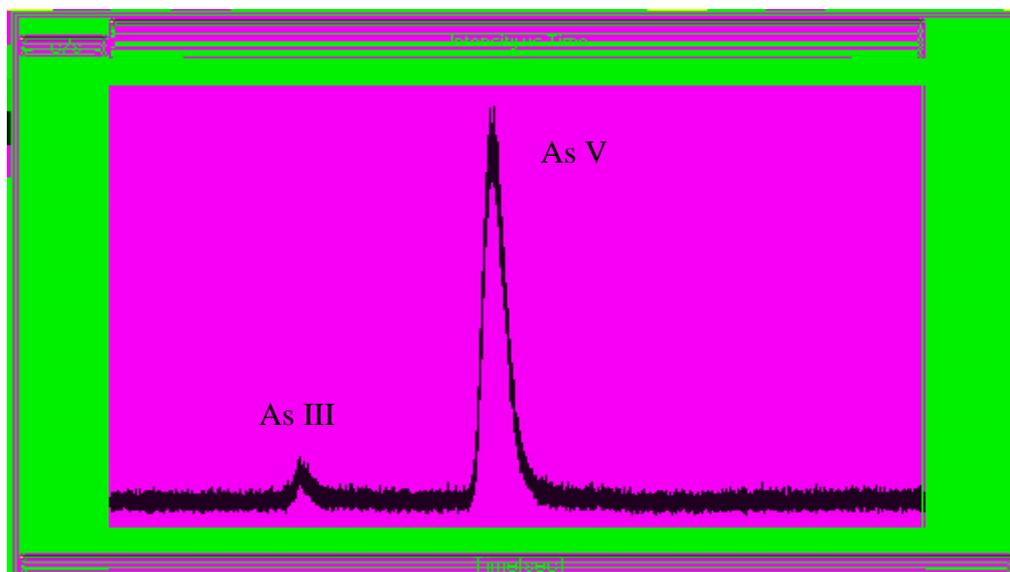
	cessione	ossalato	I+II	I+II+III+IV	cessione	ossalato	I+II	I+II+III+IV
Quota (m)	As (% rispetto al totale presente)				As (% rispetto al totale estratto)			
4.0-5.0	0.34	7.1	12.7	18.3	0.34	7.1	12.8	18.5
3.0-4.0	0.36	4.4	11.0	21.6	0.34	4.5	11.2	21.9
2.0-3.0	0.08	3.9	7.5	27.5	0.07	3.8	7.4	27.0
1.5-2.0	0.08	3.9	9.7	31.0	0.08	4.2	9.6	30.5
1.0-1.5	0.07	2.7	9.7	35.0	0.07	2.9	9.2	33.2
0.0-1.0	0.05	1.4	8.1	33.9	0.07	1.7	9.7	40.4
medie	0.16	3.9	9.8	27.9	0.16	4.0	10.5	27.4

3. La distribuzione verticale dell'arsenico nel terreno indica una concentrazione in profondità delle frazioni maggiormente refrattarie alla solubilizzazione (Figura A6). Si osserva infatti una diminuzione complessiva della percentuale di arsenico estratta con le prime quattro frazioni all'aumentare della profondità, nonostante la crescita della concentrazione dell'arsenico eluito con ossalati di ammonio con la profondità; questo comportamento, incoerente con una eluizione dell'arsenico con le acque di dilavamento del terreno, indica meccanismi di trasporto di tipo meccanico molto più probabili piuttosto che meccanismi di trasporto in soluzione con le acque di percolamento nel terreno;



**Figura A6** – Percentuali di As mediamente estratto nei 6 livelli di profondità delle 5 carote nel test di cessione, con ossalato d'ammonio e nei primi due e nei primi quattro step delle procedure di estrazione sequenziale

4. La frazione comunque solubile di arsenico è composta per oltre il 95% dalla specie meno bio-disponibile costituita dall'arsenico pentavalente; l'arsenico trivalente rappresenta in media il 3.1% dell'arsenico estratto per la speciazione (Figura A7) ed una frazione ancora inferiore nelle prove di estrazione con acido fosforico



**Figura A7** - Cromatogramma che mostra i picchi relativi all'analisi di speciazione chimica dell'As per il campione di terreno proveniente dal livello 4.0-5.0 m della carota S53/1D.

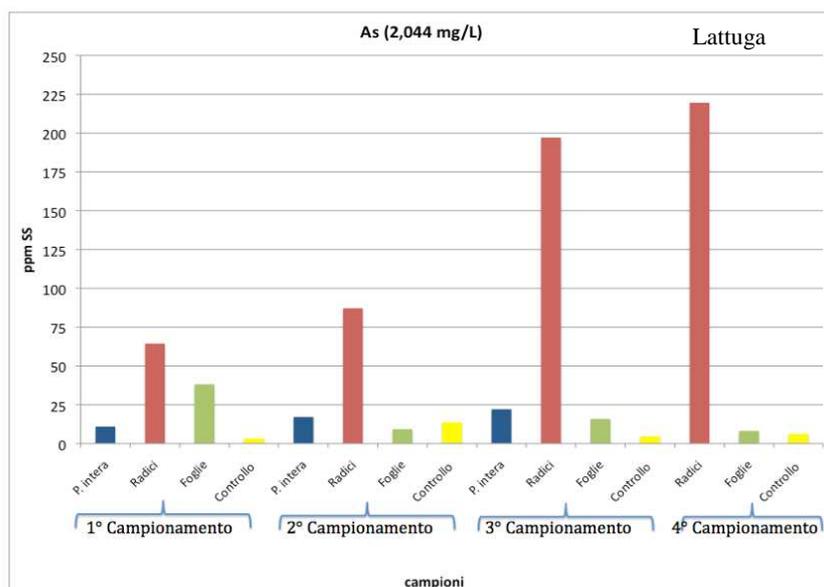
L'insieme di queste evidenze indica:

- a. una bassa biodisponibilità immediata su scala temporale breve, anche solo potenziale, dell'arsenico nell'area, indicabile come limite superiore tutelativo nel 10.5%. Infatti, (a). la restante parte è presente in frazioni o solubili solo in condizioni estreme di pH nel terreno ( $pH < 2$  –  $pH > 13$ ) o, prevalentemente, in frazioni 'occluse', insolubili in tempi e condizioni compatibili con le possibilità di assorbimento da parte degli organismi e, quindi, di probabile carattere

- corpuscolare; (b). l'arsenico effettivamente biodisponibile in quanto assorbibile rapidamente dall'apparato radicale delle piante è l'arsenico presente in forma di As III, che costituisce nell'area di studio solo il 3.1% dell'arsenico totale estratto con ossalato di ammonio.
- b. un trasporto preferenziale dell'arsenico probabilmente in forma corpuscolare, suggerendo che la distribuzione verticale possa essere legata prevalentemente a fenomeni di ritenzione su granulometrie di substrato progressivamente più fini, piuttosto che a fenomeni di adsorbimento dell'arsenico solubilizzato su materiale argilloso, ipotizzato nel modello concettuale. Questa forma di trasporto dell'arsenico rende improbabile la rilevanza nell'area di fonti di contaminazione di tipo non particolato, che possono tuttavia essere coinvolte nell'incremento osservato della frazione più rapidamente e facilmente eluibile (colonne in giallo e rosso nella Figura A4, corrispondenti ad estrazioni in acido acetico ed ossalato di ammonio); queste frazioni corrispondono tuttavia solamente allo 0.16% ed al 4.0% in media del totale arsenico estratto (Cfr. Tabella 3). Questa forma di trasporto è anche coerente con la struttura granulometrica del terreno nell'area di studio che nei primi 5 metri di profondità mostra una progressiva riduzione del diametro delle particelle con la profondità, mentre non mostra chiari livelli caratterizzati da frazioni argillose rilevanti. Ulteriori approfondimenti sono tuttavia necessari per poter definire con maggiore accuratezza il meccanismo di trasporto attivo nell'area
  - c. una ridotta mobilità dell'arsenico negli strati più profondi, proprio in virtù di questa forma chimica;
  - d. un meccanismo di trasporto corpuscolare del materiale anche nella fase liquida della falda, con possibili aree di accumulo in presenza di risorgive negli ecosistemi di transizione presenti lungo la costa ed in aree di risorgive nel marino costiero.

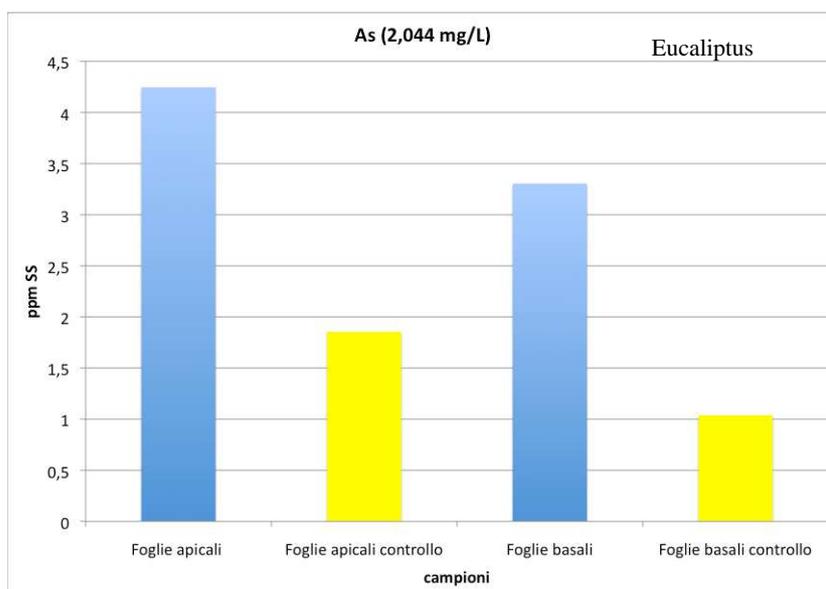
A3.2 meccanismi di trasporto attivo – assorbimento nei vegetali e fattori di concentrazione potenziale Per valutare le potenzialità di assorbimento ed i livelli di bioconcentrazione dell'arsenico sono stati effettuati esperimenti di laboratorio su quattro essenze vegetali, tre annuali [*Lactuca sativa* L. (lattuga), *Nasturtium officinalis* Br. (crescione), *Raphanus sativus* var. *radiculata* Perzon (ravanello)] ed una poliennale [*Eucalyptus rostrata* Stok. (eucalipto)]. Le prime tre sono specie erbacee con cicli biologici brevi e sistemi di accumulo ridotti e la quarta è una specie arborea con cicli biologici lunghi e sistemi di accumulo ben sviluppati. I risultati degli esperimenti, effettuati con terreno dell'area considerata e terreno di controllo ed in colture idroponiche con differenti concentrazioni di arsenico trivalente nella forma maggiormente biodisponibile di arsenito, hanno evidenziato i seguenti punti principali:

- a. esiste una ampia variabilità tra specie nei tassi di assorbimento e bioconcentrazione dell'arsenico in forma trivalente nel terreno/mezzo di coltura, con valori che in una delle piante incluse nella sperimentazione, *Lactuca sativa*, hanno raggiunto anche un valore di concentrazione di oltre 100 volte; partendo da una concentrazione nel mezzo acquoso di 2.044mg/l di arsenico trivalente, selezionata in base ai dati di cessione relativi all'area SISRI e quindi probabilmente sovrastimata per l'area in studio, al termine del periodo di 28 giorni di esposizione sono state osservate concentrazioni fino a 225mg/kg in peso secco negli apparati radicali (Figura A8);



**Figura A8** – Valori di concentrazione di arsenico in piante di *Lactuca sativa* coltivate in idroponica

- b. specie annue con ciclo biologico breve e rapido accrescimento hanno mostrato un assorbimento molto maggiore e fattori di concentrazione dell'arsenico significativamente più elevati rispetto alle specie arboree a ciclo poli-annuale (Figura A8, A9);
- c. le piante di eucalipto oggetto di sperimentazione hanno mostrato valori di assorbimento e fattori di concentrazione particolarmente bassi, di poco superiori, in media, a 2 volte la concentrazione dell'arsenico biodisponibile nel terreno/mezzo di coltura (Figura A9).



**Figura A9** – Valori di concentrazione di arsenico in piante di *Eucalyptus rostrata* coltivate in idroponica

Dati molto limitati di concentrazione di arsenico ed altri metallodi e metalli sul materiale vegetale, raccolti su materiale vegetale residuo sui terreni adiacenti al nastro trasportatore ai soli fini di una caratterizzazione urgente del materiale vegetale

derivante dallo sfalcio dei terreni (Tabella 4), supportano la valutazione di biodisponibilità alla luce dei valori di bio-concentrazione rilevati in laboratorio. La concentrazione di arsenico riscontrata nel materiale vegetale è mediamente 3.8 volte inferiore alla concentrazione di arsenico totale rilevata da SI negli strati superficiali nell'analisi di rischio di primo livello ed è di circa un ordine di grandezza più bassa rispetto alle concentrazioni di arsenico totale indicate come possibile fondo antropizzato nella recente analisi effettuata da ARPA Puglia. Sulla base dei dati di bio-disponibilità, stimati in

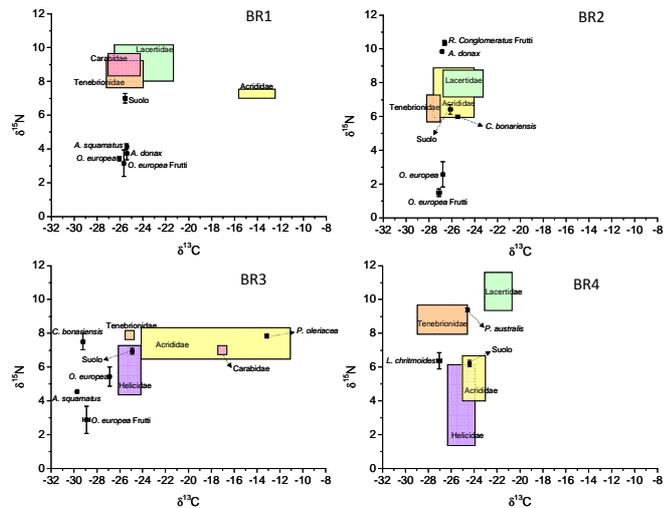
**Tabella 4** . Concentrazioni medie nelle matrici vegetali di metalli e metalloidi rilevati come inquinanti del suolo nella analisi di rischio di primo livello, confrontate con i limiti di tollerabilità nei terreni secondo il D. Lgs. 152/2006. I dati sono espressi come ppm (mg/kg in peso secco); limite di rilevabilità: 10 ppb.

	[A]	[B]
<b>Metallo</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>
As	3.87	20
Be	<0.01	2
V	1.56	90

modo totalmente conservativo attraverso i test di cessione e le analisi di speciazione, l'arsenico è presente negli strati superficiali di terreno nella forma rapidamente biodisponibile di arsenito con una concentrazione inferiore a 0.05mg/kg, indicando un valore di bio-concentrazione stimata pari, in media, a 80 volte la concentrazione della frazione più bio-disponibile presente nel terreno. Considerando attiva la fonte di inquinamento ed in equilibrio le concentrazioni nei diversi strati, la durata di esposizione può essere considerata permanente ad una concentrazione delle forme di arsenico trivalente pari a circa 0.05mg/kg, equivalente allo 0.33% della concentrazione di arsenico totale presente nei terreni. E' da notare che, pur nella limitatezza dei dati e nella incoerenza delle matrici vegetali esaminate, le analisi chimiche sono state condotte evidenziando una particolare accuratezza, con oltre l'85% dei dati rilevati, su oltre 800 analiti complessivamente analizzati, che rientrano in un intervallo di variazione inferiore a 0.5 ordini di grandezza. Un set di analisi chimiche sull'arsenico è stato effettuato su tre laboratori diversi come prova di intercalibrazione e validazione interna al progetto.

A3.3 meccanismi di trasporto attivo – meccanismi di trasporto lungo le catene alimentari L'analisi degli isotopi stabili di carbonio ed azoto ha consentito di analizzare le reti alimentari nell'area di studio; un esempio è riportato in Figura A10. I risultati delle analisi isotopiche hanno evidenziato anche una mobilità dell'arsenico lungo le reti alimentari nell'area, con un fattore di concentrazione però molto basso, ai limiti della significatività, pari a circa 1.3 volte per ogni passaggio di livello trofico. In altri termini la concentrazione assoluta di arsenico cresce dal materiale vegetale ai micro-erbivori del terreno ed agli organismi detritivori, carnivori ed onnivori, ma senza evidenze forti di bio-accumulo. A livello spaziale i risultati indicano tuttavia:

- a. una maggiore concentrazione di arsenico negli organismi animali presenti nella prossimità della probabile fonte di contaminazione, rispetto alle corporazioni animali presenti in un sito di controllo a distanza maggiore dalla fonte;
- b. la necessità di una attenzione sulla fauna di invertebrati acquatici e di vertebrati caratteristici delle aree umide costiere in cui il trasferimento trofico può essere fortemente accelerato



A10. Composizione isotopica di carbonio e azoto ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ; ‰) delle fonti di materia organica e dei consumatori campionati in quattro siti (BR1-BR4). I ranges di variazione dei consumatori sono indicati con i rettangoli.

**A4 - Analisi modellistico-quantitativa del rischio di secondo livello** Nella realizzazione dell'analisi modellistico quantitative del rischio, sono state sviluppate tre fasi: (a) analisi del rischio ecologico attraverso valutazione eco tossicologica attraverso biomarkers su differenti terreni compresi nell'area di studio ed in aree di controllo; (b) analisi modellistico quantitativa con l'uso dei software dedicati; (c) analisi di rischio sanitario con uso di metodologie quantitative, non modellistiche, sviluppato da ISS.

**A4.1 - Analisi modellistico-quantitativa del rischio di secondo livello – (a) analisi rischio ecologico** La conoscenza della distribuzione di potenziali inquinanti negli ecosistemi e

della loro tossicità per diverse tipologie di organismi fornisce una misura di rischio chimico potenziale; solo lo stato di salute degli organismi che colonizzano l'ecosistema può tuttavia indicare l'effettivo danno che i potenziali inquinanti hanno determinato sulla vita degli organismi, lo sviluppo delle popolazioni, il funzionamento dei processi nelle condizioni che, nell'intervallo di tempo del ciclo biologico degli organismi considerati, ha caratterizzato l'ecosistema. La risposta degli organismi fornisce quindi una misura 'oggettiva' di biodisponibilità degli inquinanti e permette una stima dei percorsi di trasferimento e del rischio ecologico per l'uomo. Per

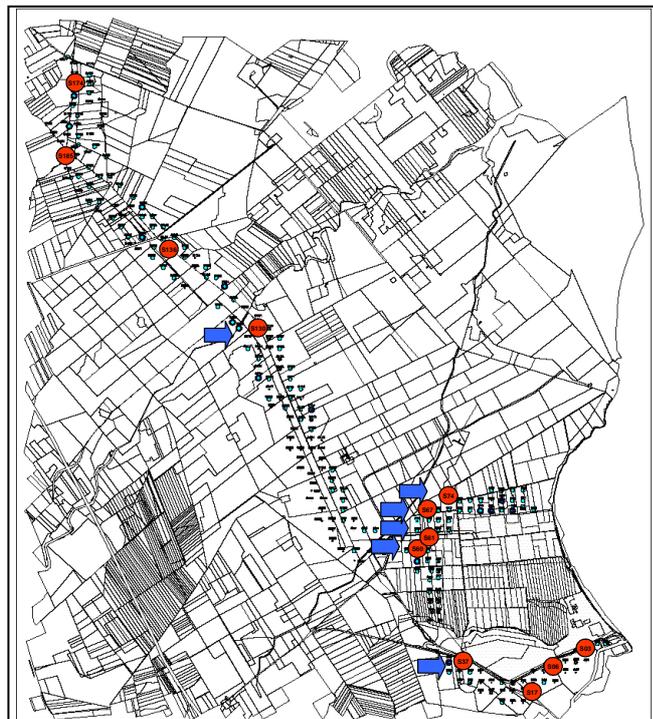


Figura A11 – Distribuzione dei punti di campionamento lungo il nastro trasportatore (segnalati in rosso) con indicazione dei terreni che hanno mostrato rischio cronico e genotossico (segnalati in blu)

questo motivo, nello sviluppo dell'analisi di rischio è stato introdotto un insieme di test eco tossicologici su una specie di lombrichi oligocheti (*Eisenia foetida*) che costituisce una importante componente biologica della fauna del terreno e che, con la propria attività, campiona il suolo in modo non puntiforme, integrando effettivamente il rischio su un'area spaziale ampia. Per l'analisi di rischio ecologico nell'area di studio sono stati effettuati test di tossicità acuta e cronica e di geno-tossicità su campioni di suolo provenienti da 12 stazioni campionante in aree corrispondenti a punti di sondaggio effettuati nell'analisi di rischio di primo livello (Figura A11) ed in 8 campioni prelevati su due transetti trasversali al nastro trasportatore. I risultati delle diverse analisi, che hanno mostrato una elevata coerenza supportata da valori di significatività tra test cronici e di geno-tossicità con rischi di errore nell'ordine di  $10^{-4}$ , possono essere sintetizzati nei seguenti punti:

- non si osserva alcun fenomeno di tossicità acuta nell'area;
- si osserva tossicità cronica e genotossicità su circa il 40% dei terreni analizzati, con una distribuzione delle aree che manifestano rischio ecologico concentrata nei campioni prelevati lungo il nastro trasportatore (>50% dei campioni rispetto al 25% sui transetti perpendicolari);
- relativamente ai soli campioni prelevati nell'intorno del nastro trasportatore, il 100% dei terreni proveniente dal versante immediatamente nord della Centrale hanno manifestato rischio ecologico
- i valori di rischio cronico e geno-tossico quantificati sono risultati correlati ai valori di concentrazione nei terreni superficiali determinati da SI nell'analisi di Caratterizzazione, con un rischio di errore sempre nell'ordine di  $10^{-3}$

L'evidenza di un rischio ecologico nell'area non consente di individuare direttamente le fonti del rischio, in quanto gli organismi rispondono a tutti i diversi stimoli presenti nella componente chimico-fisica dell'ambiente in cui vivono. Tuttavia, la distribuzione spaziale delle aree a rischio, oltre che la relazione con i valori di concentrazione di arsenico rilevate nell'analisi di rischio di primo livello, indicano elevata la probabilità che questo metalloide costituisca una principale fonte del rischio ecologico evidenziato attraverso il marker biologico lombrico.

A4.2 - Analisi modellistico-quantitativa del rischio di secondo livello – (b) analisi modellistica del rischio; lo sviluppo dell'analisi modellistico quantitativa di rischio si è avvalsa delle conoscenze acquisite su forma chimica, disponibilità alla cessione, stime di biodisponibilità e di trasporto descritte nei precedenti paragrafi. Le analisi condotte, in particolare, hanno consentito un aggiornamento del modello concettuale in relazione alla disponibilità chimica dell'arsenico. La ridotta disponibilità chimica, con oltre il 70% dell'arsenico presente in forma 'occlusa', la distribuzione verticale delle stesse forme, la speciazione chimica e le prove di assorbimento su materiale vegetale, hanno consentito di stimare, in modo estremamente conservativo una biodisponibilità ridotta dell'arsenico nell'area oggetto di studio, consentendo l'applicazione modellistica di differenti scenari. L'analisi di rischio di secondo livello è stata effettuata attraverso lo strumento modellistico sviluppato da ISPRA (ex APAT) con il modello ROME 2, attraverso analisi di rischio sanitario sviluppate dall'ISS ed attraverso analisi di ecotossicità. Tutte le analisi modellistiche sono state effettuate con dati sito specifici resi disponibili dalla attività pregressa di sviluppo del SIT della area di interesse nazionale di Brindisi. Per quanto riguarda gli aspetti di speciazione chimica e prove di

cessione i dati sito specifici disponibili sono stati utilizzati solo come utile confronto; i valori introdotti nella analisi modellistica sono stati infatti determinati nel corso del presente studio in modo conservativo sull'intorno del punto di sondaggio S53. Data l'assenza di contaminazione, la falda acquifera non è stata considerata bersaglio.

La modellistica ROME 2 è stata sviluppata su 3 scenari differenti di cui i primi due sono riferiti strettamente ai dati derivanti dall'analisi di rischio di primo livello ed il terzo è conseguente ai risultati degli approfondimenti effettuati nell'analisi di rischio di secondo livello ed è basato sui valori di biodisponibilità stimata del 10.5% sull'arsenico totale. È opportuno riportare qui che questa stima è conservativa ed ispirata al principio di massima cautela, in quanto fa riferimento ad frazioni comunque dominate da forme di arsenico pentavalente la cui biodisponibilità è molto bassa; stimando la condizione all'equilibrio, nonostante i dati disponibili sui campioni di top soil e la distribuzione verticale della contaminazione indichino che è in atto una evoluzione positiva della contaminazione con una riduzione di intensità delle fonti, una stima meno conservativa porterebbe a valutare la concentrazione effettivamente biodisponibile compresa tra lo 0.3% e lo 0.4% di quella dell'arsenico totale nel terreno.

I tre scenari sviluppati nell'analisi modellistica quantitativa sono basati su una esposizione media dei lavoratori di 180-240 giornate lavorative annue e sono effettuati stralciando il punto S53, oggetto comunque di intervento separato:

- a. *scenario 1* – area considerata uniforme, concentrazioni considerate negli strati superficiali come concentrazioni totali riscontrate;
- b. *scenario 2* – area non uniforme, suddivisa in zone uniformi, concentrazioni considerate negli strati superficiali come concentrazioni totali riscontrate;
- c. *scenario 3* - area non uniforme, suddivisa in zone uniformi, concentrazioni considerate negli strati superficiali come concentrazioni stimate della frazione biodisponibile, sulla base delle analisi di estrazione sequenziale, speciazione, assorbimento e dei tests di bio-concentrazione dell'arsenico effettuati in laboratorio. Lo scenario tre è sviluppato a partire dalle sole concentrazioni stimate biodisponibili che corrispondono mediamente al 10.5% della concentrazione di arsenico totale determinata nell'analisi di rischio di primo livello.

I risultati dei tre scenari differiscono ampiamente. Entrambi gli scenari basati sul rischio derivante dalla contaminazione da arsenico nell'assunzione di una biodisponibilità completa dell'arsenico stesso nell'intervallo di tempo in cui le componenti biologiche dell'ecosistema sono esposte, includendo l'uomo tra queste componenti, evidenziano l'esistenza di un rischio forte, anche tenendo conto della eterogeneità spaziale dell'area (Figura A12). Tuttavia, l'assunzione alla base dei primi due scenari non sembra sostenibile, neanche secondo il principio della massima cautela, alla luce dei dati raccolti nelle differenti fasi dell'analisi di rischio e descritti nei precedenti paragrafi. La maggior parte dell'arsenico presente nei suoli interessati, alla luce delle analisi di cessione per estrazioni sequenziali, deve essere considerato come arsenico inerte. La distribuzione dei livelli di contaminazione nello spazio e l'assenza di una relazione con particolarità geologico/pedologiche del substrato, escludono che si tratti di contaminazione da considerarsi 'naturale', nella corretta accezione del termine

e cioè dipendente da litologia e geologia del suolo e non dall'attività umana. Questa osservazione è coerente con una analoga osservazione effettuata relativamente all'area SISRI interna allo stesso SIN di Brindisi dal gruppo di lavoro dell'Università del Salento incaricato di sviluppare i piani di caratterizzazione delle aree pubbliche del SIN di Brindisi. Pur tuttavia, la forma con cui l'arsenico è presente nei suoli contaminati nell'area oggetto della presente analisi di rischio può configurarsi analoga ad una forma corpuscolare, inattiva, di origine naturale. In aggiunta a ciò, la distribuzione verticale di questa frazione 'occlusa', e quindi inattiva, dell'arsenico presente, che mostra incrementi di rilevanza, con la profondità indica anche un necessario riferimento nell'analisi di rischio di secondo livello ai soli strati superficiali. Sulla base di queste considerazioni è stato sviluppato il terzo scenario, che, pur basato sul principio di massima cautela, considera comunque livelli di biodisponibilità stimata realistici per l'area interessata, indicando che un debole rischio nell'area, sia in modo complessivo, sia in modo spazialmente esplicito (Figura A13). In particolare i risultati dell'analisi modellistica

Suolo Superficiale							
		Dati input			RISCHIO PER L'UOMO		
		As	Be	V	As	Be	V
1	s1/s26	29,31	1,89	52,6	2,10E-05	2,10E-06	no
2	s27/s41	22,40	2,36	58,1	1,60E-05	2,62E-06	no
3	s42/s62	25,60	2,99	70,83	1,83E-05	3,32E-06	no
4	s63/s74	22,43	3,29	63,0	1,60E-05	3,65E-06	no
5	s75/s93	16,34	3,91	60,0	1,17E-05	4,34E-06	no
6	s94/s111	11,18	2,48	49,07	7,99E-06	2,76E-06	no
7	s112/s131	24,17	2,72	71,7	1,73E-05	3,02E-06	no
8	s132/s150	12,18	2,73	52,9	8,71E-06	3,03E-06	no
9	s151/s162	13,15	3,46	54,95	9,39E-06	3,84E-06	no
10	s163/s185	13,72	2,62	51,95	9,80E-06	2,60E-06	no
11	s186/s209	12,17	3,30	54,09	8,70E-06	3,66E-06	no
12	s210/s219	13,29	2,34	54,0	9,50E-06	2,60E-06	no
13	s220/s231	27,97	1,69	51,12	2,00E-05	1,88E-06	no
14	s232/s243	19,65	1,83	52,6	1,40E-05	2,06E-06	no

**Figura A12:** Scenario 2 per suolo superficiale - dati di input delle macro aree e risposta dell'analisi di rischio

inattiva, di origine naturale. In aggiunta a ciò, la distribuzione verticale di questa frazione 'occlusa', e quindi inattiva, dell'arsenico presente, che mostra incrementi di

Aree	As totale (mg/kg)	As biodisponibile [stima; (mg/kg)]	Rischio per l'uomo
A1 (S1/S26)	29,31	3,07	1,64 10 <sup>-6</sup>
A2 (S27/S41)	22,40	2,35	1,25 10 <sup>-6</sup>
A3 (S42/S62)	25,60	2,69	1,44 10 <sup>-6</sup>
A4 (S63/S74)	22,43	2,36	1,26 10 <sup>-6</sup>
A5 (S75/S93)	16,34	1,72	9,17 10 <sup>-7</sup>
A6 (S94/S111)	11,18	1,17	6,24 10 <sup>-7</sup>
A7 (S112/S131)	24,17	2,54	1,36 10 <sup>-6</sup>
A8 (S132/S150)	12,18	1,28	6,84 10 <sup>-7</sup>
A9 (S151/S162)	13,15	1,38	7,37 10 <sup>-7</sup>
A10 (S163/S185)	13,72	1,44	7,69 10 <sup>-7</sup>
A11 (S186/S209)	12,17	1,28	6,84 10 <sup>-7</sup>
A12 (S210/S219)	13,29	1,40	7,48 10 <sup>-7</sup>
A13 (S220/S231)	27,97	2,94	1,57 10 <sup>-6</sup>
A14 (S232/S243)	19,65	2,06	1,10 10 <sup>-6</sup>

**Figura A13:** Scenario 3 per suolo superficiale - dati di input delle macro aree e risposta dell'analisi di rischio

nello scenario 3 indica che:

- a. in tutta l'area i valori di rischio sono tutti nell'intorno del valore soglia di rischio accettabile per i lavoratori;
- b. nell'area intorno alla probabile fonte di contaminazione e nelle aree in corrispondenza del reticolo idrografico esiste un basso rischio per i lavoratori, pari ad 1.5 volte il rischio accettabile nelle condizioni più estreme;
- c. in tutto il resto dell'area il rischio è accettabile, essendo fino a 1.5 volte più basso rispetto al limite accettabile.

Inoltre, poiché la accettabilità del rischio dipende dal tempo di esposizione, oltre che dalle caratteristiche del potenziale inquinante, qualsiasi attività che richieda una esposizione inferiore a 180 giorni l'anno dei lavoratori determina una riduzione del rischio.

A4.3 - Analisi modellistico-quantitativa del rischio di secondo livello – (c) analisi del rischio sanitario Il rischio igienico-sanitario connesso ai suoli contaminati delle aree agricole adiacenti al nastro trasportatore ENEL ed alla Centrale Federico II di Cerano (Brindisi) è stato anche valutato utilizzando un approccio modellistico non informatizzato basato su analisi numerica di dati sito specifici in accordo ai criteri descritti nel documento "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati" (Rev.2, marzo 2008), redatto da APAT, ARPA, ISS, ISPESL. L'aggiunta di un approccio numerico analitico all'analisi di rischio informatizzata è finalizzato ad una valutazione in contesto di riduzione dei livelli di incertezza intrinseci alle analisi di rischio.

Per questa analisi, sono stati ipotizzati i seguenti possibili scenari:

1. Rischio acuto sugli operatori agricoli e/o su personale impiegato per la messa in sicurezza delle aree contaminate
2. Rischio cronico non cancerogeno e cancerogeno per:
  - esposizione professionale (inalazione, contatto dermico e ingestione) ai suoli agricoli contaminati;
  - per contatto con materiale vegetale prodotto all'interno dell'area contaminata con particolare riferimento alle piante del genere *Eucalyptus*.

Rischio acuto. La valutazione del rischio acuto è stata oggetto di due relazioni già prodotte, che ad ogni buon conto si allegano, relativamente alla possibilità di autorizzare la le attività di manutenzione ordinaria dei terreni e la piantumazione di specie arboree ad alto fusto in funzione di barriera.

La procedura applicata di valutazione del rischio acuto presenta caratteristiche peculiari in funzione del quesito posto, nonché del contesto specifico e prevede un adattamento delle metodologie applicate agli ambienti di lavoro. In questo senso, sulla base delle linee guida ISPESL, sono state individuate ed esaminate quattro fasi:

- Identificazione delle sorgenti di rischio;
- Valutazione dell'esposizione;
- Valutazione del rischio;
- Gestione del rischio.

La procedura utilizzata ha esitato nella formulazione di un parere corredato dall'indicazione delle misure di prevenzione e protezione atte alla diminuzione del rischio ipotizzato per i lavoratori coinvolti e le misure di buona tecnica da adottare.

Rischio cronico. Tutte le valutazioni sono state improntate al principio del "Caso peggiore (Worst case)" e della Massima Ragionevole Esposizione (Reasonable Maximum Exposure-RME)", pertanto si ritengono sufficientemente cautelative da un punto di vista igienico sanitario. Si è fatto riferimento alla procedura RBCA (Risk-Based Corrective Action), in particolare, è stata effettuata una valutazione del rischio di secondo livello adottando le metodologie contenute nel documento "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati" (Rev.2, marzo 2008), redatto da APAT, ARPA, ISS, ISPESL. Sono stati inoltre calcolati i valori di concentrazione soglia di rischio (CSR) o Site Specific Target Levels (SSTL), ossia i valori di concentrazione nelle matrici ambientali che possono essere considerati quali obiettivi di bonifica.

La presente analisi è riferita ai risultati dell'analisi di rischio di I grado effettuata da Sviluppo Italia ed è centrata sui tre principali contaminanti: Arsenico (As), Berillio (Be) e Vanadio (V). In particolare, per l'As si è stabilito di effettuare l'analisi del rischio sia sull'intera quantità determinata analiticamente sia solo sulla porzione che dalle analisi chimiche effettuate è risultata maggiormente disponibile (As\*). Sulla base degli scenari di disponibilità dell'As prospettati dall'unità operativa di chimica inorganica (WP3) si è deciso, pertanto, di utilizzare 10.5% quale valore prudenziale identificativo dell'As disponibile rispetto all'As totale.

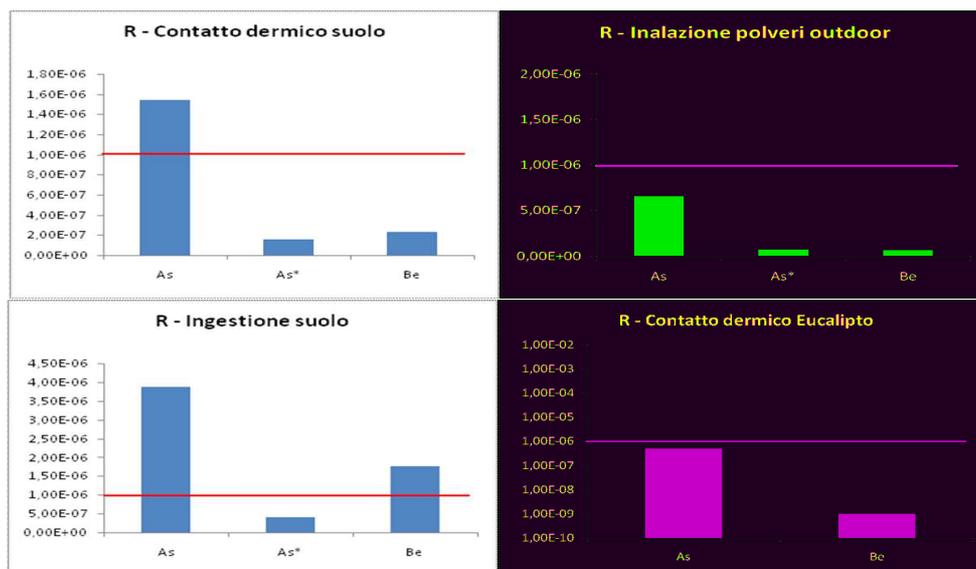
La stima quantitativa del rischio inerente l'effetto tossico non cancerogeno evidenzia valori in nessun caso superiori al limite di accettabilità, pari a 1 [adim].

	As	As*	Be	V
Contatto dermico suolo	0,010	0,001	0,0001	0,0005
Inalazione polvere outdoor	0,0004	0,00004	0,003	0,004
Ingestione suolo	0,024	0,003	0,001	0,004
Contatto dermico Eucalyptus	0,003	-	$3,23 \times 10^{-7}$	$9,23 \times 10^{-8}$

La valutazione del rischio cancerogeno, invece, evidenzia superamento del limite di accettabilità (pari a 1 caso incrementale su  $10^6$  esposti) per l'arsenico totale (contatto dermico e ingestione di suolo) e per il berillio (ingestione), mentre As\* dimostra un rischio accettabile in tutti gli scenari di esposizione ipotizzati. Il contatto dermico con le piante di eucalipto, infine, non sembra provocare effetti cancerogeni derivanti dal possibile assorbimento di arsenico e berillio (Figura A14).

Nella tabella a destra sono riportati i valori della concentrazione soglia di rischio (CSR) per Arsenico, Berillio e Vanadio calcolati mediante la procedura inversa, così come indicato dalle linee guida APAT, che possono essere considerati quali obiettivi di bonifica.

	CSR (ppm)
Arsenico	3,815
Berillio	1,331
Vanadio	1431



**Figura A14.** Analisi del rischio per diverse tipologie di contatto e di contaminanti

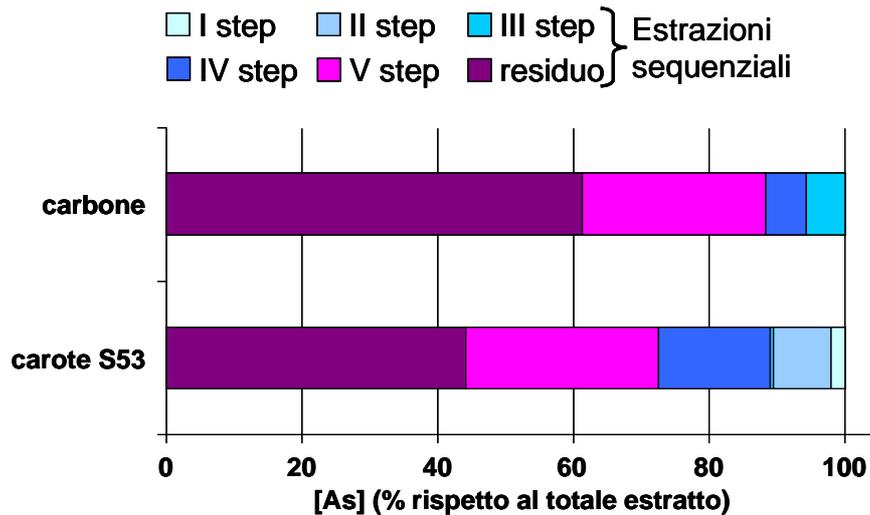
Dall'analisi dei dati emerge che il valore della concentrazione soglia di rischio è stato superato dall'arsenico e dal berillio mentre il vanadio ha fatto registrare valori sempre abbondantemente al di sotto della soglia calcolata. Per quanto riguarda l'Arsenico la distribuzione e la frequenza dei valori di non accettabilità variano sensibilmente a seconda dello scenario considerato. Considerando l'Arsenico totale, infatti, si registra il superamento della CSR nel 97,1% dei casi, mentre se si considera la frazione biodisponibile (As\*) il superamento ha riguardato solo il 2,88% dei casi. La concentrazione di berillio nel suolo è risultata superiore alla CSR nell'80,7% dei campioni esaminati. Per quanto concerne le determinazioni condotte sui campioni di eucalipto si è avuto superamento della concentrazione soglia di rischio in un caso su 5 relativamente al parametro arsenico.

#### **A5 - Valutazione del rischio ed indicazione delle linee di intervento -**

L'insieme dei dati raccolti consente di effettuare valutazioni sui tre punti centrali dell'analisi di rischio, fonti, rischio e bersagli, e di indicare quindi le vie di intervento necessarie per l'utilizzo delle aree in condizioni conservative di rischio.

I dati raccolti nella presente analisi di rischio ed il confronto con quelli disponibili indica con chiarezza la presenza nell'area del SIN di Brindisi di diverse fonti di contaminazione da arsenico. Per caratteristiche chimiche e distribuzione verticale delle caratteristiche stesse, la natura dell'arsenico nei terreni dell'area SISRI è si differenzia ampiamente da quella descritta per l'area oggetto di questo studio.

Nell'area oggetto del presente studio, l'insieme dei dati raccolti indica che l'arsenico presente è in una forma particolata 'occlusa' che mostra compatibilità con una origine particolata connessa ad attività nella Centrale ENEL Federico II, più che ad attività di trasporto lungo l'asse attrezzato. In Figura A15 sono confrontati i profili di cessione dell'arsenico nei terreni dell'area oggetto del presente studio con quelli riscontrati nei campioni di carbone resi disponibili da ENEL ed è evidenziata la compatibilità. Inoltre,



**Figura A15:** confronto tra i profili di cessione dell'arsenico nei terreni dell'intorno del punto S53 e nei campioni di carbone

la distribuzione spaziale della contaminazione riscontrata da SI nell'analisi di rischio di primo livello e le analisi ecotossicologiche sono concordi nell'indicare nel carbonile una fonte più probabile di contaminazione.

L'ipotesi di una prevalente dipendenza della contaminazione nell'area oggetto del presente studio dal carbone coinvolto nelle attività di stoccaggio nella Centrale ENEL Federico II ha due immediate implicazioni che riguardano il rischio e la mitigazione.

Per quanto concerne il rischio, pur essendo il carbone importato nell'area di studio, la tipologia del materiale è completamente naturale e la natura minerale rende l'arsenico per larga parte inerte, non coinvolto o coinvolgibile, in tempi brevi nell'area di studio, in processi biologici di assorbimento e trasferimento, tanto negli ecosistemi quanto nel sistema gastrointestinale umano. Questa caratteristica dell'arsenico nell'area ne riduce fortemente la pericolosità localizzata e rende necessario valutare il rischio sulla base della disponibilità chimica effettiva e della biodisponibilità stimata. D'altro canto, richiede la realizzazione immediata di una rete di monitoraggio della concentrazione di arsenico e delle sue forme chimiche negli ecosistemi a valle delle vie di dispersione, costituite essenzialmente da falda e vie di scorrimento superficiale.

A livello delle fonti, utilizzando il principio della massima cautela, sono individuate due linee di intervento:

1. a livello completamente tutelativo, viene indicato un intervento di mitigazione e riduzione della fonte potenziale più probabile, attraverso un miglioramento delle pratiche di gestione del carbone internamente alla Centrale ENEL Federico II, con particolare riferimento alla gestione del carbonile. I dati raccolti sui campioni di top soil nell'ambito del presente studio suggeriscono una riduzione della contaminazione nel periodo successivo alla analisi effettuata da SI. Per quanto infatti i dati non siano completamente confrontabili per numerosità completamente differente, il ri-campionamento con disegno completamente casuale di alcune aree oggetto dell'analisi di Caratterizzazione ha indicato una riduzione generalizzata delle concentrazioni di tutti i contaminanti metallici e metalloidi di cui va comunque tenuto conto nel definire gli scenari di intervento.

2. Intervento di controllo lungo le vie di diffusione. L'area costiera del SIN di Brindisi è caratterizzata da ecosistemi acquatici di transizione denominati 'Saline di Punta la Contessa' che hanno carattere di pregio particolare per la loro attrattività nei confronti della fauna ornitica. In questa area ed in tutte quelle oggetto di emergenza della falda è opportuno effettuare approfondimenti su possibili livelli e forme di contaminazione e scorrimento biologico. E' pertanto necessario sviluppare un monitoraggio biologico del rischio per gli ecosistemi acquatici superficiali, potenziale bersaglio principale, ed una valutazione della presenza di contaminazione nella fauna, particolarmente nella fauna ornitica.

Per quanto concerne il rischio, va innanzitutto premesso, come evidenziato già ripetutamente in precedenti paragrafi di questa relazione, che è stata principalmente affrontato il rischio derivante dalla contaminazione da arsenico, essendo questo il più tossico tra i contaminanti presenti in modo diffuso nell'area. Va anche premesso che, per le caratteristiche della contaminazione di arsenico nell'area, il rischio va definito non in base alla concentrazione di arsenico totale presente nell'area ma a quella dell'arsenico chimicamente disponibile in condizioni compatibili con quelle del terreno e potenzialmente bio-disponibile. Nell'analisi effettuata sono stati disegnati differenti scenari; tra questi, lo scenario utilizzato per lo sviluppo dell'analisi di rischio nelle condizioni più realistiche è quello che considera un concentrazione bio-disponibile pari al 10.5% della concentrazione dell'arsenico totale, attuando il principio della massima cautela e considerando bio-disponibile tutto l'arsenico chimicamente disponibile e non solo la forma trivalente, realmente biodisponibile, che costituisce circa il 3.1% dell'arsenico totale disponibile.

Anche tenuto conto della migliore stima di bio-disponibilità, i risultati dell'analisi effettuata indicano che l'area di studio richiede attenzione. I risultati dell'analisi di rischio e di rischio sanitario evidenziano la presenza di fattori di rischio cronico vicini, come limite superiore ed inferiore al rischio accettabile. Tenendo conto che nella definizione del rischio intervengono due componenti essenziali, tossicità dei potenziali contaminanti ed esposizione, la modulazione del rischio può essere effettuata sulla base dell'esposizione, considerando compatibili alla coltura essenze vegetali no-food che richiedano bassa frequenza di pratiche agricole. La riduzione della esposizione da 180 giorni lavorativi a 120 giorni lavorativi riduce drasticamente il rischio rendendolo in tutte le aree ben al di sotto del rischio accettabile. Anche relativamente al rischio ed alle forme di uso del suolo consentite compatibilmente al rischio accettabile ci sono alcuni punti rilevanti da sottolineare che identificano delle linee di intervento.

Per quanto concerne le essenze vegetali compatibili con la coltivazione, in accordo con il recente documento ARPA Puglia, relativo al rischio sanitario per la posa in campo di piante ad alto fusto ornamentali, i risultati delle diverse componenti di questa analisi di rischio evidenziano due caratteristiche fondamentali delle essenze vegetali che ne rendono compatibile l'uso nell'area di studio:

- a. La necessità di pratiche agricole limitate, con un numero di giornate lavorative comprese tra 120 e 180, che riducendo l'esposizione abbassa il rischio; e
- b. L'utilizzo di piante con ciclo biologico lungo, che nelle analisi di laboratorio di bio-concentrazione dell'arsenico hanno manifestato tassi di

assorbimento e bio-concentrazione significativamente inferiori a quelli riscontrati per piante ad breve ciclo di crescita.

Nel rispetto di queste due condizioni, sia l'utilizzo di piante ornamentali a fini di una commercializzazione, sia quello di piante per la produzione di energia da biomassa sono da ritenersi compatibili con le condizioni dell'area.

Relativamente alle piante ornamentali, una valutazione del rischio da contatto effettuata su foglie di eucaliptus ha evidenziato l'accettabilità del rischio. L'uso di eucaliptus come pianta ornamentale commercializzabile è quindi considerato compatibile con le condizioni dell'area certificate dall'analisi di rischio di primo grado poiché il relativo rischio è risultato accettabile. Nel caso di uso di piante ornamentali ad alto fusto diverse da eucaliptus, in considerazione della dinamica in atto relativamente alla attività delle fonti di contaminazione ed alla eterogeneità evidenziata tra specie vegetali nei tassi di assorbimento e bio-concentrazione dell'arsenico, viene indicato come intervento necessario un monitoraggio chimico della concentrazione di arsenico nelle piante. L'intervento ha un duplice obiettivo, definirne il percorso di utilizzo tra commercializzazione come pianta ornamentale o utilizzo per la produzione di energia da biomassa e rendere progressivamente disponibile l'uso di un set più ampio di piante ornamentali se le condizioni di contaminazione nell'area evidenziano miglioramenti significativi. Per quanto riguarda l'ipotesi di dover destinare le piante ornamentali a produzione di energia da biomasse, che sulla base dei dati disponibili sembra avere una probabilità bassa in quanti tutti i dati raccolti sembrano indicare un miglioramento dello stato di salute dell'area interessata, si ritiene opportuno investigare la possibilità di inserire la biomassa così prodotta nei cicli di valorizzazione energetica dei grandi impianti.

Relativamente alle piante coltivate per produrre energia da biomasse, nel rispetto delle indicazioni evidenziate nei due punti presendenti, l'analisi di rischio effettuata indica compatibilità. Questa indicazione è supportata sia dai dati di assorbimento e bio-concentrazione nelle condizioni di laboratori, sia dal set pur parziale e limitato di dati raccolti sul materiale vegetale residuo nei terreni circostanti il nastro trasportatore. La concentrazione media di As nel materiale vegetale rientra infatti comunque nell'intervallo di concentrazione delle impurità di As in altri combustibili quali ad esempio il carbone. Compatibilmente con i tempi delle pratiche agricole che limitino l'esposizione dei lavoratori, si ritiene possibile autorizzare anche l'uso di piante a rapida crescita e ciclo breve che, in una prima fase, possono rappresentare anche una forma biologica di mitigazione della contaminazione, come individuato dall'U.O. di Ingegneria nella sezione di questa analisi destinata ad individuare i percorsi di una eventuale bonifica che, alla luce dei risultati acquisiti, non risulta comunque necessaria. L'uso di piante da produzione di biomassa a rapida crescita viene quindi indicato come intervento di mitigazione e recupero ad uso più ampio dei terreni e non come intervento di bonifica.

Per quanto concerne l'uso di piante a fini alimentari, alla cui definizione questa analisi di rischio non è diretta, si ritiene necessario uno studio scientifico, ben più approfondito, che ne stabilisca inequivocabilmente l'accettabilità, che allo stato attuale non appare garantita, sia per i livelli di rischio riscontrati, sia per la capacità di

concentrazione evidenziata da alcune delle piante utilizzate per i test di laboratorio. Anche in questo caso lo sviluppo di un sistema di monitoraggio sistematico delle concentrazioni di As nel materiale vegetale, nelle diverse parti e a diverso stadio del ciclo di crescita, è componente essenziale per un progressivo affinamento della presente analisi di rischio.

Altre possibili forme di uso dei terreni, come quelle connesse alla produzione energetica da fonti rinnovabili, sono compatibili con le condizioni dell'area qualora richiedano tempi di esposizione dei lavoratori inferiori ai 180 giorni l'anno e non comportino rischi sanitari inaccettabili per i lavoratori nella fase di installazione degli impianti. Per questo punto, in rapporto alle specifiche modalità di installazione, si può rendere necessaria una estensione dell'apposita analisi di rischio sanitario effettuata da ARPA Puglia relativamente alla messa in coltura di essenze vegetali commercializzabili come piante ornamentali ad alto fusto.

Per quanto concerne le vie di trasferimento e dispersione della contaminazione, la presente analisi di rischio, individuando il trasporto solido in sospensione come forma di dispersione, individua anche le criticità ed i rischi che richiedono puntuali interventi di controllo e monitoraggio. In particolare questa forma di trasporto rende possibili accumuli localizzati nelle risorgive nelle aree umide di transizione costiere e lungo il reticolo idrografico superficiale. Trattandosi di aree interne ad area protetta e colonizzate da specie ornitiche ad elevata valenza naturalistica, che includono specie nelle liste di protezione, si ritengono necessari interventi di monitoraggio dello stato ecologico delle comunità acquatiche e di analisi delle concentrazioni di contaminanti negli organismi e di trasferimento fino alle specie ornitiche di maggiore pregio.

Come ultimo punto, viene nuovamente sottolineato come la situazione dell'area mostri una evoluzione che richiede la realizzazione di un monitoraggio della situazione allo stato attuale; l'analisi di Caratterizzazione effettuata da SI è infatti basata su campionamenti effettuati nel 2005/2006, che possono descrivere livelli di contaminazione maggiori rispetto a quelli attuali. I dati di distribuzione verticale e di natura chimica dell'arsenico indicano che l'azione di monitoraggio può essere ristretta al primo metro di profondità ma richiede una analisi almeno una volta l'anno delle forme chimiche con cui l'arsenico è presente nell'area, poiché tutte le valutazioni qui effettuate si basano sulle stime di bio-disponibilità.

In conclusione:

1. In assenza di dati sulla biodisponibilità dell'arsenico nell'area era ipotizzabile un elevato rischio per la salute dell'uomo;
2. La natura dell'arsenico nell'area oggetto del presente studio ed i dati di biodisponibilità evidenziati mostrano per tutta l'area un rischio prossimo ai livelli di accettabilità e, conseguentemente, modulabile attraverso un controllo della esposizione, delle modalità di esposizione ed una serie di misure di mitigazione;
3. L'osservazione di segnali di riduzione della contaminazione rispetto ai valori registrati da SI nell'analisi di Caratterizzazione sostiene la considerazione effettuata nel punto precedente di una accettabilità controllata del rischio, pur richiedendo ulteriori approfondimenti;

4. I dati raccolti non consentono una univoca individuazione della fonte di contaminazione ma indicano, tuttavia, come fonte più probabile il carbonile della Centrale ENEL Federico II, pur essendo necessari ulteriori approfondimenti analitici di tipo cristallografico per determinare l'esatta natura chimica dell'arsenico 'occluso' nei terreni dell'area in oggetto;
5. In accordo con le analisi di rischio sanitario per gli operatori coinvolti nella piantumazione, i risultati dell'analisi di rischio indicano ammissibile la coltivazione nell'area di specie vegetali non destinate ad uso alimentare, in cui le attività agricole richiedano lavorazioni del terreno per meno di 180 giorni. Come tipologie di specie vegetali ammissibili sono indicate:
  - a. Specie ornamentali ad alto fusto, per una delle quali, l'eucalyptus, è stata anche già evidenziato rischio accettabile da contatto dermico;
  - b. Specie ad alto fusto, o comunque con ciclo biologico lungo, per la produzione di energia da biomassa;
  - c. Specie a rapida crescita per produzione di energia da biomassa e dopo verifica su campione rappresentativo della concentrazione di arsenico ed altri potenziali contaminanti nella componente aerea delle piante destinata a combustione. Tale intervento è inteso anche come intervento biologico di mitigazione, in accordo alle indicazioni date dall'U.O. di Ingegneria al capitolo 4 della relazione estesa.
6. Sulla base delle evidenze, a fini precauzionali, le coltivazioni indicate al punto precedente devono richiedere una lavorazione del terreno che, fatte salve le modalità di impianto, non interessi gli strati profondi (max 1 m di profondità);
7. Sulla base delle evidenze raccolte sono indicati come compatibili usi del suolo per la produzione energetica da fonte solare, compatibilmente con i rischi derivanti dalle attività di impianto, che dovranno essere oggetto di specifico approfondimento e con la esposizione associata alle attività di esercizio;
8. In considerazione delle attuali evidenze sui livelli di rischio è indicata una serie di controlli sull'area utili ai fini di una migliore gestione dell'area stessa:
  - a. Monitoraggio dello stato di evoluzione della contaminazione dei suoli nell'area, onde poter riformulare l'analisi di rischio a valle della validazione di una ipotesi di riduzione della contaminazione;
  - b. Monitoraggio dell'acqua utilizzata per l'irrigazione;
  - c. Monitoraggio della presenza di contaminanti sul materiale vegetale no-food di cui è ammessa la coltivazione; il monitoraggio su campione va effettuato lungo tutto il ciclo di crescita delle piante;
9. Ai fini di una valutazione del possibile riutilizzo dell'area anche per piante a destinazione alimentare è indicata la realizzazione di campi sperimentali il cui prodotto non sia ammissibile alla commercializzazione ma finalizzato esclusivamente ad una attività di controllo in itinere da parte di ARPA o enti di ricerca sul livello di contaminazione.
10. In termini di cautela e sulla base delle valutazioni effettuabili nella ipotesi più probabile di origine della contaminazione vengono suggeriti adeguati interventi di mitigazione sul carbonile, volti comunque a ridurre la diffusione potenziale delle polveri di carbone.
11. In considerazione delle vie di trasporto e migrazione dell'arsenico nell'area, si rendono necessari approfondimenti diretti alla valutazione di rischi per

l'ecosistema e trasferimenti di rischio su matrici ambientali non direttamente influenzate dalla contaminazione; in particolare si rende necessario:

- a. Una analisi della contaminazione nelle aree di risalita della falda in corrispondenza delle zone umide costiere e della fascia marina costiera;
- b. Una analisi della eventuale contaminazione della fauna di invertebrati bentonici fonte trofica principale di numerose specie ittiche e di fauna ornitica migratrice;
- c. Un monitoraggio dello stato ecologico delle aree umide costiere attraverso l'elemento biologico di qualità macro-benthos, come strumento a basso costo ed alto contenuto informativo dei livelli di contaminazione;
- d. Un monitoraggio della concentrazione di arsenico nei tessuti della fauna ornitica migratoria in entrata ed in uscita dall'area, ai fini di valutare eventuali fenomeni di dispersione su larga scala e di minaccia a specie ad elevato valore naturalistico, e/o indicate come specie minacciate o a rischio di estinzione.



# APAT

Agenzia per la protezione dell'ambiente  
e per i servizi tecnici

*Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici*  
*Servizio Interdipartimentale per le Emergenze Ambientali*  
*Settore Siti Contaminati*

***GRUPPO DI LAVORO "ANALISI DI RISCHIO" APAT-ARPA-ISS-ISPEL***

\* \* \*

**Documento di riferimento per la determinazione e la validazione dei  
parametri sito-specifici utilizzati nell'applicazione dell'analisi di  
rischio ai sensi del DLgs 152/06**

\* \* \*

Ottobre 2007

Elaborato da:

Ing. Laura D'Aprile, APAT (laura.daprile@apat.it)

Ing. Simona Berardi, ISPESL (simona.berardi@ispesl.it)

Condiviso da:

ISS: Eleonora Beccaloni, Fabrizio Falleni, Loredana Musmeci

ARPA Basilicata: Rocco Masotti, Giampietro Summa

ARPA Campania: Federico Silvestri, Marinella Vito

ARPA Emilia Romagna: Daniela Ballardini, Annamaria Colacci, Saverio Giaquinta

ARPA Friuli Venezia-Giulia: Davide Brandolin

ARPA Liguria: Tiziana Pollero

ARPA Lombardia: Laura Bellaria, Rocco Racciatti

ARPA Marche: Manrico Marzocchini

ARPA Piemonte: Maurizio Di Tonno, Carlo Manzo

ARPA Sardegna: Sergio Pilurzu

ARPA Sicilia: Vincenzo Bartolozzi, Francesco D'Urso, Gaetano Valastro,

ARPA Toscana: Fabrizio Franceschini, Marcello Panarese, Stefano Santi, Milo Vignali

ARPA Umbria: Andrea Sconocchia

ARPA Valle d'Aosta: Fulvio Simonetto, Pietro Capodaglio

ARPA Veneto: Federico Fuin

Regione Veneto: Paolo Campaci, Giuliano Vendrame

Regione Emilia-Romagna: Claudia Ferrari

Regione Lombardia: Nicola di Nuzzo, Cosimo Biandolino

Regione Sardegna: Gianluca Sanna

Si ringraziano in particolare per i preziosi suggerimenti:

Loredana Musmeci (ISS), Federico Fuin (ARPA Veneto), Carlo Moretto (ARPA Veneto), Leonardo Arru (APAT), Maurizio Di Tonno (ARPA Piemonte), Carlo Manzo (ARPA Piemonte), Laura Bellaria (ARPA Lombardia), Rocco Racciatti (ARPA Lombardia), Ivan Maria Castellani (ARPA Trento), Davide Brandolin (ARPA Friuli Venezia Giulia), Fabrizio Franceschini (ARPA Toscana), Giampietro Summa (ARPA Basilicata), Pietro Capodaglio (ARPA Valle d'Aosta), Fulvio Simonetto (ARPA Valle d'Aosta), Daniela Ballardini (ARPA Emilia-Romagna)

## INDICE

PREMESSA .....	6
SCHEDA 1 – PROFONDITÀ DEL PIANO DI FALDA ( $L_{GW}$ ) .....	9
SCHEDA 2 – SPESSORE DELLA ZONA INSATURA ( $h_v$ ).....	10
SCHEDA 3 – ESTENSIONE DELLA SORGENTE DI CONTAMINAZIONE NELLA DIREZIONE PRINCIPALE DEL VENTO ( $W'$ ).....	11
SCHEDA 4 – ESTENSIONE DELLA SORGENTE DI CONTAMINAZIONE NELLA DIREZIONE ORTOGONALE A QUELLA PRINCIPALE DEL VENTO ( $S_w'$ ).....	13
SCHEDA 5 – AREA DELLA SORGENTE RISPETTO ALLA DIREZIONE PREVALENTE DEL VENTO ( $A'$ ) .....	15
SCHEDA 6 –PROFONDITÀ DEL TOP DELLA SORGENTE NEL SUOLO SUPERFICIALE RISPETTO AL P.C. ( $L_s(SS)$ ).....	16
SCHEDA 7 –PROFONDITÀ DEL TOP DELLA SORGENTE NEL SUOLO PROFONDO RISPETTO AL P.C. ( $L_s(SP)$ ).....	17
SCHEDA 8 –PROFONDITÀ DELLA BASE DELLA SORGENTE RISPETTO AL P.C. ( $L_t$ ) .....	18
SCHEDA 9 –SPESSORE DELLA SORGENTE NEL SUOLO PROFONDO INSATURO ( $d_s$ ) .....	19
SCHEDA 10 – SPESSORE DELLA SORGENTE NEL SUOLO SUPERFICIALE INSATURO ( $d$ ) .....	20
SCHEDA 11 –SOGGIACENZA DELLA FALDA RISPETTO AL TOP DELLA SORGENTE ( $L_F$ ).....	21

<b>SCHEDA 12 - DENSITÀ DEL SUOLO (<math>\rho_s</math>).....</b>	<b>22</b>
<b>SCHEDA 13 –INFILTRAZIONE EFFICACE (<math>I_{ef}</math>).....</b>	<b>24</b>
<b>SCHEDA 14 – FRAZIONE DI CARBONIO ORGANICO NEL SUOLO INSATURO (<math>f_{oc}</math>)... </b>	<b>27</b>
<b>SCHEDA 15 –pH DEL SUOLO INSATURO (pH) .....</b>	<b>29</b>
<b>SCHEDA 16 – SPESSORE DELLA FALDA (<math>d_a</math>).....</b>	<b>31</b>
<b>SCHEDA 17 – ESTENSIONE DELLA SORGENTE NELLA DIREZIONE DEL FLUSSO DI FALDA (W).....</b>	<b>32</b>
<b>SCHEDA 18 – ESTENSIONE DELLA SORGENTE NELLA DIREZIONE ORTOGONALE AL FLUSSO DI FALDA (<math>S_w</math>) .....</b>	<b>33</b>
<b>SCHEDA 19 –AREA DELLA SORGENTE RISPETTO ALLA DIREZIONE DEL FLUSSO DI FALDA (A).....</b>	<b>34</b>
<b>SCHEDA 20 – ESTENSIONE DELLA SORGENTE DI CONTAMINAZIONE IN FALDA NELLA DIREZIONE PRINCIPALE DEL VENTO (W') .....</b>	<b>35</b>
<b>SCHEDA 21 – ESTENSIONE DELLA SORGENTE DI CONTAMINAZIONE IN FALDA NELLA DIREZIONE ORTOGONALE A QUELLA PRINCIPALE DEL VENTO (<math>S_w'</math>) .....</b>	<b>37</b>
<b>SCHEDA 22 – AREA DELLA SORGENTE IN FALDA RISPETTO ALLA DIREZIONE PREVALENTE DEL VENTO (A') .....</b>	<b>39</b>
<b>SCHEDA 23 –VELOCITÀ DI DARCY (<math>v_{gw}</math>) .....</b>	<b>40</b>
<b>SCHEDA 24 – CONDUCIBILITÀ IDRAULICA DEL TERRENO SATURO (<math>K_{sat}</math>) .....</b>	<b>41</b>
<b>SCHEDA 25 –GRADIENTE IDRAULICO (i) .....</b>	<b>42</b>
<b>SCHEDA 26 –FRAZIONE DI CARBONIO ORGANICO NEL SUOLO SATURO (<math>f_{oc}</math>).....</b>	<b>44</b>

<b>SCHEDA 27 – pH DEL SUOLO SATURO (pH).....</b>	<b>45</b>
<b>SCHEDA 28 –VELOCITÀ DEL VENTO (<math>U_{air}</math>).....</b>	<b>47</b>
<b>SCHEDA 29 –SUPERFICIE TOTALE COINVOLTA NELL'INFILTRAZIONE (<math>A_b</math>) .....</b>	<b>49</b>
<b>SCHEDA 30 – SPESSORE DELLE FONDAZIONI/MURI (<math>L_{crack}</math>) .....</b>	<b>50</b>
<b>SCHEDA 31 - RAPPORTO TRA VOLUME INDOOR ED AREA DI INFILTRAZIONE (<math>L_b</math>) .....</b>	<b>51</b>
<b>SCHEDA 32 – DISTANZA TRA IL TOP DELLA SORGENTE NEL SUOLO INSATURO (O IN FALDA) E LA BASE DELLE FONDAZIONI (<math>L_T</math>).....</b>	<b>53</b>
<b>SCHEDA 33 – PROFONDITÀ DELLE FONDAZIONI (<math>Z_{crack}</math>).....</b>	<b>55</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>56</b>

## PREMESSA

Il presente documento è stato elaborato allo scopo di fornire ai tecnici degli Enti di Controllo un riferimento tecnico per la determinazione e la validazione di alcuni parametri sito specifici da utilizzare nell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del DLgs 152/06.

**Ai fini del presente documento per *validazione* si intende l'insieme delle valutazioni e delle verifiche effettuate dall'Ente di Controllo in fase istruttoria per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente nell'elaborazione dell'analisi di rischio sito-specifica, con particolare riferimento ad alcuni parametri di input.**

In conformità con quanto riportato nella nota APAT prot. 009642 del 21 Marzo 2007, condivisa nell'ambito del gruppo di lavoro APAT-ARPA-ISS-ISPEL ed acquisita dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare al prot. 8242/QdV/DI del 26/03/07, nel presente documento vengono trattati quei parametri caratteristici del sito che, ai fini dell'elaborazione di un'analisi di rischio sito-specifica, debbono essere determinati esclusivamente mediante verifiche e/o indagini dirette.

E' infatti noto che l'applicazione dell'analisi di rischio di Livello 2 (sito-specifica) si differenzia dall'analisi di rischio di Livello 1 (sito-generica) proprio in virtù dell'utilizzo di parametri sito specifici e non di default. In particolare è necessario l'utilizzo di valori caratteristici del sito oggetto di studio per i parametri che, sulla base delle risultanze dell'analisi di sensitività riportata nell'Appendice N del manuale "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati", rev.1, influenzano maggiormente le equazioni analitiche relative ai Fattori di Trasporto. Tali parametri riguardano essenzialmente la geometria e le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche della sorgente di contaminazione in zona satura ed insatura, le caratteristiche degli spazi aperti e confinati, alcuni parametri chimici e fisici caratteristici del suolo e la velocità del vento.

In particolare occorre osservare che sono stati inseriti nell'elenco ulteriori parametri per i quali è richiesta una valutazione sito-specifica:

- il pH del suolo insaturo e saturo, poiché la variazione di tale parametro può comportare ampie variazioni del coefficiente di partizione suolo/acqua  $K_d$  di alcune specie chimiche, ed in particolare degli acidi organici e di gran parte dei metalli;
- la densità del suolo  $\rho_s$  poiché, nonostante a tale parametro corrisponda una bassa sensitività, la sua determinazione sito specifica viene solitamente eseguita in fase di caratterizzazione, nei casi in cui è tecnicamente e/o economicamente possibile il prelievo di campioni indisturbati. A

discrezione del proponente è inoltre possibile determinare su base sito-specifica il valore del coefficiente di ripartizione solido-liquido ( $K_d$ ) secondo il metodo suggerito da APAT ed ISS e riportato nella nota APAT 011376 del 4 Aprile 2007 pubblicata sul sito dell'Agenzia al seguente indirizzo:

[http://www.apat.gov.it/site/\\_files/Suolo\\_Territorio/TEC\\_metodo.pdf](http://www.apat.gov.it/site/_files/Suolo_Territorio/TEC_metodo.pdf)

In tabella 1 è riportato un elenco dei 33 parametri suddivisi in relazione ai comparti ambientali di appartenenza: Suolo insaturo, Suolo saturo, Ambienti aperti/confinati.

**Tabella 1: Parametri sito-specifici da determinare mediante verifiche/indagini dirette**

n.	SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA
<b>SUOLO INSATURO</b>			
1	$L_{GW}$	Profondità del piano di falda	cm
2	$h_v$	Spessore della zona insatura	cm
3	$W'$	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento	cm
4	$S_w'$	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione ortogonale a quella principale del vento	cm
5	$A'$	Area della sorgente (rispetto alla direzione prevalente del vento)	cm <sup>2</sup>
6	$L_s(SS)$	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.	cm
7	$L_s(SP)$	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.	cm
8	$L_f$	Profondità della base della sorgente rispetto al p.c.	cm
9	$d_s$	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)	cm
10	$d$	Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)	cm
11	$L_F$	Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente	cm
12	$\rho_s$	Densità del suolo	g/cm <sup>3</sup>
13	$I_{ef}$	Infiltrazione efficace	cm/anno
14	$f_{oc}$	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo	g-C/g-suolo
15	pH	pH del suolo insaturo	adim.
<b>SUOLO SATURO</b>			
16	$d_a$	Spessore della falda	cm
17	$W$	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda	cm
18	$S_w$	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda	cm
19	$A$	Area della sorgente (rispetto alla direzione del flusso di falda)	cm <sup>2</sup>
20	$W'$	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento	cm
21	$S_w'$	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione ortogonale a quella principale del vento	cm
22	$A'$	Area della sorgente (rispetto alla direzione prevalente del vento)	cm <sup>2</sup>
23	$v_{gw}$	Velocità di Darcy	cm/anno
24	$K_{sat}$	Conducibilità idraulica del terreno saturo	cm/anno
25	$i$	Gradiente idraulico	adim.
26	$f_{oc}$	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo
27	pH	pH del suolo saturo	adim.
<b>AMBIENTI APERTI/CONFINATI</b>			
28	$U_{air}$	Velocità del vento	cm/s
29	$A_b$	Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione	cm <sup>2</sup>
30	$L_{crack}$	Spessore delle fondazioni/muri	cm
31	$L_b$	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (RES. O IND.)	cm
32	$L_T$	Distanza tra il top della sorgente nel suolo insaturo (in falda) e la base delle fondazioni	cm
33	$Z_{crack}$	Profondità delle fondazioni	cm

Il presente documento è suddiviso in 33 schede nelle quali, per i singoli parametri sito specifici individuati, sono riportate le seguenti informazioni:

- denominazione del parametro e simbologia utilizzata all'interno del manuale APAT-ARPA-ISS-ISPEL rev.1 ([www.apat.it](http://www.apat.it));
- unità di misura;
- valore di default (manuale APAT-ARPA-ISS-ISPEL rev.1 ([www.apat.it](http://www.apat.it)) Tab 5.2);
- definizione;
- modalità di determinazione;
- identificazione del valore maggiormente conservativo;
- modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo
- eventuali note.

In merito alle analisi granulometriche, che devono essere richieste in fase di caratterizzazione del sito per una corretta individuazione della tessitura del suolo, è possibile fare riferimento ai metodi riportati nelle norme e negli standard tecnici esistenti (ASTM, UNI, ISO, CNR, AGI, Metodi di Analisi Fisica del Suolo (MAFS), ecc.).

E' comunque necessario che il proponente si adegui al metodo utilizzato dall'Ente di Controllo. Il proponente, dopo aver individuato, secondo criteri di ragionevole conservatività e di concerto con l'Ente di Controllo, gli strati di terreno omogenei rappresentativi del sito/area in cui è applicata l'analisi di rischio, dovrà eseguire almeno 3 determinazioni granulometriche per ciascuna tipologia di suolo identificata.

In linea generale, l'Ente di Controllo provvederà alla verifica delle misure eseguite dal proponente mediante ripetizione delle analisi su campioni prelevati in contraddittorio e/o supervisione delle analisi effettuate dal proponente. A giudizio dell'Ente di Controllo potranno essere definiti, nel corso della Conferenza di Servizi, in considerazione della specificità del procedimento, ulteriori criteri di valutazione che forniscano sufficienti garanzie sulla corretta esecuzione dell'attività analitica e di campo e sulla qualità dei dati risultanti.

Occorre sottolineare che i campioni prelevati in contraddittorio in fase di caratterizzazione per l'esecuzione delle analisi di validazione da parte dell'Ente di Controllo dovrebbero essere sempre sigillati in campo mediante dispositivi dotati di sistemi di massima sicurezza.

## SCHEDA 1 – Profondità del piano di falda ( $L_{GW}$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Profondità del piano di falda ( $L_{GW}$ )
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	300
<b>Definizione</b>	Rappresenta la distanza tra il piano campagna (p.c.) e la superficie piezometrica dell'acquifero.
<b>Modalità di determinazione</b>	Valore rappresentativo determinato sulla base di monitoraggi della falda condotti almeno su base annuale (in modo da apprezzare le variazioni di livello stagionali).
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	In generale il valore massimo (UCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in $N > 10$ ) risulta maggiormente conservativo se l'analisi di rischio riguarda i terreni (volatilizzazione da zona vadosa). Il parametro entra direttamente in VFwamb e VFwesp e indirettamente nella determinazione di LF (SAM) pertanto quando la via di migrazione principale è la volatilizzazione da falda e/o la lisciviazione in falda il valore più conservativo è il minimo (LCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in $N > 10$ ).
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

## SCHEDA 2 – Spessore della zona insatura ( $h_v$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Spessore della zona insatura ( $h_v$ )
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	281.2
<b>Definizione</b>	Rappresenta la distanza tra il piano campagna (p.c.) e la frangia capillare.
<b>Modalità di determinazione</b>	Valore dato dalla differenza tra la profondità del piano di falda $L_{GW}$ e lo spessore della frangia capillare $h_{cap}$ (stimabile con l'applicazione di metodi indiretti – pag. 24 Manuale APAT rev.1): $h_v = L_{GW} - h_{cap}$
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	In generale il valore massimo (UCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in $N > 10$ ) risulta maggiormente conservativo se l'analisi di rischio riguarda i terreni (volatilizzazione da suolo superficiale e/o profondo). Il parametro entra direttamente in VFwamb e VFwesp e indirettamente nella determinazione di LF (SAM) pertanto quando la via di migrazione principale è la volatilizzazione da falda e/o la lisciviazione in falda il valore più conservativo è il minimo (LCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in $N > 10$ ).
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti “self-standing” ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

### SCHEDA 3 – Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento (W')

<b>Denominazione del parametro</b>	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento (W')
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	4500
<b>Definizione</b>	<p>Coincide con la massima estensione superficiale di suolo insaturo contaminato, lungo la direzione parallela alla direzione prevalente del vento. Tale estensione superficiale è individuata dall'area delimitata dalle maglie più esterne contenenti almeno un punto di campionamento con concentrazione di almeno un contaminante superiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa vigente.</p> <p>Il miglior criterio per l'individuazione della direzione prevalente del vento regnante ( il vento che soffia per un periodo di tempo più lungo) è quello di utilizzare i diagrammi anemologici determinati da misure desunte da stazioni meteo presenti sul territorio. In assenza di tali misure, si fa coincidere con la massima estensione del sito.</p>
<b>Modalità di determinazione</b>	<p>Determinato su idonea cartografia sulla base dei dati di caratterizzazione e della direzione prevalente del vento stabilita da una serie storica di dati (preferibilmente di 30 anni e comunque almeno 10) relativa alla stazione meteo più vicina al sito contaminato.</p> <p>E' opportuno che tale parametro sia determinato anche tenendo conto delle risultanze della validazione, da parte degli Enti di Controllo, dei dati analitici ottenuti in fase di caratterizzazione.</p>
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra in gioco nella determinazione di VFss, PEF e VFsamb. Il valore maggiormente conservativo è il massimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.

<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti “self-standing” ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all’Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).
-------------	--

**SCHEDA 4 – Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione ortogonale a quella principale del vento (Sw’)**

<b>Denominazione del parametro</b>	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione ortogonale a quella principale del vento
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	4500
<b>Definizione</b>	<p>Coincide con la massima estensione superficiale di suolo insaturo contaminato, lungo la direzione ortogonale alla direzione prevalente del vento. Tale estensione superficiale è individuata dall’area delimitata dalle maglie più esterne contenenti almeno un punto di campionamento con concentrazione di almeno un contaminante superiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa vigente.</p> <p>Il miglior criterio per l’individuazione della direzione prevalente del vento regnante ( il vento che soffia per un periodo di tempo più lungo) è quello di utilizzare i diagrammi anemologici determinati da misure desunte da stazioni meteo presenti sul territorio. In assenza di tali misure, si fa coincidere con la massima estensione del sito.</p>
<b>Modalità di determinazione</b>	<p>Determinato su idonea cartografia sulla base dei dati di caratterizzazione e della direzione ortogonale a quella prevalente del vento stabilita da una serie storica di dati (almeno 10 anni) relativa alla stazione meteo più vicina al sito contaminato.</p> <p>E’ opportuno che tale parametro sia determinato anche tenendo conto delle risultanze della validazione, da parte degli Enti di Controllo, dei dati analitici ottenuti in fase di caratterizzazione</p>
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra in gioco nella determinazione di ADF. In analogia a Sw, il valore maggiormente conservativo è il massimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell’Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall’Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.

<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti “self-standing” ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all’Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).
-------------	--

## SCHEDA 5 – Area della sorgente rispetto alla direzione prevalente del vento (A')

<b>Denominazione del parametro</b>	Area della sorgente rispetto alla direzione prevalente del vento (A')
<b>Unità di misura</b>	cm <sup>2</sup>
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	20250000
<b>Definizione</b>	L'area della sorgente rispetto alla direzione prevalente del vento A' [cm <sup>2</sup> ] risulta essere data da prodotto tra l'estensione della sorgente nella direzione parallela W' e ortogonale S <sub>w</sub> ' a quella principale del vento: $A' = W' \times S_{w}'$
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinato indirettamente come prodotto di W' e S <sub>w</sub> '.
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Non entra in gioco direttamente in nessuno dei fattori di trasporto, ma può essere richiesto dai software per il calcolo di W' e S <sub>w</sub> '. Il valore più conservativo è quindi, come per W' ed S <sub>w</sub> ', il massimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

**SCHEDA 6 –Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c. (Ls(SS))**

<b>Denominazione del parametro</b>	Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c. (Ls (SS))
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	0
<b>Definizione</b>	Rappresenta la distanza tra il piano campagna e il top della sorgente di contaminazione nel suolo superficiale insaturo. In accordo con i criteri per la definizione della geometria della sorgente, il top della sorgente di contaminazione nel suolo superficiale coincide con la minima profondità rispetto al p.c. (compresa tra 0 e -1m), alla quale è stata riscontrata concentrazione di almeno un contaminante superiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa vigente.
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinato su idonea cartografia sulla base dei dati di caratterizzazione. E' opportuno che tale parametro sia determinato anche tenendo conto delle risultanze della validazione, da parte degli Enti di Controllo, dei dati analitici ottenuti in fase di caratterizzazione.
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra nel calcolo di VF <sub>sp</sub> . Il valore maggiormente conservativo è il minimo (compreso tra 0 e -1m da p.c.).
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

**SCHEDA 7 –Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c. (L<sub>s</sub>(SP))**

<b>Denominazione del parametro</b>	Profondità del top della sorgente nel suolo profondo rispetto al p.c.
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	100
<b>Definizione</b>	Rappresenta la distanza tra il piano campagna e il top della sorgente di contaminazione nel suolo profondo insaturo. In accordo ai criteri per la definizione della geometria della sorgente, il top della sorgente di contaminazione nel suolo profondo insaturo coincide con la minima profondità rispetto al p.c. (compresa tra -1m e L <sub>GW</sub> ), alla quale è stata riscontrata concentrazione di almeno un contaminante superiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa vigente. Per il suolo profondo si ha che il valore minimo di L <sub>s</sub> è 1 m.
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinato su idonea cartografia sulla base dei dati di caratterizzazione. E' opportuno che tale parametro sia determinato anche tenendo conto delle risultanze della validazione, da parte degli Enti di Controllo, dei dati analitici ottenuti in fase di caratterizzazione
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra nel calcolo di VF <sub>samb</sub> e VF <sub>wesp</sub> . Il valore maggiormente conservativo è il minimo (compreso tra -1m da p.c. e L <sub>GW</sub> )
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

## SCHEDA 8 –Profondità della base della sorgente rispetto al p.c. ( $L_f$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Profondità della base della sorgente rispetto al p.c. ( $L_f$ )
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	300
<b>Definizione</b>	<p>Rappresenta la distanza tra il piano campagna e la base della sorgente di contaminazione nel suolo superficiale e/o profondo insaturo. In accordo ai criteri per la definizione della geometria della sorgente, la base della sorgente di contaminazione nel suolo superficiale e/o profondo insaturo coincide con la massima profondità rispetto al p.c. alla quale è stata riscontrata concentrazione di almeno un contaminante superiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa vigente.</p> <p>Per il suolo superficiale si ha che il valore massimo di <math>L_f</math> è 1 m,</p>
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinato su idonea cartografia sulla base dei dati di caratterizzazione. E' opportuno che tale parametro sia determinato anche tenendo conto delle risultanze della validazione, da parte degli Enti di Controllo, dei dati analitici ottenuti in fase di caratterizzazione.
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra nel calcolo del SAM e quindi di LF. Il valore maggiormente conservativo è il massimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

## SCHEDA 9 –Spessore della sorgente nel suolo profondo insaturo ( $d_s$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Spessore della sorgente nel suolo profondo insaturo ( $d_s$ )
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	200
<b>Definizione</b>	Lo spessore della sorgente di contaminazione in suolo profondo insaturo è dato dalla seguente relazione: $d_s = L_f - L_s(SP)$
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinato su idonea cartografia sulla base dei dati di caratterizzazione. E' opportuno che tale parametro sia determinato anche tenendo conto delle risultanze della validazione, da parte degli Enti di Controllo, dei dati analitici ottenuti in fase di caratterizzazione.
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra nel calcolo del SAM e quindi di LF. Il valore maggiormente conservativo è il massimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

## SCHEDA 10 – Spessore della sorgente nel suolo superficiale insaturo (d)

<b>Denominazione del parametro</b>	Spessore della sorgente nel suolo superficiale insaturo (d)
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	100
<b>Definizione</b>	Lo spessore della sorgente di contaminazione in suolo superficiale insaturo è dato dalla seguente relazione: $d = L_f - L_s(SS)$
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinato su idonea cartografia sulla base dei dati di caratterizzazione. E' opportuno che tale parametro sia determinato anche tenendo conto delle risultanze della validazione, da parte degli Enti di Controllo, dei dati analitici ottenuti in fase di caratterizzazione.
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra nel calcolo del SAM e quindi di LF. Il valore maggiormente conservativo è il massimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

## SCHEDA 11 –Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente ( $L_F$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente ( $L_F$ )
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	300
<b>Definizione</b>	<p>La soggiacenza dell'acquifero rispetto al top della sorgente si può ricavare dalla seguente relazione:</p> $L_F = L_{GW} - L_s$ <p>Per il suolo profondo si ha che il valore minimo di <math>L_s</math> è 1 m.</p>
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinato su idonea cartografia sulla base dei dati di caratterizzazione. E' opportuno che tale parametro sia determinato anche tenendo conto delle risultanze della validazione, da parte degli Enti di Controllo, dei dati analitici ottenuti in fase di caratterizzazione.
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra nel calcolo del SAM e quindi di $L_F$ . Il valore maggiormente conservativo è il minimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

## SCHEMA 12 - Densità del suolo ( $\rho_s$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Densità del suolo ( $\rho_s$ )
<b>Unità di misura</b>	$\text{g/cm}^3$
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	1.7
<b>Definizione</b>	<p>Per densità del suolo si intende la massa volumica apparente (soil bulk density) <math>\rho_s</math>, che rappresenta il rapporto tra la massa del suolo essiccato (<math>105^\circ \text{C}</math>) ed il suo volume totale.</p> <p>Tale parametro non deve essere confuso con la massa volumica reale delle particelle di suolo (soil particle density), che invece viene espressa come rapporto tra la massa del suolo essiccato e il volume delle particelle solide di suolo. Per la stima indiretta di <math>\rho_s</math> si assume un valore pari a <math>1,7 \text{ g/cm}^3</math> indipendentemente dal tipo di suolo in esame, che rappresenta la media del suo possibile range di valori (<math>1,6 - 1,75 \text{ g/cm}^3</math>) [Connor et al., 1996].</p> <p>Per la determinazione di questo parametro si consiglia di fare riferimento ai Metodi di Analisi Fisica del Suolo” (MAFS), Pubblicati dal Ministero per le Politiche Agricole - Osservatorio Nazionale Pedologico - 1997. (D.M. 01/08/1997) Suppl. Ord. G.U. n. 173 del 2/9/97 o alle norme tecniche disponibili (UNI, ISO, ASTM, ecc.). E’ comunque necessario che il proponente si adegui al metodo utilizzato dall’Ente di Controllo.</p>
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinata attraverso prove di laboratorio per la tipologia di terreno rappresentativa (individuata attraverso l’analisi delle stratigrafie e le prove granulometriche). Devono essere eseguite dal proponente almeno 3 misure dalle quali ricavare un valore rappresentativo.

<p><b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b></p>	<p>Il parametro ha una bassa sensitività, tuttavia la determinazione sito-specifica è, in generale, eseguita in fase di caratterizzazione nei casi in cui è possibile prelevare campioni indisturbati.</p> <p>Il parametro entra nel calcolo di VF<sub>ss</sub>, VF<sub>samb</sub>, VF<sub>sest</sub>, LF e 1/DAF (per <math>\lambda \neq 0</math>), il valore più conservativo è il massimo (UCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in N&gt;10), ad eccezione che per il calcolo di 1/DAF, per il quale il valore più conservativo è il minimo (LCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in N&gt;10).</p>
<p><b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b></p>	<p>Si richiede la supervisione delle misure eseguite dal proponente e si propone la validazione analitica di almeno un campione da parte dell'Ente di Controllo .</p>
<p><b>Note</b></p>	<p>La misura sito-specifica di tale parametro può non essere richiesta dall'Ente di Controllo qualora il prelievo di campioni indisturbati non sia tecnicamente e/o economicamente possibile (ad es: nel caso di terreni sabbiosi).</p> <p>La validazione del parametro deve essere preceduta da una verifica dei metodi di misura utilizzati: in particolare il proponente e l'Ente di Controllo dovranno utilizzare lo stesso metodo.</p>

### SCHEMA 13 –Infiltrazione efficace ( $I_{ef}$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Infiltrazione efficace ( $I_{ef}$ )
<b>Unità di misura</b>	cm/anno
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	30
<b>Definizione</b>	<p>Applicando l'equazione di bilancio idrologico, espressa nei minimi termini, l'infiltrazione efficace (<math>I_{ef}</math>) è data dalla relazione:</p> $I_{ef} = P - (ET + S)$ <p>dove P indica la precipitazione atmosferica, ET tiene conto dei fenomeni di evaporazione e traspirazione della copertura vegetale, ed S indica lo scorrimento superficiale ( o ruscellamento superficiale).</p> <p>Nel caso in cui la sorgente secondaria di contaminazione sia costituita da terreno omogeneo o approssimabile come tale, l'infiltrazione efficace media annua può essere stimata in funzione delle precipitazioni medie annue e del tipo di tessitura prevalente nel suolo (sabbiosa, limosa o argillosa) a mezzo delle seguenti relazioni empiriche:</p> $I_{ef} = 0,0018 \cdot P^2 \quad \text{per terreni sabbiosi (SAND)}$ $I_{ef} = 0,0009 \cdot P^2 \quad \text{per terreni limosi (SILT)}$ $I_{ef} = 0,00018 \cdot P^2 \quad \text{per terreni sabbiosi (CLAY)}$ <p>dove le suddette correlazioni prevedono valori di precipitazione media annua (P) e di infiltrazione efficace (I) espressi in cm/anno.</p>

<b>Definizione</b> <i>(continua)</i>	<p>Inoltre, per correlare le relazioni sopra riportate con la classificazione dei terreni composti basata sul metodo dell'USDA, si sottolinea che :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Nella classe SAND sono comprese le tessiture: Sand, Loamy Sand e Sandy Loam;</li> <li>· Nella classe SILT sono comprese le tessiture: Sandy Clay Loam, Loam, Silt Loam e Silt;</li> <li>· Nella classe CLAY sono comprese le tessiture: Clay Loam, Silty Clay Loam, Silty Clay, Sandy Clay e Clay.</li> </ul> <p>Le suddette relazioni empiriche sono riferite ad un suolo ricoperto di erba.</p>
<b>Modalità di determinazione</b>	<p>Può essere determinata mediante l'applicazione delle formule riportate nel manuale APAT-ARPA-ISS-ISPEL utilizzando dati di piovosità ricavati da serie storiche di dati (relative ad un periodo di osservazione preferibilmente di 30 anni e comunque di almeno 10 anni) relative alla stazione meteo più vicina al sito contaminato.</p>
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	<p>Il parametro entra nel calcolo di LF. Il valore maggiormente conservativo è il massimo.</p> <p>Devono essere quindi riportati i valori di piovosità media annua (per una serie storica relativa ad un periodo di osservazione preferibilmente di 30 anni e comunque almeno di 10 anni) e deve essere utilizzato il valore massimo relativo alle serie storica considerata. Tale valore deve essere utilizzato per il calcolo dell'infiltrazione efficace (I).</p>
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	<p>Si richiede di verificare l'attendibilità delle fonti dei dati di piovosità utilizzati che devono essere relativi alla stazione meteo più vicina al sito/area in cui è applicata l'analisi di rischio. Si richiede inoltre la verifica numerica dei risultati delle formule applicate.</p>

<b>Note</b>	<p>Al proponente deve essere richiesta la presentazione dei dati utilizzati per il calcolo del valore rappresentativo di piovosità (massimo).</p> <p>Si osserva che le formule proposte nel manuale APAT-ARPA-ISS-ISPEL, non sono valide per terreni di tipo ghiaioso. Pertanto, nel caso in cui la litologia rappresentativa fosse costituita da ghiaie, sarebbe opportuno effettuare misure dirette, in quanto l'applicazione della formula relativa alla classe SAND potrebbe portare a risultati poco conservativi (sottostima dell'infiltrazione efficace).</p>
-------------	--

## SCHEDA 14 – Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo ( $f_{oc}$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo ( $f_{oc}$ )
<b>Unità di misura</b>	g-C/g-suolo
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	0.01
<b>Definizione</b>	<p>In primo luogo si osserva che tale parametro dovrebbe essere sempre determinato in fase di caratterizzazione del sito.</p> <p>Il contenuto di carbonio organico nel suolo è convenzionalmente correlato con quello della sostanza organica presente, infatti quest'ultima è pari a circa 1,724 volte il contenuto di carbonio organico.</p>
<b>Modalità di determinazione</b>	<p>Determinato attraverso prove di laboratorio per la tipologia di terreno rappresentativa (individuata attraverso l'analisi delle stratigrafie e le prove granulometriche). Devono essere eseguite almeno 3 misure dalle quali ricavare un valore rappresentativo.</p> <p>Per i metodi di misura si consiglia di fare riferimento al Decreto Ministeriale 13 settembre 1999, Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo". (Suppl. Ordinario n.185-n.248 del 21/10/99), alle norme ISO 14235 del '98 (<i>Qualità del suolo – determinazione del carbonio organico con ossidazione solfocromica</i>); ISO10694 del '95 (<i>Qualità del suolo – determinazione del carbonio organico e totale con ossidazione e secco</i>); ISO 10693 del '95 (<i>Qualità del suolo - determinazione del contenuto di carbonati-metodo volumetrico</i>).</p> <p>Si ricorda comunque che è necessario che il proponente si adegui al metodo utilizzato dall'Ente di Controllo.</p>
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra nel calcolo di VF <sub>ss</sub> , VF <sub>samb</sub> , VF <sub>sest</sub> , e LF. Il valore maggiormente conservativo è il minimo (LCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in N>10).
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Si richiede la supervisione delle misure eseguite dal proponente e si propone la validazione analitica di almeno un campione da parte dell'Ente di Controllo .

**Note**

La validazione del parametro deve essere preceduta da una verifica dei metodi di misura utilizzati: in particolare il proponente e l'Ente di Controllo dovranno utilizzare lo stesso metodo.

Si osserva che il valore del parametro può risultare falsato dalla presenza di contaminanti organici (Ad es: idrocarburi). Si consiglia quindi di prelevare i campioni per la misura in aree non contaminate o a basso grado di contaminazione.

## SCHEDA 15 –pH del suolo insaturo (pH)

<b>Denominazione del parametro</b>	pH del suolo insaturo (pH)
<b>Unità di misura</b>	adimensionale
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	6.8
<b>Definizione</b>	<p>Il pH è una scala di misura dell'acidità di una soluzione acquosa e si definisce come cologaritmo in base 10 della concentrazione degli ioni H<sup>+</sup>:</p> $\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+].$ <p>Il pH solitamente assume valori compresi tra 0 (acido forte) e 14 (base forte). Al valore intermedio di 7 corrisponde la condizione di neutralità, tipica dell'acqua pura a 25°C.</p>
<b>Modalità di determinazione</b>	<p>Determinato attraverso prove di laboratorio per la tipologia di terreno rappresentativa (individuata attraverso l'analisi delle stratigrafie e le prove granulometriche). Devono essere eseguite almeno 3 misure dalle quali ricavare un valore rappresentativo.</p> <p>Per i metodi di misura si consiglia di fare riferimento al Decreto Ministeriale 13 settembre 1999, Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo". (Suppl. Ordinario n.185-n.248 del 21/10/99).</p> <p>Si ricorda comunque che è necessario che il proponente si adegui al metodo utilizzato dall'Ente di Controllo.</p>

<p><b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b></p>	<p>Il parametro influenza il <math>K_d</math> per le sostanze inorganiche e il <math>K_{oc}</math> per le sostanze organiche in modo differente (dipende dalle caratteristiche della sostanza). Ad esempio, per gli acidi organici il valore più conservativo di pH risulta essere il massimo, mentre per i metalli il valore più conservativo risulta essere il minimo.</p> <p>Se sono disponibili misure di <math>K_d</math> sito-specifiche, eseguite secondo il metodo suggerito da APAT ed ISS e riportato nella nota APAT 011376 del 4 Aprile 2007 pubblicata sul sito dell'Agenzia al seguente indirizzo: <a href="http://www.apat.gov.it/site/_files/Suolo_Territorio/TEC_metodo.pdf">http://www.apat.gov.it/site/_files/Suolo_Territorio/TEC_metodo.pdf</a> è possibile fare riferimento alle misure effettuate; altrimenti è opportuno effettuare due distinte simulazioni utilizzando sia il valore massimo (UCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in <math>N &gt; 10</math>) che il minimo (LCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in <math>N &gt; 10</math>) di pH e selezionare il valore di pH che fornisce stime maggiormente conservative in termini di rischio associato.</p>
<p><b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b></p>	<p>Si richiede la supervisione delle misure eseguite dal proponente e si propone la validazione analitica di almeno un campione da parte dell'Ente di Controllo .</p>
<p><b>Note</b></p>	<p>La validazione del parametro deve essere preceduta da una verifica dei metodi di misura utilizzati: in particolare il proponente e l'Ente di Controllo dovranno utilizzare lo stesso metodo.</p> <p>Si ricorda che il valore del parametro può risultare falsato dalla presenza di fenomeni di biodegradazione (Ad es: in zone contaminate da idrocarburi). Si consiglia quindi di prelevare i campioni per la misura in aree non contaminate o a basso grado di contaminazione.</p>

## SCHEDA 16 – Spessore della falda ( $d_a$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Spessore della falda
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	-
<b>Definizione</b>	Lo spessore dell'acquifero superficiale è definito come la distanza tra la quota piezometrica (slm) e la quota dello strato impermeabile (slm). Questo parametro rientra nel calcolo della zona di miscelazione della falda ( $\delta_{gw}$ ).
<b>Modalità di determinazione</b>	Calcolato indirettamente sulla base del valore assunto dalla profondità del piano di falda e dalla profondità del livello impermeabile che costituisce la base dell'acquifero.
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Entra nel calcolo di $\delta_{gw}$ e quindi di LF e 1/DAF. Il valore maggiormente conservativo è il minimo (LCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in $N > 10$ ).
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente. Se sono disponibili dati in numero sufficiente, a giudizio dell'Ente di Controllo, è possibile ricavare tale parametro dalle risultanze di studi idrogeologici di dettaglio disponibili per l'area in esame.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

## SCHEDA 17 – Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda (W)

<b>Denominazione del parametro</b>	Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda (W)
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	4500
<b>Definizione</b>	Coincide con la massima estensione superficiale di suolo saturo contaminato, lungo la direzione parallela al flusso di falda. Tale estensione superficiale è individuata dall'area delimitata dalle maglie più esterne contenenti almeno un punto di campionamento con concentrazione di almeno un contaminante superiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa vigente.
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinata su idonea cartografia sulla base dei dati di caratterizzazione e della direzione prevalente del flusso di falda. E' opportuno che tale parametro sia determinato anche tenendo conto delle risultanze della validazione, da parte degli Enti di Controllo, dei dati analitici ottenuti in fase di caratterizzazione.
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra in gioco nella determinazione di LF. Il valore maggiormente conservativo è il massimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.). Si osserva inoltre che per la determinazione del parametro è necessario conoscere la direzione del flusso di falda. La corretta individuazione di quest'ultima deve essere attentamente verificata dall'Ente di Controllo.

**SCHEDA 18 – Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda ( $S_w$ )**

<b>Denominazione del parametro</b>	Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda ( $S_w$ )
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	4500
<b>Definizione</b>	Coincide con la massima estensione superficiale di suolo saturo contaminato, lungo la direzione ortogonale al flusso di falda. Tale estensione superficiale è individuata dall'area delimitata dalle maglie più esterne contenenti almeno un punto di campionamento con concentrazione di almeno un contaminante superiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa vigente.
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinata su idonea cartografia sulla base dei dati di caratterizzazione e della direzione prevalente del flusso di falda. E' opportuno che tale parametro sia determinato anche tenendo conto delle risultanze della validazione, da parte degli Enti di Controllo, dei dati analitici ottenuti in fase di caratterizzazione.
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra in gioco nella determinazione di 1/DAF (con $\lambda \neq 0$ ). Il valore maggiormente conservativo è il massimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.). Si osserva inoltre che per la determinazione del parametro è necessario conoscere la direzione del flusso di falda. La corretta individuazione di quest'ultima deve essere attentamente verificata dall'Ente di Controllo.

## SCHEDA 19 –Area della sorgente rispetto alla direzione del flusso di falda (A)

<b>Denominazione del parametro</b>	Area della sorgente rispetto alla direzione del flusso di falda (A)
<b>Unità di misura</b>	cm <sup>2</sup>
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	20250000
<b>Definizione</b>	Tale parametro è dato dalla seguente relazione: $A = W \times S_w$
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinato indirettamente come prodotto di W e S <sub>w</sub> .
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Non entra in gioco direttamente in nessuno dei fattori di trasporto, ma è richiesto dai software per il calcolo di W e S <sub>w</sub> . Il valore più conservativo è quindi, come per W ed S <sub>w</sub> , il massimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	<p>Ai proponenti devono essere richiesti documenti “self-standing” ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).</p> <p>Si osserva inoltre che per la determinazione del parametro è necessario conoscere la direzione del flusso di falda. La corretta individuazione di quest'ultima deve essere attentamente verificata dall'Ente di Controllo.</p>

**SCHEDA 20 – Estensione della sorgente di contaminazione in falda nella direzione principale del vento (W')**

<b>Denominazione del parametro</b>	Estensione della sorgente di contaminazione in falda nella direzione principale del vento (W')
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	4500
<b>Definizione</b>	<p>Coincide con la massima estensione superficiale della sorgente di contaminazione in falda, lungo la direzione parallela alla direzione prevalente del vento. Tale estensione superficiale è individuata dall'area delimitata dalle maglie più esterne contenenti almeno un piezometro con concentrazione di almeno un contaminante superiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa vigente.</p> <p>Il miglior criterio per l'individuazione della direzione prevalente del vento regnante ( il vento che soffia per un periodo di tempo più lungo) è quello di utilizzare i diagrammi anemologici determinati da misure desunte da stazioni meteo presenti sul territorio. In assenza di tali misure, si fa coincidere con la massima estensione del sito.</p>
<b>Modalità di determinazione</b>	<p>Determinato su idonea cartografia sulla base dei dati di caratterizzazione e della direzione prevalente del vento stabilita da una serie storica di dati (almeno 10 anni) relativa alla stazione meteo più vicina al sito contaminato.</p> <p>E' opportuno che tale parametro sia determinato anche tenendo conto delle risultanze della validazione, da parte degli Enti di Controllo, dei dati analitici ottenuti in fase di caratterizzazione</p>
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra in gioco nella determinazione di VFWamb. Il valore maggiormente conservativo è il massimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.

<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti “self-standing” ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all’Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).
-------------	--

**SCHEDA 21 – Estensione della sorgente di contaminazione in falda nella direzione ortogonale a quella principale del vento (Sw')**

<b>Denominazione del parametro</b>	Estensione della sorgente di contaminazione in falda nella direzione ortogonale a quella principale del vento (Sw' )
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	4500
<b>Definizione</b>	<p>Coincide con la massima estensione superficiale della sorgente di contaminazione in falda, lungo la direzione ortogonale alla direzione prevalente del vento regnante ( il vento che soffia per un periodo di tempo più lungo). Tale estensione superficiale è individuata dall'area delimitata dalle maglie più esterne contenenti almeno un piezometro con concentrazione di almeno un contaminante superiore ai valori di riferimento indicati dalla normativa vigente.</p> <p>Il miglior criterio per l'individuazione della direzione prevalente del vento regnante ( il vento che soffia per un periodo di tempo più lungo) è quello di utilizzare i diagrammi anemologici determinati da misure desunte da stazioni meteo presenti sul territorio. In assenza di tali misure, si fa coincidere con la massima estensione del sito.</p>
<b>Modalità di determinazione</b>	<p>Determinato su idonea cartografia sulla base dei dati di caratterizzazione e della direzione prevalente del vento stabilita da una serie storica di dati (preferibilmente di 30 anni e comunque non meno di 10) relativa alla stazione meteo più vicina al sito contaminato.</p> <p>E' opportuno che tale parametro sia determinato anche tenendo conto delle risultanze della validazione, da parte degli Enti di Controllo, dei dati analitici ottenuti in fase di caratterizzazione</p>
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra in gioco nella determinazione di ADF. In analogia a Sw, il valore maggiormente conservativo è il massimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.

<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti “self-standing” ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all’Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).
-------------	--

**SCHEDA 22 – Area della sorgente in falda rispetto alla direzione prevalente del vento (A')**

<b>Denominazione del parametro</b>	Area della sorgente rispetto alla direzione prevalente del vento (A')
<b>Unità di misura</b>	cm <sup>2</sup>
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	20250000
<b>Definizione</b>	L'area della sorgente in falda rispetto alla direzione prevalente del vento A' [cm <sup>2</sup> ] risulta essere data da prodotto tra l'estensione della sorgente in falda nella direzione parallela W' e ortogonale S <sub>w</sub> ' a quella principale del vento:  $A' = W' \times S_{w}'$
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinato indirettamente come prodotto di W' e S <sub>w</sub> '.
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Non entra in gioco direttamente in nessuno dei fattori di trasporto, ma può essere richiesto dai software per il calcolo di W' e S <sub>w</sub> '. Il valore più conservativo è quindi, come per W' ed S <sub>w</sub> ', il massimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

## SCHEDA 23 –Velocità di Darcy ( $v_{gw}$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Velocità di Darcy ( $v_{gw}$ )
<b>Unità di misura</b>	cm/anno
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	2500
<b>Definizione</b>	<p>Il moto dell'acqua in un mezzo poroso saturo è rappresentato dalla Legge di Darcy, secondo cui la velocità del flusso idrico o velocità di Darcy <math>v_{gw}</math>, data dal rapporto tra la portata Q defluente attraverso una sezione retta A e la sezione stessa, è proporzionale al gradiente idraulico <math>i</math> secondo la conducibilità idraulica del terreno <math>K_{sat}</math>:</p> $v_{gw} = K_{sat} \cdot i$
<b>Modalità di determinazione</b>	Si determina come prodotto tra $K_{sat}$ e $i$
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra nel calcolo di LF (per tale calcolo il valore più conservativo è il minimo - LCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in $N > 10$ ) e di 1/DAF con $\lambda \neq 0$ (per tale calcolo il valore più conservativo è il massimo - UCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in $N > 10$ ).
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Si richiede la verifica da parte dell'Ente di Controllo dei valori di $K_{sat}$ e $i$ utilizzati (vedi schede 24 e 25). Si richiede inoltre la verifica numerica dei risultati delle formule applicate.
<b>Note</b>	

## SCHEDA 24 – Conducibilità idraulica del terreno saturo ( $K_{sat}$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Conducibilità idraulica del terreno saturo ( $K_{sat}$ )
<b>Unità di misura</b>	cm/anno
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	---
<b>Definizione</b>	La conducibilità idraulica a saturazione o coefficiente di permeabilità $K_{sat}$ è una misura che indica la capacità di un terreno saturo di trasmettere l'acqua. In un terreno isotropo e omogeneo $K_{sat} = cost.$ Questo dipende dalla geometria dei pori (tessitura e struttura) e dalle proprietà del fluido, in particolare dalla viscosità e dalla densità.
<b>Modalità di determinazione</b>	Tale parametro deve essere ricavato preferibilmente mediante l'esecuzione di prove <i>in situ</i> . Devono essere eseguite almeno 3 misurazioni per ciascuna litologia rappresentativa.
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra nel calcolo di LF (per tale calcolo il valore più conservativo è il minimo - LCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in $N > 10$ ) e di 1/DAF con $\lambda \neq 0$ (per tale calcolo il valore più conservativo è il massimo - UCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in $N > 10$ ).
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Si richiede la verifica in campo da parte dell'Ente di Controllo delle modalità di esecuzione delle prove <i>in situ</i> e di elaborazione dei risultati. Analoga verifica deve essere effettuata per le prove di permeabilità eseguite in laboratorio.
<b>Note</b>	La tipologia di prova da eseguire deve essere concordata dal proponente con l'Ente di Controllo, in funzione delle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del sito.

## SCHEMA 25 –Gradiente idraulico (i)

<b>Denominazione del parametro</b>	Gradiente idraulico (i)
<b>Unità di misura</b>	adimensionale
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	---
<b>Definizione</b>	<p>In un mezzo saturo, si definisce carico piezometrico <math>h</math> in un dato punto A la somma tra l'altezza geometrica <math>z_A</math> (distanza del punto considerato da un piano arbitrario di riferimento <math>z = 0</math>) e l'altezza di pressione <math>\frac{p_A}{\rho g}</math> (risalita dell'acqua per effetto della sua pressione <math>p_A</math>, dove <math>\rho</math> è la densità del fluido e <math>g</math> è l'accelerazione di gravità):</p> $h = z + \frac{p}{\rho g}$ <p>La differenza <math>\Delta h</math> di livello piezometrico tra due punti è pertanto considerata una misura rappresentativa della perdita di carico effettiva dovuta al flusso dell'acqua nel terreno. Il rapporto tra la perdita di carico piezometrico <math>\Delta h</math> e il tratto <math>L</math> in cui essa si verifica è definito gradiente idraulico:</p> $i = \frac{\Delta h}{L}$ <p>Tale parametro è utile nella determinazione della direzione di scorrimento della falda e nella stima della velocità di Darcy nel terreno saturo.</p>
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinato per via cartografica attraverso la rappresentazione delle curve isopiezometriche.
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra nel calcolo di LF (per tale calcolo il valore più conservativo è il minimo - LCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in $N > 10$ ) e di 1/DAF con $\lambda \neq 0$ (per tale calcolo il valore più conservativo è il massimo - UCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in $N > 10$ ).
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.

**Note**

Ai proponenti devono essere richiesti documenti “self-standing” ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all’Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

Si osserva inoltre che per la determinazione del parametro è necessario conoscere la direzione del flusso di falda. La corretta individuazione di quest’ultima deve essere attentamente verificata dall’Ente di Controllo.

## SCHEDA 26 –Frazione di carbonio organico nel suolo saturo ( $f_{oc}$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo ( $f_{oc}$ )
<b>Unità di misura</b>	g-C/g-suolo
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	0.001
<b>Definizione</b>	<p>In primo luogo si osserva che tale parametro dovrebbe essere sempre determinato in fase di caratterizzazione del sito.</p> <p>Il contenuto di carbonio organico nel suolo è convenzionalmente correlato con quello della sostanza organica presente, infatti quest'ultima è pari a circa 1,724 volte il contenuto di carbonio organico.</p>
<b>Modalità di determinazione</b>	<p>Determinato attraverso prove di laboratorio per la tipologia di terreno rappresentativa (individuata attraverso l'analisi delle stratigrafie e le prove granulometriche). Devono essere eseguite almeno 3 misure dalle quali ricavare un valore rappresentativo.</p> <p>Per i metodi di misura si consiglia di fare riferimento al Decreto Ministeriale 13 settembre 1999, Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo". (Suppl. Ordinario n.185-n.248 del 21/10/99)</p> <p>Si ricorda comunque che è necessario che il proponente si adegui al metodo utilizzato dall'Ente di Controllo.</p>
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra nel calcolo di $1/DAF$ (per $\lambda \neq 0$ ). Il valore maggiormente conservativo è il minimo (LCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in $N > 10$ ).
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Si richiede la supervisione delle misure eseguite dal proponente e si propone la validazione analitica di almeno un campione da parte dell'Ente di Controllo .
<b>Note</b>	Il valore del parametro può risultare falsato dalla presenza di fenomeni di biodegradazione (Ad es: in zone contaminate da idrocarburi). Si consiglia quindi di prelevare i campioni per la misura in aree non contaminate o a basso grado di contaminazione.

## SCHEDA 27 – pH del suolo saturo (pH)

<b>Denominazione del parametro</b>	pH del suolo saturo (pH)
<b>Unità di misura</b>	adimensionale
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	6.8
<b>Definizione</b>	<p>Il pH è una scala di misura dell'acidità di una soluzione acquosa e si definisce come cologaritmo in base 10 della concentrazione degli ioni H<sup>+</sup>:</p> $\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+].$ <p>Il pH solitamente assume valori compresi tra 0 (acido forte) e 14 (base forte). Al valore intermedio di 7 corrisponde la condizione di neutralità, tipica dell'acqua pura a 25°C.</p>
<b>Modalità di determinazione</b>	<p>Determinato attraverso prove di laboratorio per la tipologia di terreno rappresentativa (individuata attraverso l'analisi delle stratigrafie e le prove granulometriche). Devono esser eseguite almeno 3 misure dalle quali ricavare un valore rappresentativo.</p> <p>Per i metodi di misura si consiglia di fare riferimento al Decreto Ministeriale 13 settembre 1999, Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo". (Suppl. Ordinario n.185-n.248 del 21/10/99).</p>

<p><b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b></p>	<p>Il parametro influenza il <math>K_d</math> per le sostanze inorganiche e il <math>K_{oc}</math> per le sostanze organiche in modo differente (dipende dalle caratteristiche della sostanza). Ad esempio, per gli acidi organici il valore più conservativo di pH risulta essere il massimo, mentre per i metalli il valore più conservativo risulta essere il minimo.</p> <p>Se sono disponibili misure di <math>K_d</math> sito-specifiche, eseguite secondo il metodo suggerito da APAT ed ISS e riportato nella nota APAT 011376 del 4 Aprile 2007 pubblicata sul sito dell'Agenzia al seguente indirizzo: <a href="http://www.apat.gov.it/site/_files/Suolo_Territorio/TEC_metodo.pdf">http://www.apat.gov.it/site/_files/Suolo_Territorio/TEC_metodo.pdf</a> è possibile fare riferimento alle misure effettuate; altrimenti è opportuno effettuare due distinte simulazioni utilizzando sia il valore massimo (UCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in <math>N &gt; 10</math>) che il minimo (LCL 95% se i dati rappresentativi a disposizione sono in <math>N &gt; 10</math>) di pH e selezionare il valore di pH che fornisce stime maggiormente conservative in termini di rischio associato.</p>
<p><b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b></p>	<p>Si richiede la supervisione delle misure eseguite dal proponente e si propone la validazione analitica di almeno un campione da parte dell'Ente di Controllo .</p>
<p><b>Note</b></p>	<p>La validazione del parametro deve essere preceduta da una verifica dei metodi di misura utilizzati: in particolare il proponente e l'Ente di Controllo dovranno utilizzare lo stesso metodo.</p> <p>Si ricorda che il valore del parametro può risultare falsato dalla presenza di fenomeni di biodegradazione (Ad es: in zone contaminate da idrocarburi). Si consiglia quindi di prelevare i campioni per la misura in aree non contaminate o a basso grado di contaminazione.</p>

## SCHEDA 28 –Velocità del vento ( $U_{air}$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Velocità del vento ( $U_{air}$ )
<b>Unità di misura</b>	cm/s
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	225
<b>Definizione</b>	Rappresenta il valore medio annuo nell'area calcolato sulla base dell'elaborazione di una serie storia di dati.
<b>Modalità di determinazione</b>	<p>Il parametro può essere determinato elaborando serie storica di dati (relativa ad un periodo di osservazione preferibilmente di 30 anni e comunque almeno di 10 anni) relativa alla centralina meteorologica più vicina al sito in esame e rappresentativa dello stesso.</p> <p>I valori di velocità del vento forniti dalle centraline meteorologiche, in genere, corrispondono a misure effettuate alla quota di 10 m dal p.c. (40 m da p.c. per le centraline antincendio di grandi siti industriali). Per stimare il valore di velocità alla quota di 2 m, e quindi in corrispondenza della zona di miscelazione, è possibile applicare la seguente relazione empirica [S.R. Hanna et al., 1982]:</p> $\frac{U_{air}(z_1)}{U_{air}(z_2)} = \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^p$ <p>dove "p" è funzione della classe di stabilità atmosferica e della rugosità del suolo (vedi Tabella 3.2-14 del manuale "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati", rev.1).</p>
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	<p>Il parametro entra in gioco nella determinazione di VF<sub>ss</sub>, VF<sub>samb</sub>, VF<sub>wamb</sub>, PEF. Il valore più conservativo è il minimo.</p> <p>Devono essere quindi riportati i valori di velocità media annua (per una serie storica relativa ad un periodo di osservazione preferibilmente di 30 anni e comunque almeno di 10 anni) e deve essere utilizzato il valore minimo di velocità del vento relativo alle serie storica considerata.</p>

<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Si richiede di verificare l'attendibilità delle fonti dei dati utilizzati che devono essere relativi alla stazione meteo più vicina al sito/area in cui è applicata l'analisi di rischio. Si richiede inoltre la verifica numerica dei risultati dei calcoli eseguiti.
<b>Note</b>	<p>Le centraline meteo possono non registrare venti con velocità &lt; 0,5 m/s che costituiscono in diversi casi la componente prevalente alla quale associare la direzione principale del vento regnante (il vento che soffia per un periodo di tempo più lungo) .</p> <p>Al proponente deve essere richiesta la presentazione dei dati utilizzati per il calcolo del valore rappresentativo di velocità del vento.</p>

## SCHEDA 29 –Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione ( $A_b$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione ( $A_b$ )
<b>Unità di misura</b>	cm <sup>2</sup>
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	700000
<b>Definizione</b>	Rappresenta la superficie dell'edificio complessivamente interessata dal fenomeno di permeazione indoor di vapori contaminati.
<b>Modalità di determinazione</b>	<p>Nel caso di edificio e/o locale fuori terra, questa coincide con l'area delle fondazioni, ossia l'area della base della struttura:</p> $A_b = a \times b$ <p>Nel caso di locali interrati o seminterrati, tale superficie sarà data dalla somma dell'area della base dell'edificio più l'area delle pareti interrata:</p> $A_b = (a \times b) + 2(a \times c) + 2(b \times c)$ <p>I simboli <math>a</math> e <math>b</math> indicano rispettivamente la larghezza e la lunghezza dell'edificio, mentre <math>c</math> indica l'altezza della parete interrata</p>
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra indirettamente nel calcolo di VF <sub>sest</sub> e VF <sub>wesp</sub> . Il valore maggiormente conservativo è il massimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

### SCHEDA 30 – Spessore delle fondazioni/muri ( $L_{crack}$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Spessore delle fondazioni/muri ( $L_{crack}$ )
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	15
<b>Definizione</b>	Nel caso di locale fuori terra, il valore di tale parametro coincide con lo spessore delle fondazioni dell'edificio assunto come rappresentativo. Nel caso di locale seminterrato, il valore di tale parametro coincide con lo spessore minimo tra quello delle fondazioni e quello dei muri (coinvolti dal fenomeno di permeazione di vapori contaminati) dell'edificio assunto come rappresentativo.
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinato per tutte le tipologie di edifici presenti sul sito contaminato attraverso l'analisi della cartografia disponibile (planimetrie, sezioni costruttive, elaborati progettuali). Il valore selezionato sarà quello relativo all'edificio (o agli edifici) con caratteristiche più conservative (ad es. edifici interrati, edifici con poco ricambio d'aria, edifici con maggiore permanenza di lavoratori/residenti).
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra nel calcolo di $VF_{sesp}$ e $VF_{wesp}$ . Il valore maggiormente conservativo è il minimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

### SCHEDA 31 - Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione ( $L_b$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (per aree ad uso residenziale o industriale) $L_b$
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	200
<b>Definizione</b>	<p>Nel caso di edifici fuori terra il rapporto tra volume e area dell'edificio coincide con l'altezza <math>h</math> dell'edificio stesso:</p> $L_b = \frac{V_b}{A_b} = h$ <p>Nel caso di locali interrati o seminterrati, tale rapporto risulta inferiore all'altezza dell'edificio, poiché nel calcolo di <math>A_b</math> si tiene conto anche dell'area delle pareti interrate soggette a permeazione indoor di vapori contaminati</p> $L_b = \frac{V_b}{A_b} < h$
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinato per tutte le tipologie di edifici presenti sul sito contaminato attraverso l'analisi della cartografia disponibile (planimetrie, sezioni costruttive, elaborati progettuali). Il valore selezionato sarà quello relativo all'edificio con caratteristiche più conservative (ad es. edifici interrati, edifici con poco ricambio d'aria, edifici con maggiore permanenza di lavoratori/residenti).
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il parametro entra nel calcolo di $VFs_{esp}$ e $VFw_{esp}$ . Il valore maggiormente conservativo è il minimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.

<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti “self-standing” ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all’Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).
-------------	--

**SCHEMA 32 – Distanza tra il top della sorgente nel suolo insaturo (o in falda) e la base delle fondazioni ( $L_T$ )**

<b>Denominazione del parametro</b>	Distanza tra il top della sorgente nel suolo insaturo (o in falda) e la base delle fondazioni ( $L_T$ )
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	Sorgente nel suolo insaturo: 0 Sorgente in falda: 285
<b>Definizione</b>	<p>Tale parametro indica la distanza tra il top della sorgente di contaminazione e la base delle fondazioni:</p> $L_T = L_S - Z_{crack} \quad (\text{volatilizzazione da suolo})$ $L_T = L_{GW} - Z_{crack} \quad (\text{volatilizzazione da falda})$ <p>Nel caso di edifici fuori terra, si può ragionevolmente effettuare la seguente approssimazione:</p> $L_T = L_S \quad (\text{volatilizzazione da suolo})$ $L_T = L_{GW} \quad (\text{volatilizzazione da falda})$ <p>Per il suolo profondo si ha che il valore minimo di <math>L_S</math> è 1 m.</p>
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinato per tutte le tipologie di edifici presenti sul sito contaminato attraverso l'analisi della cartografia disponibile (planimetrie, sezioni costruttive, elaborati progettuali). Il valore selezionato sarà quello relativo all'edificio con caratteristiche più conservative (ad es. edifici interrati, edifici con poco ricambio d'aria, edifici con maggiore permanenza di lavoratori/residenti).
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il valore non entra direttamente nel calcolo dei fattori di trasporto, tuttavia dipende indirettamente da $L_S$ e $L_{GW}$ con i quali può coincidere per edifici fuori terra. Il valore maggiormente conservativo è pertanto il minimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.

**Note**

Il parametro non può essere posto uguale a zero altrimenti l'equazione di J&E perde di significato.

Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

### SCHEDA 33 – Profondità delle fondazioni ( $Z_{crack}$ )

<b>Denominazione del parametro</b>	Profondità delle fondazioni ( $Z_{crack}$ )
<b>Unità di misura</b>	cm
<b>Valore di default (APAT, 2006, Tab 5.2)</b>	15
<b>Definizione</b>	<p>In generale, questo parametro rappresenta la distanza tra il piano campagna e la base delle fondazioni.</p> <p>Nel caso di edifici fuori terra, coincide con lo spessore delle fondazioni:</p> $Z_{crack} = L_{crack}$
<b>Modalità di determinazione</b>	Determinato per tutte le tipologie di edifici presenti sul sito contaminato attraverso l'analisi della cartografia disponibile (planimetrie, sezioni costruttive, elaborati progettuali). Il valore selezionato sarà quello relativo all'edificio con caratteristiche più conservative (ad es. edifici interrati, edifici con poco ricambio d'aria, edifici con maggiore permanenza di lavoratori/residenti).
<b>Identificazione del valore maggiormente conservativo</b>	Il valore non entra direttamente nel calcolo dei fattori di trasporto, tuttavia in analogia con $L_{crack}$ , il valore maggiormente conservativo è pertanto il minimo.
<b>Modalità di validazione da parte dell'Ente di Controllo</b>	Deve essere verificata dall'Ente di Controllo, in fase istruttoria, la documentazione presentata per la condivisione delle scelte effettuate dal proponente.
<b>Note</b>	Ai proponenti devono essere richiesti documenti "self-standing" ovvero che contengano tutti gli elementi necessari all'Ente di Controllo per poter effettuare le proprie valutazioni (dati di caratterizzazione completi, certificati analitici, cartografia, documentazione fotografica, ecc.).

## **BIBLIOGRAFIA**

APAT (2006): “Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio ai siti contaminati”, rev 1, [www.apat.it](http://www.apat.it)

U.S. EPA (2001) “RAGS: volume 3 PART A-Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment\_Appendix A )”.

U.S. EPA (2001) “Risk Assessment Guidance for Superfund: volume 1; Human Health Evaluation Manual (PART E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment)”, EPA/540/R/99-005, OSWER9285.7-02EP,PB 99-963312.

Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (1997), Decreto Ministeriale del 1 agosto 1997, Approvazione dei Metodi di Analisi Fisica del Suolo (G.U. Suppl. Ordinario n. 173 del 2/9/97)

Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (1999), Decreto Ministeriale del 13 settembre 1999. Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo". (G.U. Suppl. Ordinario n.185-n.248 del 21/10/99)