

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE A.T.I.



ITALIANA COSTRUZIONI S.p.A.	(Mandante)
ESIM S.r.l.	(Mandante)
ALPITEL S.p.A.	(Mandante)
ARMAFER del Dr. Michele Morelli S.r.l.	(Mandante)

PROGETTAZIONE:



LOMBARDI Ingegneria S.r.l.	(Mandante)
COMPACT TRASPORTI S.r.l.	(Mandante)
A.T.P. S.r.l.	(Mandante)

**PROGETTO ESECUTIVO**

**LINEA PALERMO-MESSINA RADDOPPIO FIUMETORTO-CEFALÙ-CASTELBUONO  
TRATTA OGLIASTRILLO-CASTELBUONO**

**AMBIENTE E ARCHEOLOGIA  
AMBIENTE IMPATTO AMBIENTALE**

PIANO DI UTILIZZO DEI MATERIALI DA SCAVO  
ALLEGATO 11 - PIANO DI ACCERTAMENTO DEL VALORE DI FONDO NATURALE PER  
L'ELEMENTO STAGNO

L'APPALTATORE	APPR. DIRETTORE DEI LAVORI	SCALA:
---------------	----------------------------	--------

COMMESSA   LOTTO   FASE   ENTE   TIPO DOC.   OPERA/DISCIPLINA   PROGR.   REV.

RS2P   20   E   ZZ   RG   IM00000   030   A

Rev,	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato / Data
A	Emissione ri-editing	D'Angelo Zaffino	19.05.2014	Silvestri	19.05.2014	Carlucci	19.05.2014	
		AMB. & SIC.		LO-ING		TOTO		

**PIANO DI ACCERTAMENTO**  
**PER LA DETERMINAZIONE DEL VALORE DI FONDO NATURALE**  
**DELL'ELEMENTO STAGNO**  
**PRESSO GLI AMBITI DELLE OPERE PROGETTUALI PER IL "RADDOPPIO**  
**DEL TRATTO CEFALÙ OGLIASTRILLO (I) – CASTELBUONO (I), DELLA**  
**LINEA PALERMO – MESSINA, DI LUNGHEZZA DI KM 12,3 CIRCA,**  
**INTERAMENTE IN VARIANTE SU DOPPIO BINARIO, COMPRESA LA**  
**COSTRUZIONE DELLE GALLERIE CEFALÙ, S. AMBROGIO E**  
**MALPERTUGIO"**

*AI SENSI DELL'ART. 5 COMMA 4 D.M. 161/2012*

---

**RELAZIONE TECNICA**

---

Committente:  
**TOTO S.p.A.Costruzioni Generali**

Data	Rev		
Maggio 2014	00	Dott. Geol. Maurizio D'Angelo	Dott. Biol. Giuseppe Zaffino



**Ambiente & Sicurezza S.r.l.**  
98100 Messina  
Tel 090-310866 - Fax 090-314200  
e-mail: tecnico@ambienteesicurezza.net  
P. IVA: 02472580790



Piano di Accertamento per i valori di fondo naturale dell'elemento Stagno presso gli ambiti delle opere progettuali per il "Raddoppio del tratto Cefalù Ogliastrillo (i) – Castelbuono (i), della linea Palermo – Messina, di lunghezza di km 12,3 circa, interamente in variante su doppio binario, compresa la costruzione delle gallerie Cefalù, S. Ambrogio e Malpertugio"

## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>SINTESI DELLE RISULTANZE .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>CRITERI METODOLOGICI ADOTTATI.....</b>	<b>10</b>
3.1	Definizioni.....	10
3.2	Criteri generali.....	11
3.4	Definizione dell'assetto geologico e geochimico dell'area .....	11
3.5	Costituzione del set di dati.....	13
3.5.1	Individuazione delle aree rappresentative .....	13
3.5.2	Ubicazione dei punti di prelievo .....	13
3.5.3	Numero di campioni .....	16
3.5.4	Analisi di laboratorio.....	17
3.5.5	Raccolta e analisi dei dati sito specifici .....	19
3.6	Analisi statistica dei dati.....	19
3.6.1	Analisi preliminare del set di dati .....	20
3.6.2	Definizione della distribuzione dei dati e rappresentazione degli stessi.....	20
3.7	Determinazione dei valori di fondo naturale .....	21
<b>4</b>	<b>MODALITÀ OPERATIVE DI CAMPIONAMENTO .....</b>	<b>24</b>
4.1	Ubicazione dei punti di prelievo.....	24
4.1.1	Livelli detritici della litofacies pelitico-arenacea del Flysch Numidico.....	24
4.1.2	Terrazzi marini .....	25
4.1.3	Detriti di versante .....	25
4.2	Criteri di campionamento proposti.....	25
4.3	Modalità operative.....	26
4.4	Determinazioni analitiche .....	27



Piano di Accertamento per i valori di fondo naturale dell'elemento Stagno presso gli ambiti delle opere progettuali per il "Raddoppio del tratto Cefalù Ogliastrillo (i) – Castelbuono (i), della linea Palermo – Messina, di lunghezza di km 12,3 circa, interamente in variante su doppio binario, compresa la costruzione delle gallerie Cefalù, S. Ambrogio e Malpertugio"

## Appendici e Allegati

Appendice	Schede della aree di campionamento
Allegato	Criteri di Analisi Statistica – Appendice al Protocollo Operativo APAT-ISS per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli dei siti d'interesse nazionale

## 1 PREMESSA

A seguito della campagna di indagini ambientali volte alla caratterizzazione *ante operam* del sito di produzione dei materiali da scavo (nel seguito MDS) e dei siti di destinazione degli stessi materiali, eseguita ai sensi del D.M. 10 agosto 2012 n.161 ("*Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo*"), sono stati riscontrati in 58 campioni su 185 esaminati, dei valori di concentrazione di Stagno oltre la CSC di cui alla colonna A della Tabella 1 dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006.

I valori diffusi di tale elemento riscontrati nei campioni esaminati (valore minimo rilevato 0,12 mg/Kg, massimo 2,9 mg/Kg, medio 0,80 mg/Kg, con un solo *outlier* con valore pari a 22,9 mg/Kg) prelevati in varie parti del territorio, fanno propendere ad interpretare tale presenza come dovuta a cause naturali ossia ad un valore di fondo presente naturalmente nei minerali costituenti le rocce che costituiscono il substrato dell'area.

Il presente documento, ha come obiettivo quello di definire i criteri e le modalità per l'accertamento della concentrazione di fondo naturale del parametro Stagno nelle aeree da cui proverranno le terre da scavo e nelle aree a cui gli stessi saranno destinati.

L'accertamento sulle aree di destinazione delle terre da scavo è effettuata al fine di verificare le caratteristiche di analogia e confrontabilità del fondo naturale in tali aree, con quello relativo al sito di produzione.

Il valore di fondo accertato sarà, quindi, assunto nel redigendo Piano di utilizzo che sarà presentato secondo quanto previsto dall'art. 5 comma 3 del D.M. 161/12.

Per tale scopo si è fatto riferimento, principalmente, al documento ufficiale "Protocollo Operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli dei siti d'interesse nazionale" (Giugno 2006), redatto da un gruppo di lavoro composto dai rappresentanti dell'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT) e dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS) che si ispira alle indicazioni contenute nelle principali guide tecniche prodotte a livello nazionale ed internazionale, riguardanti l'elaborazione di criteri per la determinazione delle concentrazioni di fondo nelle matrici ambientali

Si è, inoltre, tenuto conto di quanto previsto nel documento "*Linee guida per lo studio dei valori di fondo naturale di alcuni metalli e semimetalli nei suoli della Liguria – Arpal luglio 2013*" che pure fa riferimento al citato protocollo ISPRA-ISS ma nell'ambito degli studi finalizzati alla determinazione di valori di fondo naturale.

Si ritiene, pertanto, utile riportare nel seguito, oltre ad una sintesi delle risultanze ottenute nelle indagini sinora svolte, gli estratti dei principali criteri metodologici derivanti dal protocollo APAT-ISS.

## 2 SINTESI DELLE RISULTANZE

Gli esiti delle indagini svolte in sede di caratterizzazione ante operam hanno evidenziato una diffusa presenza del parametro Stagno e una accentuata frequenza di concentrazioni superiori, seppur poco significative, tanto da poter rientrare, nella maggioranza dei casi, nell'incertezza estesa della metodica di analisi, alla CSC indicata in col. A della tabella 1 del D.Lgs. nr. 152/06 (Allegato 5 al Titolo V della Parte Quarta).

Il parametro stagno non rientra tra quelli previsti nell'ambito della tabella 4.1 dell'allegato 4 del DM 161/12. Esso è stato introdotto nel set analitico impiegato nell'ambito delle attività di caratterizzazione *ante operam* su segnalazione dell'ARPA ST Palermo, competente per territorio, in considerazione del fatto che, per tale elemento, è stato frequentemente riscontrato, nell'ambito territoriale in cui rientra l'opera di cui si tratta, il superamento della summenzionata CSC di col. A, pari ad 1 mg/Kg.

È necessario specificare che lo Stagno è presente in natura nei suoi minerali più diffusi, Cassiterite e Stannite, ed è generalmente presente in terreni di origine sedimentaria come argille e calcari, con concentrazioni molto spesso comprese tra 4 a 6 mg/kg, nelle arenarie con 1 mg/kg e nelle rocce di origine magmatica, tra 0,5 a 3 mg/kg, mentre nelle torbe può raggiungere anche 300 mg/Kg

In tal senso nel 2007 la Commissione Europea, Direzione Generale Joint Research Centre, Istituto per l'Ambiente e la Sostenibilità di Ispra (VA), nel documento "Derivation methods of soil screening values in Europe" [EUR 22805-EN, 306 pp.], con il quale ha presentato una revisione e valutazione delle procedure nazionali per l'armonizzazione dello screening nei terreni, al paragrafo 4.6, già segnalava l'anomalia italiana per il parametro Stagno.

È, pertanto, da assumere, come estremamente probabile che l'ambito territoriale in cui ricade l'opera sia interessato da un valore di fondo naturale del parametro stagno che giustifichi appunto il valore superiore della CSC di col. A.

Di seguito si riporta tabella riepilogativa inerente i riscontri di Stagno, intesa come illustrazione dell'andamento generale e quindi con i valori anche al di sotto delle CSC, su tutte le aree oggetto di verifica analitica nel corso dell'indagine effettuata in fase ante operam.

I siti di destinazione citati nella presente tabella sono Cava Roccalupa (Comune di Pollina) e Cava Cerda (Comune di Sciara). Tutti gli altri riferimenti di localizzazione sono relativi alle aree di futura produzione delle terre da scavo.

I valori sono distribuiti, in prim'ordine, secondo le profondità di prelievo; secondariamente sono raggruppati per area/sito di prelievo, in ordine crescente rispetto ai valori riscontrati. In rosso i valori oltre al CSC di colonna A (pari a 1 mg/Kg), mentre il valore evidenziato in giallo corrisponde all'unico valore che può essere considerato un "falso outlier" ossia un valore estremo reale, riscontrato nel punto 70 (prof. 1 m) ubicato presso la Stazione ferroviaria di Castelbuono e presumibilmente derivante da azione antropica. Il colore dello sfondo delle righe contraddistingue l'intervallo di profondità (*top-soil*, tra 0,4 e 1,0 m, tra 1,1 e 3,0 m, oltre 3 m).

Zona di prelievo	Tipologia Sito*	Nome Punto	Valore riscontrato Sn [mg/Kg]	Profondità [m da p.c.]
Cava Roccalupa	Destinazione	SC10/1	n.r	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P2H	n.r	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P2I	n.r	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P2L	n.r	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P19A	n.r	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P19B	n.r	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P19C	n.r	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P20	0,12	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P17E	0,16	0
Cava Roccalupa	Destinazione	SC11/1	0,17	0
Cava Roccalupa	Destinazione	SC9/1	0,18	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P19	0,18	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P2F	0,19	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P2G	0,22	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P02E	0,26	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P17C	0,29	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P18	0,32	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P17D	0,45	0
Cava Roccalupa	Destinazione	SC17/1	0,51	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P17A	0,58	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P03E	0,75	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P17B	0,76	0
Cava Roccalupa	Destinazione	SC2/1	0,77	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P03C	0,93	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P3F	0,93	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P03B	0,97	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P03D	0,97	0
Cava Roccalupa	Destinazione	SC3/1	1,00	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P02B	1,02	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P03A	1,04	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P02A	1,16	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P02D	1,16	0
Cava Roccalupa	Destinazione	P02C	1,47	0
SS 113 Pollina	Produzione	P72 – C1	1,80	0,3
Cerda	Destinazione	SC6/1	0,13	1
Cerda	Destinazione	SC2/1	0,18	1
Cerda	Destinazione	SC10/1	0,39	1
Cerda	Destinazione	SC4/1	0,46	1
Cerda	Destinazione	SC3/1	0,52	1
Cerda	Destinazione	SC1/1	0,76	1
Cerda	Destinazione	SC8/1	1,03	1
Cerda	Destinazione	SC5/1	1,15	1
Cerda	Destinazione	SC7/1	1,18	1
Cerda	Destinazione	SC9/1	1,29	1
Ogliastrillo	Produzione	P1 – C1	1,30	1
Ogliastrillo	Produzione	P2 – C1	1,90	1

Zona di prelievo	Tipologia Sito*	Nome Punto	Valore riscontrato Sn [mg/Kg]	Profondità [m da p.c.]
Pisciotta	Produzione	P14 – C1	1,50	1
Pisciotta	Produzione	P13 – C1	2,00	1
Malpertugio	Produzione	P66A - SC01	0,59	1
Malpertugio	Produzione	P66C - SC01	0,60	1
Malpertugio	Produzione	P66B - SC01	0,67	1
Malpertugio	Produzione	P66 - C1	1,60	1
Malpertugio	Produzione	P65 – C1	2,10	1
Malpertugio	Produzione	P64 – C1	2,70	1
FS Castelbuono	Produzione	69A - SC01	0,55	1
FS Castelbuono	Produzione	70A - SC01	0,56	1
FS Castelbuono	Produzione	69B - SC01	0,66	1
FS Castelbuono	Produzione	70B - SC01	0,84	1
FS Castelbuono	Produzione	69C - SC01	0,91	1
FS Castelbuono	Produzione	P69 - C1	1,30	1
FS Castelbuono	Produzione	P70 - C1	1,80	1
Cava Roccalupa	Destinazione	SC7/1	n.r.	1
Cava Roccalupa	Destinazione	SC8/1	0,20	1
Cava Roccalupa	Destinazione	SC15/1	0,21	1
Cava Roccalupa	Destinazione	15D-SC01	0,25	1
Cava Roccalupa	Destinazione	SC14/1	0,41	1
Cava Roccalupa	Destinazione	SC1/1	0,42	1
Cava Roccalupa	Destinazione	SC6/1	0,42	1
Cava Roccalupa	Destinazione	13C-SC01	0,44	1
Cava Roccalupa	Destinazione	SC4/1	0,61	1
Cava Roccalupa	Destinazione	SC5/1	0,61	1
Cava Roccalupa	Destinazione	SC13/1	0,63	1
Cava Roccalupa	Destinazione	SC16/1	0,66	1
Cava Roccalupa	Destinazione	13D-SC01	0,68	1
Cava Roccalupa	Destinazione	SC12/1	0,75	1
Cava Roccalupa	Destinazione	15B-SC01	0,75	1
Cava Roccalupa	Destinazione	13B-SC01	0,77	1
Cava Roccalupa	Destinazione	13A-SC01	0,87	1
Cava Roccalupa	Destinazione	22-SC01	0,88	1
Cava Roccalupa	Destinazione	21-SC01	1,03	1
Cava Roccalupa	Destinazione	15C-SC01	1,17	1
Cava Roccalupa	Destinazione	15A-SC01	1,18	1
FS Castelbuono	Destinazione	70C - SC01	22,90	1
Carbone	Produzione	P41 – C1	2,10	1,3
SL 11	Produzione	C1	0,82	1,5
Ogliastrillo	Produzione	P1 – C2	1,80	1,5
Carbone	Produzione	P41 – C2	1,20	2
Cerda	Destinazione	SC5/2	0,21	2
Cerda	Destinazione	SC6/2	0,29	2
Cerda	Destinazione	SC2/2	0,37	2
Cerda	Destinazione	SC10/2	0,62	2
Cerda	Destinazione	SC4/2	0,77	2
Cerda	Destinazione	SC1/2	0,84	2
Cerda	Destinazione	SC9/2	0,89	2
Cerda	Destinazione	SC7/2	0,93	2

Zona di prelievo	Tipologia Sito*	Nome Punto	Valore riscontrato Sn [mg/Kg]	Profondità [m da p.c.]
Cerda	Destinazione	SC3/2	0,94	2
Cerda	Destinazione	SC8/2	1,05	2
Ogliastrillo	Produzione	P2 – C2	2,60	2
Pisciotto	Produzione	P14 – C2	1,10	2
Pisciotto	Produzione	P13 – C2	1,60	2
Malpertugio	Produzione	P66A - SC02	0,60	2
Malpertugio	Produzione	P66C - SC02	0,85	2
Malpertugio	Produzione	P66B - SC02	1,06	2
Malpertugio	Produzione	P66 - C2	1,20	2
Malpertugio	Produzione	P66 - C3	1,50	2
Malpertugio	Produzione	P64 – C2	2,20	2
Malpertugio	Produzione	P65 – C2	2,50	2
FS Castelbuono	Produzione	70A - SC02	0,28	2
FS Castelbuono	Produzione	69A - SC02	0,60	2
FS Castelbuono	Produzione	70B - SC02	0,62	2
FS Castelbuono	Produzione	69C - SC02	0,88	2
FS Castelbuono	Produzione	69B - SC02	1,19	2
FS Castelbuono	Produzione	P69 - C2	1,20	2
FS Castelbuono	Produzione	P70 - C2	1,70	2
Cava Roccalupa	Destinazione	SC13/2	0,22	2
Cava Roccalupa	Destinazione	15A-SC02	0,42	2
Cava Roccalupa	Destinazione	SC6/2	0,53	2
Cava Roccalupa	Destinazione	13C-SC02	0,53	2
Cava Roccalupa	Destinazione	SC4/2	0,54	2
Cava Roccalupa	Destinazione	15D-SC02	0,54	2
Cava Roccalupa	Destinazione	SC8/2	0,56	2
Cava Roccalupa	Destinazione	SC1/2	0,60	2
Cava Roccalupa	Destinazione	13D-SC02	0,66	2
Cava Roccalupa	Destinazione	SC12/2	0,71	2
Cava Roccalupa	Destinazione	SC7/2	0,72	2
Cava Roccalupa	Destinazione	15B-SC02	0,77	2
Cava Roccalupa	Destinazione	22-SC02	0,91	2
Cava Roccalupa	Destinazione	13A-SC02	1,04	2
Cava Roccalupa	Destinazione	13B-SC02	1,07	2
Cava Roccalupa	Destinazione	15C-SC02	1,10	2
Cava Roccalupa	Destinazione	SC15/2	1,15	2
Cava Roccalupa	Destinazione	SC16/2	1,17	2
Cava Roccalupa	Destinazione	SC14/2	1,39	2
Cava Roccalupa	Destinazione	21-SC02	1,41	2
SL 10	Produzione	C1	0,79	2,5
Malpertugio	Produzione	P65 – C3	2,60	2,5
Carbone	Produzione	SC01C - CR01	0,77	3
Carbone	Produzione	SC01A - CR01	0,90	3
Ogliastrillo	Produzione	P2 – C3	2,90	3
Pisciotto	Produzione	P13 – C3	0,60	3
Pisciotto	Produzione	P14 – C3	1,30	3
Malpertugio	Produzione	P66A - SC03	0,54	3
Malpertugio	Produzione	P66B - SC03	0,58	3
Malpertugio	Produzione	P66C - SC03	1,04	3

Zona di prelievo	Tipologia Sito*	Nome Punto	Valore riscontrato Sn [mg/Kg]	Profondità [m da p.c.]
Malpertugio	Produzione	P64 – C2	1,30	3
FS Castelbuono	Produzione	69A - SC03	0,75	3
FS Castelbuono	Produzione	69B - SC03	0,78	3
FS Castelbuono	Produzione	P69 - C3	1,00	3
FS Castelbuono	Produzione	69C - SC03	1,37	3
Carbone	Produzione	SC01B - CR01	0,51	4
SL 11	Produzione	C2	0,66	4,5
Carbone	Produzione	SC01A - CR02	0,58	5
Carbone	Produzione	SC01C - CR02	0,87	5
SL 10	Produzione	C2	0,05	5,5
Carbone	Produzione	SC01B - CR02	0,38	6
Carbone	Produzione	SC01 - CR01	0,64	7
Carbone	Produzione	SC01A - CR03	0,52	9
Carbone	Produzione	SC01C - CR03	0,98	9
SL 11	Produzione	C3	1,09	9,5
Carbone	Produzione	SC01B - CR03	0,96	10
Carbone	Produzione	SC01 - CR02	1,04	11
Carbone	Produzione	SC01A - CR04	0,83	14
Carbone	Produzione	SC01C - CR04	0,90	14
Carbone	Produzione	SC01B - CR04	0,92	14
SL 10	Produzione	C3	0,05	15,5
Carbone	Produzione	SC01 - CR03	0,81	16
Carbone	Produzione	SC01C - CR05	0,05	18
Carbone	Produzione	SC01A - CR05	0,56	18
Carbone	Produzione	SC01B - CR05	0,93	18
SL 1	Produzione	C1	1,14	34,5
SL 13	Produzione	C1	0,05	38,5
SL 1	Produzione	C2	0,99	40,5
SL 13	Produzione	C2	1,14	50,5
SL 9	Produzione	C1	1,42	63,5
SL 9	Produzione	C2	n.r.	77,5
SL 4	Produzione	C1	n.r.	111,5
SL 6	Produzione	C1	n.r.	118,5
SL 4	Produzione	C2	n.r.	119,5
SL 8	Produzione	C1	n.r.	121,5
SL 6	Produzione	C2	n.r.	122,5
SL 5	Produzione	C1	n.r.	130,5
SL 8	Produzione	C2	n.r.	132,5
SL 5	Produzione	C2	n.r.	140,5
SL 7	Produzione	C1	n.r.	295,5
SL 7	Produzione	C2	n.r.	305,5

\*per "tipologia sito" si specifica se il sito di prelievo corrisponde ad un'area di produzione di materiale da scavo o di destinazione di questo (aree esterne al sito di produzione)

**Tabella 1 – Dati generali riferiti al parametro Stagno, con individuazione del sito/area di prelievo, della tipologia di sito/area e della profondità di prelievo; i dati sono ordinati per profondità di prelievo e sono suddivisi in intervalli di profondità; i valori superiori alla CSC sono riportati in rosso.**

### 3 CRITERI METODOLOGICI ADOTTATI

#### 3.1 Definizioni

Si ritiene utile riportare alcune definizioni riprese dal protocollo APAT-ISS (paragrafo 2) inerenti la terminologia utilizzata nel presente piano di accertamento.

- **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.
- **Caratteristiche statistiche (ISO 19258)**: parametro statistico scelto per rappresentare la distribuzione delle concentrazioni; ad esempio il 90° percentile.
- **Valori di fondo naturale (ISO 19258)**: caratteristiche statistiche del contenuto naturale pedogeochimico di una sostanza nei suoli.
- **Valori di fondo antropizzato "fondo usuale" (ISO 19258)**: caratteristiche statistiche del contenuto antropizzato di una sostanza nei suoli.
- **Immissione da sorgente diffusa (ISO 19258)**: l'immissione di una sostanza emessa da una sorgente mobile, da una sorgente estesa o da più sorgenti.
- **Inquinamento diffuso (D.Lgs. 152/06)**: contaminazione o alterazioni chimiche, fisiche o biologiche delle matrici ambientali determinate da fonti diffuse e non imputabili ad una singola origine.
- **Inquinamento diffuso (D.M. 471/99)**: contaminazione o alterazioni chimiche, fisiche o biologiche del suolo o del sottosuolo o delle acque superficiali o delle acque sotterranee imputabili alla collettività indifferenziata e determinate da fonti diffuse.
- **Metalloidi**: elementi aventi caratteristiche fisiche e chimiche intermedie tra quelle dei metalli e quelle dei non metalli; i metalloidi noti sono boro (B), silicio (Si), germanio (Ge), arsenico (As), antimonio (Sb), tellurio (Te) e polonio (Po).
- **Valore di fondo (US EPA, 1995)**: concentrazione di composti inorganici nei suoli o nei sedimenti situati in prossimità di siti inquinati ma che non sono influenzati dalle attività svolte nel sito o ad esse ricollegabili.

Ai sensi di quanto previsto dal DM 161/12, art. 5 par. 4, il presente Piano di Accertamento, ha come finalità la determinazione di un valore rappresentativo del fondo naturale. Nella definizione delle indagini e nella successiva elaborazione dei dati raccolti, pertanto, si dovrà aver riguardo all'esigenza far riferimento a rilevamenti per quanto possibile non influenzati dagli effetti di attività antropica ossia delle contaminazioni o alterazioni chimiche, fisiche o biologiche delle matrici ambientali determinate da cause antropiche.

### 3.2 Criteri generali

I criteri esposti nel documento APAT-ISS e ai quali si fa riferimento in questa sede, derivano principalmente da quanto elaborato nei documenti di seguito riportati:

- *ISO - International Organization for Standardization: Soil quality – Guidance on the determination of background values. ISO19258 - ISO TC 190/SC 7.*
- *FOREGS - Forum of the European Geological Surveys Directors: Geochemical mapping. Field manual*
- *U.S. Environmental Protection Agency (2002): Guidance for Comparing Background and Chemical Concentrations in Soil for CERCLA Sites.*
- *Provincia di Milano:” Linee guida per la determinazione dei valori del fondo naturale nell’ambito della bonifica dei siti contaminati.”*

Come accennato in premessa, ulteriore riferimento per l’elaborazione del presente Piano e delle valutazioni da svolgere a valle dell’espletamento delle indagini in esso previste, è costituito dalle “Linee guida per lo studio dei valori di fondo naturale di alcuni metalli e semimetalli nei suoli della Liguria – Arpal luglio 2013” i cui contenuti, peraltro, si ispirano ai criteri esposti nel citato Protocollo APAT-ISS.

La procedura adottata dal protocollo APAT-ISS prevede le seguenti fasi di studio:

- definizione dell’assetto geologico e geochimico dell’area (cfr. § 3.4)
- raccolta e analisi dei dati esistenti (cfr. § 3.5.5);
- costituzione del set di dati (cfr. § 3.5);
- elaborazione statistica dei dati (cfr. § 3.6);
- determinazione del fondo (cfr. § 3.7).

Nei successivi paragrafi sono descritte le modalità di applicazione di dette fasi alla situazione specifica oggetto del presente Piano. Per immediato riferimento, si riporta in allegato al presente documento l’appendice 1 al Protocollo APAT-ISS contenente alcuni approfondimenti sulle applicazioni statistiche richiamate nel testo.

### 3.4 Definizione dell’assetto geologico e geochimico dell’area

Come esposto nel Protocollo APAT-ISS in tale fase di studio, finalizzata alla ricostruzione dell’assetto geologico e della composizione geochimica dei terreni, si dovrà far riferimento alle informazioni significative disponibili e che proverranno, in linea di massima, da documentazione quale quella indicata, non esaustivamente, nella seguente tab. 2.

ELABORATO	INFORMAZIONI
Carta geologica	Litologia
Carta geomorfologica	Aree d’accumulo e di erosione
Carta dei suoli	Caratteristiche e variabilità del suolo
Carta geochimica	Composizione geochimica dei terreni

ELABORATO	INFORMAZIONI
Analisi effettuate in ante operam	<i>Valori di concentrazione dei principali composti nei terreni</i>
Archivio geochimico nazionale	<i>Principali informazioni sui suoli, sui sedimenti fluviali attivi e sulle acque del territorio italiano</i>
FOREGS Geochemical Baseline Mapping Programme	<i>Caratteristiche geochimiche ad ampia scala</i>
Cartografia tecnica Regionale	<i>Strutture presenti sul territorio</i>
Piani Regolatori	<i>Destinazione d'uso delle aree</i>
Piano di utilizzo in corso di redazione ai sensi art. 5 D.M. 161/12	<i>Ubicazione aree di futura produzione delle terre, e dei siti destinazione e relativa documentazione e cartografia tecnica a corredo</i>

**Tabella 2 - Documentazione utile per l'inquadramento generale**

Nell caso in specie, tale studio è stato condotto a partire dalla ricognizione della copiosa documentazione, sia consultata che specificamente elaborata oltre che degli esiti delle campagne di indagine effettuate, in fase di elaborazione del Progetto Esecutivo dell'opera e di redazione del Piano di Utilizzo e dei relativi Piani di Caratterizzazione.

In particolare si richiamano i seguenti documenti allegati al Piano di Utilizzo:

- *Piano di Caratterizzazione Ambientale dei Materiali da Scavo*
- *Piano di Caratterizzazione Ambientale dei Siti di Destinazione*
- *Relazione descrittiva delle indagini ante operam – materiali da scavo (trincee)*
- *Relazione tecnica descrittiva "Caratterizzazione ambientale siti di destinazione finale terre da scavo Cava Cerda - Comune di Sciara (PA)"*
- *Relazione tecnica descrittiva "Caratterizzazione ambientale siti di destinazione finale terre da scavo Cava Roccalupa - Comune di Pollina (PA)"*
- *Relazione tecnica descrittiva delle indagini eseguite tramite sondaggi geognostici a carattere ambientale, Comune di Cefalù (PA)"*
- *Relazione tecnica descrittiva delle attività integrative della caratterizzazione ante operam, in relazione ai superi delle CSC riscontrate.*

L'acquisizione e l'analisi dei documenti esistenti sopra richiamati ha fornito, le indicazioni preliminari sulle concentrazioni tipiche dei parametri di interesse nell'area in studio e ha permesso, inoltre, di individuare le aree aventi caratteristiche omogenee con l'area in studio, in modo da delimitare l'area rappresentativa, come meglio descritto nel § 3.5.1.

### 3.5 Costituzione del set di dati

I criteri da seguire per la composizione del set di dati numerici (derivanti nel nostro caso dalle analisi chimiche) da utilizzare nella determinazione dei valori di fondo naturale sono oggetto del paragrafo 6 del Protocollo APAT-ISS. I requisiti di rappresentatività, omogeneità e qualità proposti sono stati utilizzati per la programmazione della successiva campagna di indagine appositamente predisposta e da eseguirsi in contraddittorio con Arpa ST di Palermo. Essi potranno essere utilizzati anche per la validazione di dati acquisiti nel corso delle indagini già effettuate in fase di ante operam.

#### 3.5.1 Individuazione delle aree rappresentative

L'area rappresentativa è intesa come una porzione di territorio, con le caratteristiche indicate nel seguito, nella quale saranno prelevati i campioni nella fase di indagine appositamente predisposta di cui al punto precedente.

Per l'individuazione delle aree rappresentative si è fatto riferimento alla fase dello studio, di cui al § 3.4.

Pertanto i dati necessari alla determinazione del fondo naturale, finalizzati al confronto con dati specifici del sito/area con valori oltre la CSC, dovranno provenire da aree, denominate, in tal senso, "rappresentative". Il Protocollo APAT-ISS, richiede che tali aree 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.*

Il primo criterio di selezione delle aree d'indagine prevede la compatibilità geologica e geomorfologica, per ottemperare all'esigenza di individuare un'area che presenti le medesime caratteristiche dell'area in cui sono stati riscontrati i superamenti, in termini di composizione chimica "naturale".

Le condizioni richieste dal secondo punto portano all'individuazione di aree di campionamento in cui la destinazione d'uso, l'ubicazione e le risultanze dello studio effettuato portino a escludere, in prima analisi, la presenza di sorgenti puntuali di contaminazione.

Nel caso di specie, essendo il Piano finalizzato alla determinazione di valori di fondo naturale, le aree ai fini delle successive attività di campionamento, sono state individuate con l'utilizzo dei criteri di cui sopra e secondo la priorità di scelta indicati al 6.1 del protocollo APAT- ISS (*destinazione a verde pubblico, parchi, le zone protette, le aree residenziali*) facendo riferimento, quindi, ad aree per le quali, si possa assumere la sostanziale assenza di influenze da attività antropiche.

Le aree individuate sono riportate in appendice 1 al presente piano di accertamento

#### 3.5.2 Ubicazione dei punti di prelievo

Le strategie di campionamento più comunemente adottate e richiamate dal protocollo APAT-ISS sono le seguenti:

- *campionamento sistematico o a griglia, in cui i punti ricadono sui vertici o all'interno delle celle di un reticolo immaginario a maglia quadrata o triangolare, risultando quindi equispaziati; l'intervallo tra i punti della griglia dipende dalla risoluzione desiderata e dalle dimensioni dell'area investigata;*
- *campionamento casuale, in cui i punti sono disposti liberamente nell'area da investigare;*
- *campionamento sistematico-casuale, in cui all'interno di una maglia quadrata o triangolare le singole celle contengono ciascuna un punto ma in posizione variabile da cella a cella;*
- *campionamento stratificato, in cui i punti vengono distribuiti casualmente o sistematicamente all'interno di sub-aree individuate col criterio della maggiore omogeneità rispetto ad un parametro prescelto (ad esempio, stessa litologia o stesso grado di umidità o stessa profondità, ecc.).*

La scelta della strategia è generalmente determinata dal grado di conoscenze preesistenti sulla natura e sull'uso del complesso suolo-sottosuolo; quando si hanno scarse conoscenze l'approccio casuale e quello sistematico sono spesso più indicati.

Nel caso in esame si è già in possesso di consistenti informazioni specifiche circa la distribuzione spaziale di uno o più parametri "discriminanti" quali uso del suolo, tipo di suolo e una notevole di set di dati inerenti concentrazione e distribuzione del parametro stagno .

Si è adottata, pertanto, una strategia di campionamento stratificato, individuando le aree di affioramento più significative delle formazioni, che in occasione delle indagini sinora svolte hanno mostrato i tenori più alti di Stagno.

In ogni stazione di campionamento i criteri APAT-ISS prevedono il prelievo di n. 3 campioni:

- a) il *top soil*,
- b) un campione rappresentativo dello strato superficiale 0-1 m,
- c) uno rappresentativo del terreno profondo (compreso tra il primo m e il tetto del terreno saturo).

Nel caso specifico, dato che la distribuzione dei dati in correlazione con la profondità ha evidenziato una percentuale di superamenti più alta nel suolo più profondo e soprattutto tra 1 e 3 m, il terzo campione potrà essere prelevato tra 1 e 3 m di profondità, dato che a profondità maggiore la distribuzione dei valori oltre la CSC è poco significativa. Nel seguito si riporta la tabella 3 che illustra la distribuzione dei valori riscontrati con la profondità.

Intervallo della profondità di prelievo	Numero di campioni totali per intervallo	Superamenti della CSC	Percentuale dei valori >CSC*
0,0 ÷ 0,3 m	34	7	20,5%
0,4 ÷ 1,0 m	50	16	32,0%
1,1 ÷ 3,0 m	65	29	44,6%
Oltre 3,0 m	44	5	11,4%

\*% riferita ad ogni intervallo di dati

**Tabella 3 – Distribuzione dei valori oltre la CSC in funzione dell'intervallo di prelievo dei campioni**

L'analisi per la determinazione dei valori di fondo naturale sarà, pertanto, condotta, anche al fine di disporre di un ulteriore elemento di valutazione in fase di elaborazione degli esiti analitici, per comparti omogenei in termini di

litologia e classi di profondità. Non saranno prelevati campioni costituiti da materiale di riporto. Nel seguito si riporta l'elenco dei campioni con valori oltre la CSC, suddivisi per intervallo di profondità e con definizione della litologia interessata.

Zona	Nome Punto	Valore [mg/Kg]	Profondità [m da p.c.]	Litologia
Cava Roccalupa	SC3/1	1	0	detrito fliscioide
Cava Roccalupa	P02B	1,02	0	detrito fliscioide
Cava Roccalupa	P03A	1,04	0	detrito fliscioide
Cava Roccalupa	P02A	1,16	0	detrito fliscioide
Cava Roccalupa	P02D	1,16	0	detrito fliscioide
Cava Roccalupa	P02C	1,47	0	detrito fliscioide
SS 113 Pollina	P72 – C1	1,8	0,3	suolo
Cerda	SC8/1	1,03	1	suolo detritico
Cerda	SC5/1	1,15	1	suolo detritico
Cerda	SC7/1	1,18	1	suolo detritico
Cerda	SC9/1	1,29	1	suolo detritico
Ogliastrillo	P1 – C1	1,3	1	suolo da terrazzi marini
Ogliastrillo	P2 – C1	1,9	1	suolo da terrazzi marini
Pisciotta	P14 – C1	1,5	1	suolo alluvionale
Pisciotta	P13 – C1	2	1	suolo alluvionale
Malpertugio	P66 - C1	1,6	1	suolo detritico
Malpertugio	P65 – C1	2,1	1	suolo detritico
Malpertugio	P64 – C1	2,7	1	suolo detritico
FS Castelbuono	P69 - C1	1,3	1	suolo
FS Castelbuono	P70 - C1	1,8	1	suolo
Cava Roccalupa	21-SC01	1,03	1	suolo detritico
Cava Roccalupa	15C-SC01	1,17	1	suolo detritico
Cava Roccalupa	15A-SC01	1,18	1	suolo detritico
FS Castelbuono	70C - SC01	22,9	1	suolo
Carbone	P41 – C1	2,1	1,3	detrito fliscioide
Ogliastrillo	P1 – C2	1,8	1,5	terrazzi marini
Carbone	P41 – C2	1,2	2	detrito fliscioide
Cerda	SC8/2	1,05	2	detrito di versante vario
Ogliastrillo	P2 – C2	2,6	2	terrazzi marini
Pisciotta	P14 – C2	1,1	2	alluvioni
Pisciotta	P13 – C2	1,6	2	alluvioni
Malpertugio	P66B - SC02	1,06	2	detrito fliscioide
Malpertugio	P66 - C2	1,2	2	detrito fliscioide
Malpertugio	P66 - C3	1,5	2	detrito fliscioide
Malpertugio	P64 – C2	2,2	2	detrito fliscioide
Malpertugio	P65 – C2	2,5	2	detrito fliscioide
FS Castelbuono	69B - SC02	1,19	2	detrito fliscioide
FS Castelbuono	P69 - C2	1,2	2	detrito fliscioide
FS Castelbuono	P70 - C2	1,7	2	detrito fliscioide
Cava Roccalupa	13A-SC02	1,04	2	detrito di cava prevalentemente fliscioide
Cava Roccalupa	13B-SC02	1,07	2	detrito di cava prevalentemente fliscioide
Cava Roccalupa	15C-SC02	1,1	2	detrito di cava prevalentemente fliscioide
Cava Roccalupa	SC15/2	1,15	2	detrito di cava prevalentemente fliscioide
Cava Roccalupa	SC16/2	1,17	2	detrito di cava prevalentemente fliscioide

Zona	Nome Punto	Valore [mg/Kg]	Profondità [m da p.c.]	Litologia
Cava Roccalupa	SC14/2	1,39	2	detrito di cava prevalentemente fliscioide
Cava Roccalupa	21-SC02	1,41	2	detrito di cava prevalentemente fliscioide
Malpertugio	P65 – C3	2,6	2,5	detrito fliscioide
Ogliastrillo	P2 – C3	2,9	3	terrazzi marini
Pisciotto	P14 – C3	1,3	3	alluvioni
Malpertugio	P66C - SC03	1,04	3	detrito fliscioide
Malpertugio	P64 – C2	1,3	3	detrito fliscioide
FS Castelbuono	P69 - C3	1	3	detrito fliscioide
FS Castelbuono	69C - SC03	1,37	3	detrito fliscioide
SL 11	C3	1,09	9,5	flysch arenaceo-pelitico
Carbone	SC01 - CR02	1,04	11	flysch arenaceo-pelitico
SL 1	C1	1,14	34,5	flysch arenaceo-pelitico
SL 13	C2	1,14	50,5	flysch arenaceo-pelitico
SL 9	C1	1,42	63,5	flysch arenaceo-pelitico

**Tabella 4 – Campioni con valori oltre la CSC distinti in funzione dell'intervallo di prelievo dei campioni e con definizione della litologia interessata.**

Dalla tabella 4 si evidenzia che la formazione prevalentemente interessata da tali superamenti è quella de Flysch Numidico nella facies pelitico-arenacea, soprattutto nei livelli superficiali alterati (sino a 3 m) e pedogenizzati (suoli sino ad 1 m di profondità). Seguono i detriti di versante, i detriti di cava, i terrazzi marini e le alluvioni, che comunque contengono materiale di derivazione fliscioide in elevata percentuale.

In sintesi le formazioni litologiche interessate sono le seguenti:

- 1) livelli alterati e/o detritici della litofacies pelitico-arenaceo del Flysch Numidico;**
- 2) terrazzi marini;**
- 3) detriti di versante misto carbonatico e argillitico.**

La prima è distribuita in maniera estesa in tutta l'area in esame; la seconda è individuabile soprattutto in zona Ogliastrillo e, comunque, lungo la fascia costiera; la terza formazione si riscontra nel versante di Monte San Calogero, presso cui si attesta la cava Cerda, uno dei siti di destinazione del materiale da scavo.

### 3.5.3 Numero di campioni

La documentazione tecnica di riferimento indica che il numero minimo di campioni necessari a garantire la significatività statistica del dato è compreso fra 10 e 30.

Sulla base dei criteri statistici riportati in Appendice 1 al documento APAT (ed allegato al presente documento in Appendice 2), il numero minimo di campioni necessari per la determinazione della distribuzione di concentrazioni di fondo è posto pari a 30. Tale numero deve essere rispettato per ogni strato omogeneo, come definito nel paragrafo precedente.

Come ovvio un numero di campioni maggiore aumenta la significatività del dato, a patto che siano comunque rispettati i criteri descritti nel paragrafo 3.5.1.

Posto che nel caso specifico sono stati già esaminati un numero di campioni pari a **185**, ubicati tutti internamente al sito di produzione dei materiali da scavo (91) ed ai siti di destinazione (94), considerate le risultanze derivanti dall'analisi della distribuzione dei valori con la profondità e la litologia (cfr. Tabb. 3 e 4), da cui si desume una incidenza maggiore degli orizzonti litologici fliscioidi della facies pelitico-arenacea alterata, distribuiti tra 0 e 1 m e tra 1 e 3 m, ne deriva che il numero di campioni supplementari da prelevare esternamente ai siti elencati, ma in aree con caratteristiche litologiche simili, può essere inferiore a 30 per ogni orizzonte litologico e per ogni intervallo di profondità individuato in tabella 3 (tralasciando l'intervallo più profondo, che risulta poco significativo, sia per i valori riscontrati che per le percentuali di superamenti della CSC).

#### 3.5.4 Analisi di laboratorio

Per i campioni che saranno prelevati per la determinazione dei valori di fondo naturale saranno utilizzate metodiche rispondenti a requisiti e in regime di buone pratiche di laboratorio e di qualità.

Le determinazioni di laboratorio prevedranno l'adozione di tecniche di preparazione dei campioni conformi a quanto prescritto dal D.M. 13 settembre 1999 ("Metodi ufficiali di analisi chimica sul suolo").

I laboratori che verranno utilizzati sono: **R&C Lab** di Altavilla Vicentina (VI), e il laboratorio CADA snc di Menfi (AG) entrambi certificati ACCREDIA.

I laboratori citati hanno già operato nella fase di caratterizzazione ante operam, il laboratorio Cada ha analizzato i campioni provenienti dal tracciato della futura opera per nr. 28 campioni su 91 in totale, il laboratorio Rc lab ha analizzato i restanti campioni sul tracciato dell'opera e 94 campioni provenienti dai siti di destinazione.

Nell'ambito delle indagini per l'acquisizione di dati utili ai fini della determinazione dei valori di fondo naturale e per valutare l'effettiva biodisponibilità di inquinanti metallici, oltre alle analisi per la determinazione delle concentrazioni dei parametri di interesse è opportuno prevedere la determinazione di ulteriori parametri caratteristici del terreno che influenzano la mobilità e le reazioni chimiche del metallo con i costituenti della matrice suolo. ed il test di eluizione secondo norma UNI 10802, tipico del settore rifiuti ed effettuato ai fini specifici di individuazione di contaminazione dovuta ad attività antropiche.

Le determinazioni analitiche richieste ai fini della valutazione della biodisponibilità, da effettuare solo per i campioni che verranno prelevati nelle aree individuate in questa sede, sono le seguenti:

- *tessitura,*
- *peso specifico,*
- *pH,*
- *potenziale redox,*
- *carbonio organico,*
- *capacità scambio cationico,*
- *contenuto di carbonato,*
- *contenuto totale di ferro e alluminio*

Per l'elemento oggetto di indagine, saranno determinati i parametri specifici riportati nella Tabella 5

In ogni caso le metodiche sottoriportate saranno oggetto di specifica condivisione e definizione prima dell'inizio attività con Arpa ST di Palermo.

Il coinvolgimento, nelle attività oggetto del presente Piano, dei laboratori che hanno operato in fase di caratterizzazione ante operam, è correlata alla circostanza che si dispone di una nutrita mole di dati analitici provenienti dalle attività di caratterizzazione ante operam e che verranno prese in considerazione nell'elaborazione statistica su cui si baserà la determinazione dei dati di fondo naturale.

Il raffronto tra gli esiti analitici provenienti dai due laboratori e da quello ARPA ST Palermo sui campioni prelevati nell'ambito della attuazione del presente Piano di Accertamento, potrà essere un ulteriore utile elemento di riscontro in merito alla omogeneità degli esiti provenienti dai due laboratori in sede di caratterizzazione ante operam.

Si propone comunque di mantenere nel set delle varie metodiche, quella utilizzata in fase di ante operam per il parametro stagno da entrambi i laboratori e nello specifico quella individuata dal DM 13/09/1999 SO NR. 185 GU NR. 248 21/10/1999 MET. XI.1 + EPA 6010C 2007, al fine di avere una popolazione statistica dei dati confrontabile.

DENSITA'	CNR IRSA 3 Q 64 Vol 2 1984
RESIDUO A 105 °C	CNR IRSA 2 Q 64 Vol 2 1984
TESSITURA	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met II.6
Sabbia	
Limo	
Argilla	
POTENZIALE REDOX	CNR IRSA 1 Q 64 Vol 3 1985 + UNI 10370:2010
pH (in H <sub>2</sub> O)	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met III.1
CALCARE TOTALE	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met V.1
CARBONIO ORGANICO	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met VII.1
CAPACITA' DI SCAMBIO CATIONICO	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met XIII.2 + DM 25/03/2002 GU n° 84 10/04/2002
FERRO	UNI EN 13656:2004 + EPA 6010C 2007
ALLUMINIO	UNI EN 13656:2004 + EPA 6010C 2007
SCHELETRO (2 mm - 2 cm)	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met II.1
RESIDUO A 105 °C	CNR IRSA 2 Q 64 Vol 2 1984
RESIDUO A 105°C DELLA FRAZIONE FINE SECCA ALL'ARIA	CNR IRSA 2 Q 64 Vol 2 1984
pH (in H <sub>2</sub> O)	DM 13/09/1999 SO n° 185 GU n° 248 21/10/1999 Met III.1
STAGNO forma totale	UNI EN 13656:2004 + EPA 6010C 2007 o EPA 6020A 2007
STAGNO forma pseudo totale	DM 13/09/1999 SO n°185 GU n° 248 21/10/1999 Met XI.1 + EPA 6010C 2007 o EPA 6020A 2007
STAGNO disponibile per le piante	DM 13/09/1999 SO n°185 GU n° 248 21/10/1999 Met XII.(1,2) + EPA 6010C 2007 o EPA 6020A 2007
STAGNO solubilità in acqua	UNI EN 12457-2:2004 + EPA 6020A 2007

Nel dettaglio le metodiche analitiche che saranno impiegate sono le seguenti:

**Tabella 5 - Determinazioni analitiche**

### 3.5.5 Raccolta e analisi dei dati sito specifici

Per la determinazione delle concentrazioni di fondo, il documento APAT-ISS valuta anche, al para 6.5., l'opportunità di utilizzare i dati acquisiti nel corso dalle attività di caratterizzazione svolte. In questo modo si potranno evitare inutili duplicazioni di informazioni con un conseguente contenimento degli oneri economici.

In relazione allo studio effettuato si ritiene che possono essere utilizzate anche le concentrazioni di campioni prelevati all'interno dell'area nella fase di caratterizzazione ante operam, in quanto esterni alle aree occupate da stabilimenti industriali, e comunque ubicati in zone con assenza di sorgenti di contaminazione quali attività produttive con presenza di stagno nei cicli di lavorazione (galvanotecnica, industria ceramica e del vetro, industria tessile, industria dei catalizzatori).

La necessità di procedere al prelievo di ulteriori campioni di terreno, rispetto a quelli già disponibili, può derivare (protocollo APAT-ISS – par. 6.5) da una o più delle seguenti motivazioni:

- il numero di campioni è insufficiente per una corretta analisi statistica;
- i campioni sono stati localizzati in aree prossime a sorgenti di contaminazione ben individuabili;
- non è nota la geologia e la geomorfologia dell'area di prelievo;
- le modalità di campionamento non sono uniformi;
- le metodiche analitiche utilizzate non permettono il confronto dei diversi set di dati;
- la qualità dei dati non è accertata;
- è necessario integrare i dati analitici con ulteriori parametri (es. caratteristiche chimico/fisiche)

Nel caso specifico si procederà ad ulteriori prelievi al fine di ottenere dati anche dalle zone esterne al sito in esame, oltre che integrare i dati analitici con ulteriori parametri di correlazione.

I dati di concentrazione dei parametri di interesse saranno raggruppati per strati omogenei (*top-soil*, suolo superficiale, suolo profondo) distinguendo tra i vari litotipi presenti in modo da poter elaborare, se del caso, in base anche alle risultanze degli esiti analitici e alla loro distribuzione, delle valutazioni statistiche relativamente a ciascuno strato omogeneo, così come distinto in § 3.5.2.

### 3.6 Analisi statistica dei dati

I valori di concentrazione dello stagno nel suolo dell'area in esame originati dalla campagna ivi prevista, saranno considerati come una popolazione statistica di dati.

L'obiettivo dell'elaborazione dei dati è quello di rappresentare e caratterizzare la suddetta popolazione al fine di poter pervenire alla determinazione di un valore numerico da assumere come valore di riferimento per la concentrazione di fondo naturale dell'elemento Stagno nella porzione di territorio oggetto dell'indagine.

Si procederà in tal senso ad una valutazione che consisterà nel confronto ragionato tra i dati rilevati nel sito di intervento (inteso come intera area di esame, zone di scavo e siti di destinazione) durante la caratterizzazione ante operam, e quelli rilevati, con la campagna di accertamento, nelle aree esterne al sito ed individuate sulla base dei criteri precedentemente indicati.

In generale gli strumenti di valutazione si baseranno sui criteri riportati ai paragrafi 7.2 e 7.3 del protocollo APAT-ISS e al paragrafo 4.5 delle citate Linee Guida elaborate da ARPA Liguria. La definizione degli strumenti che effettivamente saranno applicati, dipenderà in larga misura dalle caratteristiche della popolazione di dati raccolta.

### 3.6.1 Analisi preliminare del set di dati

La valutazione dei dati, finalizzata a stabilire l'applicabilità di criteri statistici sui valori di concentrazione analiticamente determinati, prevedrà i seguenti passaggi, come previsto dal protocollo APAT-ISS:

- *identificare gli outliers e distinguere i "veri outliers" dai "falsi outliers". I "veri outliers" possono derivare da errori di trascrizione, di codifica dei dati o da una qualsiasi inefficienza degli strumenti del sistema di rilevazione dei dati. I "falsi outliers" sono valori estremi reali; è dunque necessario identificare e differenziare i tipi di outliers, in modo da rimuovere i primi e gestire i secondi;*
- *identificare i non-detected. Si ritiene opportuno porre, in ogni caso e quindi in corrispondenza a qualsiasi distribuzione dell'insieme dei dati, i non-detected pari a metà del corrispondente detection limit (n.d. = ½ d.l.).*

### 3.6.2 Definizione della distribuzione dei dati e rappresentazione degli stessi.

Come evidenziato nel Protocollo APAT-ISS, lo scopo di tale attività sarà quello di individuare la distribuzione di probabilità che approssimi meglio l'insieme dei dati disponibili.

Nel caso dei dati ambientali le distribuzioni di probabilità che più comunemente le rappresentano sono:

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

L'individuazione del tipo di distribuzione che meglio approssima il campione di dati servirà a definire i descrittori statistici più appropriati per stimare il valore del fondo naturale.

Dal tipo di distribuzione dipendono inoltre i test statistici da applicare per il confronto tra due set di dati (nel caso in esame set di dati della caratterizzazione ante operam e set di dati della campagna di accertamento).

Le caratteristiche delle distribuzioni suddette e i test da applicare per la selezione delle stesse sono descritti nel dettaglio in allegato al presente piano di accertamento.

Il tipo di distribuzione del set di dati può essere rappresentato con descrittori numerici o con metodi grafici, differenti in funzione del tipo di distribuzione. I principali descrittori numerici di una distribuzione di dati, riportati dal protocollo APAT-ISS, sono riportati nella Tabella 6.

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

**Tabella 6 - Principali descrittori statistici**

Le modalità di rappresentazione grafica del set di dati, di uso più comune, sono:

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

Ciascuna di queste può fornire indicazioni sui principali parametri caratteristici di una distribuzione di valori; in particolare, le curve cumulative di frequenza possono essere di supporto per la determinazione dei valori di fondo, come descritto in maggiore dettaglio nell'allegato al presente piano di accertamento.

Lo studio finale, a valle della raccolta di tutti i dati, dovrà presentare il numero massimo di descrittori, numerici e grafici, in modo da fornire un quadro completo della distribuzione dei dati che possa essere di supporto nella selezione del valore da utilizzare nel processo decisionale.

### 3.7 Determinazione dei valori di fondo naturale

Per la definizione dei descrittori da utilizzare per la rappresentazione del valore di fondo naturale, sono state prese in rassegna le metodologie proposte a livello nazionale e internazionale, riportati nel Protocollo APAT\_ISS di cui si riporta una sintesi nel seguito.

- ISO 19258, 2005. La norma non indica un unico descrittore per determinare il valore di fondo, anche se raccomanda l'utilizzo dei percentili per rappresentare la distribuzione delle concentrazioni (10°, 25°, 50°, 75° e 90° percentile).
- FOREGS-Geochemical Atlas of Europe, 1998. Anche in questo documento non viene riportato un unico valore rappresentativo del fondo geochimico. Le conclusioni dello studio riportano, per ciascun parametro analizzato, i valori Minimo, Massimo, Mediana, Media, Deviazione Standard, 90 Percentile.
- USEPA, 2002. Il documento non fornisce criteri per la determinazione di valori di fondo di un'area ma rappresenta una guida per effettuare il confronto tra i valori di background e quelli dei siti prioritari nazionali, in funzione di obiettivi specifici. Con background si intende un'area che non ha subito impatti (rilasci) da un sito contaminato.
- Provincia di Milano, 2003. La determinazione dei valori di fondo segue due linee, in funzione della dimensione del sito. Per siti di estensione inferiore a 1.000 m<sup>2</sup>, i campioni che presentano concentrazioni superiori alla somma del valore medio + la deviazione standard, siano anch'essi prelevati in aree teoricamente rappresentative del fondo, sono considerati anomali. Per i siti medio-grandi (di estensione maggiore di 1.000 m<sup>2</sup>), sono proposti dei test statistici (parametrici e non parametrici) per confrontare la distribuzione dei dati del sito con la distribuzione dei dati del fondo naturale. Lo studio si completa con l'analisi della curva di distribuzione cumulativa di frequenza per determinare il valore di fondo naturale che si assume posto in corrispondenza di punti di discontinuità (gap, variazione di pendenza).

Come sottolinea lo stesso Protocollo APAT-ISS, si evince dalla sintesi sopra riportata che 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.

Con lo scopo di fornire una procedura basata su presupposti scientifici sufficientemente rigorosi, il documento APAT-ISS suggerisce il seguente approccio:

- verifica dell'adeguatezza del numero di dati utili disponibili (minimo 30);
- applicazione di un test statistico per la verifica del tipo di distribuzione (in funzione del numero di dati e del tipo di distribuzione ottenuta - cfr. Appendice 2, § 8);
- calcolo e presentazione dei descrittori statistici;
- costruzione della curva cumulativa di frequenza e individuazione di eventuali punti di discontinuità;
- selezione del valore di fondo corrispondente al 95° percentile .

Il processo decisionale sarà completato utilizzando il metodo comparativo citato al para 3.6.

Tale metodo prevede il confronto tra la distribuzione dei dati rappresentativi del fondo originati dalla campagna di accertamento con quella dei dati del sito originati precedentemente in fase di caratterizzazione ante operam, con



Piano di Accertamento per i valori di fondo naturale dell'elemento Stagno presso gli ambiti delle opere progettuali per il "Raddoppio del tratto Cefalù Ogliastrillo (i) – Castelbuono (i), della linea Palermo – Messina, di lunghezza di km 12,3 circa, interamente in variante su doppio binario, compresa la costruzione delle gallerie Cefalù, S. Ambrogio e Malpertugio"

lo scopo di verificare se le due popolazioni da cui sono originati i campioni siano statisticamente uguali o una mostri dei descrittori significativamente più alti dell'altra.

Il criterio comparativo può basarsi su metodi statistici più o meno complessi e raffinati di cui, in allegato, si riporta una descrizione dettagliata.

L'applicazione di test statistici si concretizza con l'accettazione o il rifiuto di ipotesi statistiche circa l'uguaglianza o meno dei set di campioni in esame. Con questi test si ha anche il controllo sulla probabilità di commettere errori decisionali. Il metodo comparativo, nelle diverse forme, richiede un certo grado di conoscenza del sito e di un consistente set di dati rappresentativi del fondo ovvero dell'area di riferimento (non interessata da contaminazione).

Le "Linee guida per lo studio dei valori di fondo naturale di alcuni metalli e semimetalli nei suoli della Liguria – Arpal luglio 2013", utilizzano il criterio di individuazione di un *range* inteso come intervallo tra i valori minimo e massimo delle concentrazioni dell'elemento oggetto di studio, eventualmente ampliato con un intervallo di tolleranza ad assegnato grado di confidenza, calcolato con opportuni metodi statistici.

## 4 MODALITÀ OPERATIVE DI CAMPIONAMENTO

Nel seguito si procede alla esposizione delle modalità operative da adottare per il prelievo dei campioni di terreni da sottoporre ad accertamento dei valori di fondo per lo Stagno nella futura campagna di accertamento.

### 4.1 Ubicazione dei punti di prelievo

L'ubicazione dei punti di prelievo dei campioni supplementari sarà esterna al sito di futura produzione delle terre da scavo e dei siti di destinazione, anche se in taluni casi (siti di destinazione) si è prevista l'ubicazione in zone molto prossime ad essi, soprattutto se sovrastanti (zone di apporto di materiali detritici nei confronti dell'area di cava).

Tenuto conto che le zone di campionamento sono determinate in base alla individuazione di aree aventi in affioramento le seguenti formazioni geolitologiche:

- 1) **livelli alterati e/o detritici della litofacies pelitico-arenaceo del Flysch Numidico;**
- 2) **terrazzi marini;**
- 3) **detriti di versante misto carbonatico e argillitico;**

nel seguito si procede alla individuazione di zone presso cui ubicare tali punti, mentre in Appendice 1 si riportano le schede di ogni zona con indicazione delle aree di campionamento.

La precisa ubicazione dei punti di prelievo sarà fatta in campo in condivisione con ARPA e sulla base delle condizioni morfologiche e di accessibilità ai luoghi (anche dal punto di vista di ottenimento dei permessi, dato che sono in gran parte aree private). Ovviamente i punti devono essere distribuiti nell'area campionata in maniera più diffusa possibile, evitando eccessive vicinanze tra di essi.

I numeri di stazioni di campionamento riportati nei seguenti paragrafi sono tali da ricoprire i criteri del numero di campioni di cui al § 3.5.3.

#### 4.1.1 Livelli detritica della litofacies pelitico-arenacea del Flysch Numidico

Per tale formazione è preferibile effettuare il prelievo dei campioni in aree di affioramento presso le zone Carbone, Malpertugio, FS Castelbuono, Cava Roccalupa.

In particolare:

- presso la zona Carbone si procederà all'ubicazione di n. 2 stazioni di prelievo dei campioni di terreno (Area di Campionamento 1);
- presso la zona Malpertugio si procederà all'ubicazione di n. 3 stazioni di prelievo dei campioni di terreno (Area di Campionamento 2);
- presso la zona FS Castelbuono si procederà all'ubicazione di n. 2 stazioni di prelievo dei campioni di terreno (Area di Campionamento 3);

- presso la zona Cava Roccalupa si procederà all'ubicazione di n. 3 stazioni di prelievo dei campioni di terreno (Aree di Campionamento 4 e 5);

#### 4.1.2 Terrazzi marini

Per la formazione dei Terrazzi marini è preferibile effettuare il prelievo dei campioni nell'area di affioramento presso la zona Ogliastrillo.

In particolare:

- presso la zona Ogliastrillo si procederà all'ubicazione di n. 10 stazioni di prelievo dei campioni di terreno (Area di Campionamento 6);

#### 4.1.3 Detriti di versante

Per la tale formazione, costituita dalla coltre di detriti derivanti dall'erosione eluvio-colluviale dei rilievi sovrastanti l'area della cava Cerda, lungo il versante orientale di Monte San Calogero, costituiti da calcari, dolomie, argilliti e marne, è preferibile effettuare il prelievo dei campioni nelle zone poste a monte e a lato della cava.

In particolare:

- a monte della cava (direzione SO), presso la località Portella del Lupo si procederà all'ubicazione di n. 5 stazioni di prelievo dei campioni di terreno (Area di Campionamento 7);
- a Sud della cava, a circa 300 m dall'ingresso di questa, si procederà all'ubicazione di n. 5 stazioni di prelievo dei campioni di terreno (Area di Campionamento 8);

## 4.2 Criteri di campionamento

All'interno di ognuna delle nove aree di campionamento individuate si procederà all'effettuazione di scavi, profondi 3 m, al fine di procedere ai prelievi di campioni di terreno con le modalità riportate nel § 3.5.2. In particolare per ogni stazione di campionamento, rappresentata da una ben precisa litologia, si applicheranno i criteri APAT-ISS, che prevedono il prelievo di n. 3 campioni così distribuiti:

- a) il top soil,
- b) un campione rappresentativo dello strato superficiale 0-1 m,
- c) uno rappresentativo del terreno profondo (compreso tra il primo m e il fondo scavo).

Nel seguito si riportano le tabelle riepilogative dei campionamenti da effettuare nelle varie aree di campionamento.

Area di Campionamento	Zona	Stazioni di prelievo	Prof. scavi	CAMPIONI	Prof. [m da p.c.]	N. campioni da prelevare	Campioni totali
1	Carbone	2	3 m	TOP SOIL-x	0,0÷0,1 m	1 x 2	6
				Cx-1	0,1÷1,0 m	1 x 2	
				Cx-3	1,0÷3,0 m	1 x 2	
2	Malpertugio	3	3 m	TOP SOIL-x	0,0÷0,1 m	1 x 3	9
				Cx-1	0,1÷1,0 m	1 x 3	
				Cx-3	1,0÷3,0 m	1 x 3	
3	FS Castelbuono	2	3 m	TOP SOIL-x	0,0÷0,1 m	1 x 2	6
				Cx-1	0,1÷1,0 m	1 x 2	
				Cx-3	1,0÷3,0 m	1 x 2	
4	Cava Roccalupa	2	3 m	TOP SOIL-4	0,0÷0,1 m	1 x 2	6
				C4-1	0,1÷1,0 m	1 x 2	
				C4-3	1,0÷3,0 m	1 x 2	
5	Cava Roccalupa	1	3 m	TOP SOIL-4	0,0÷0,1 m	1 x 1	3
				C4-1	0,1÷1,0 m	1 x 1	
				C4-3	1,0÷3,0 m	1 x 1	
TOTALE CAMPIONI							30

Tabella 7 – Sintesi delle modalità di prelievo dei campioni nella formazione del Flysch Numidico pelitico-arenaceo.

Area di Campionamento	Zona	Stazioni di prelievo	Prof. scavi	CAMPIONI	Prof. [m da p.c.]	N. campioni da prelevare	Campioni totali
6	Ogliastrillo	10	3 m	TOP SOIL-x	0,0÷0,1 m	1 x 8	30
				Cx-1	0,1÷1,0 m	1 x 8	
				Cx-3	1,0÷3,0 m	1 x 8	
TOTALE CAMPIONI							30

Tabella 8 – Sintesi delle modalità di prelievo dei campioni nella formazione dei Terrazzi marini.

Area di Campionamento	Zona	Stazioni di prelievo	Prof. scavi	CAMPIONI	Prof. [m da p.c.]	N. campioni da prelevare	Campioni totali
7	Cava Cerda	5	3 m	TOP SOIL-x	0,0÷0,1 m	1 x 5	15
				Cx-1	0,1÷1,0 m	1 x 5	
				Cx-3	1,0÷3,0 m	1 x 5	
8	Cava Cerda	5	3 m	TOP SOIL-x	0,0÷0,1 m	1 x 5	15
				Cx-1	0,1÷1,0 m	1 x 5	
				Cx-3	1,0÷3,0 m	1 x 5	
TOTALE CAMPIONI							30

Tabella 9 – Sintesi delle modalità di prelievo dei campioni nella formazione dei Terrazzi marini e delle alluvioni.

### 4.3 Modalità operative

Si prevede l'esecuzione di scavi, dimensionati 1 m (larghezza) x 3 m (lunghezza) x 3 m (profondità), tramite escavatore a benna rovescia di dimensioni opportune, al fine di realizzare delle trincee esplorative geognostiche e verificare qualitativamente e quantitativamente lo stato del terreno e le caratteristiche litostratigrafiche.

All'interno di ogni scavo si provvederà al prelievo di n° 3 campioni di terreno, come sopra definito.

Le modalità di prelievo saranno le seguenti:

- ancor prima dell'esecuzione dello scavo, si procederà a prelevare n. 5 campioni elementari dalla zona superficiale del suolo (ca. 10 cm di spessore) in un'area di almeno 1 mq; tali campioni saranno tutti depositi su un telo nuovo in PE per procedere alla loro omogeneizzazione e quartatura; ogni singolo campione composito, derivante da tale operazione effettuata sui campioni elementari, si denominerà "TOP-SOIL/X", dove per X si intende il numero dello scavo;
- successivamente, dopo aver raggiunto tramite l'escavatore, la profondità di 1 m, si procederà al prelievo di n. 10 campioni elementari dal cumulo di terreno creato con i terreni escavati nel primo metro; tali campioni saranno depositi su un telo pulito in PE per procedere alla loro omogeneizzazione e quartatura; ogni singolo campione composito, derivante dalla omogeneizzazione e quartatura dei campioni elementari, si denominerà "CX/1", dove per X si intende il numero dello scavo e per 1 si intende la profondità massima di prelievo;
- al raggiungimento della profondità di 3 m, si procederà al prelievo di n. 10 campioni elementari dal cumulo di terreno creato con i terreni escavati tra 1 e 3 m; tali campioni saranno depositi su un telo pulito in PE per procedere alla loro omogeneizzazione e quartatura; ogni singolo campione composito, derivante dalla omogeneizzazione e quartatura dei campioni elementari, si denominerà "CX/3", dove per X si intende il numero dello scavo e per 3 si intende la profondità massima di prelievo.

Per ogni scavo si procederà alla descrizione stratigrafica ed alla redazione di una dettagliata documentazione fotografica.

Nel caso in cui si riscontri la presenza di materiali di riporto ci si dovrà spostare in un altro punto di scavo.

I terreni rimossi saranno riposti all'interno dello scavo eseguito con lo stesso ordine di estrazione. A fine operazione si porrà sullo scavo un paletto segnaletico con sigla dello stesso.

#### 4.4 Determinazioni analitiche

I campioni di terreno da portare in laboratorio saranno privi della frazione maggiore di 2 cm (da scartare in campo) e le determinazioni analitiche in laboratorio dovranno essere condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm. La concentrazione del campione dovrà essere determinata riferendosi alla totalità dei materiali secchi, comprensiva anche dello scheletro campionato (frazione compresa tra 2 cm e 2 mm).

Il set di parametri analitici da ricercare è stato definito in base allo scopo dello studio e sulla base dei criteri definiti in § 3.5.4. I parametri sono, pertanto, i seguenti:

PROVA ANALITICA	PROCEDURA ANALITICA
TESSITURA	
PESO SPECIFICO	
pH,	
POTENZIALE REDOX	
CARBONIO ORGANICO	
CAPACITÀ SCAMBIO CATIONICO	
CONTENUTO DI CARBONATO	



Piano di Accertamento per i valori di fondo naturale dell'elemento Stagno presso gli ambiti delle opere progettuali per il "Raddoppio del tratto Cefalù Ogliastrillo (i) – Castelbuono (i), della linea Palermo – Messina, di lunghezza di km 12,3 circa, interamente in variante su doppio binario, compresa la costruzione delle gallerie Cefalù, S. Ambrogio e Malpertugio"

CONTENUTO TOTALE DI FERRO	<i>vedasi tab .5</i>
CONTENUTO TOTALE ALLUMINIO	<i>vedasi tab .5</i>
CONTENUTO TOTALE DI STAGNO	<i>vedasi tab .5</i>
CONTENUTO PSEUDOTOTALE DI STAGNO	<i>vedasi tab .5</i>
STAGNO DISPONIBILE PER LE PIANTE	<i>vedasi tab .5</i>
Solubilità in acqua dello stagno	<i>vedasi tab .5</i>

Le analisi chimico-fisiche saranno condotte adottando le metodiche sopra indicate e tali da garantire l'ottenimento di valori 10 volte inferiori rispetto ai valori di concentrazione limite.

L'attuazione del piano di accertamento seguirà l'iter individuato dall'art. 5 comma 4 del D.M. 161/12 con presentazione dello stesso all'Autorità competente ed esecuzione dello stesso in contraddittorio con l'Arpa S.T. di Palermo.

Il presente piano di accertamento potrà essere aggiornato, revisionato a seguito evidenze o rilevanze durante l'esecuzione della fase di campo e contraddittorio con l'ente preposto.



Piano di Accertamento per i valori di fondo naturale dell'elemento Stagno presso gli ambiti delle opere progettuali per il "Raddoppio del tratto Cefalù Ogliastrillo (i) – Castelbuono (i), della linea Palermo – Messina, di lunghezza di km 12,3 circa, interamente in variante su doppio binario, compresa la costruzione delle gallerie Cefalù, S. Ambrogio e Malpertugio"

## **APPENDICE**

### **SCHEDE DELLE AREE DI CAMPIONAMENTO**

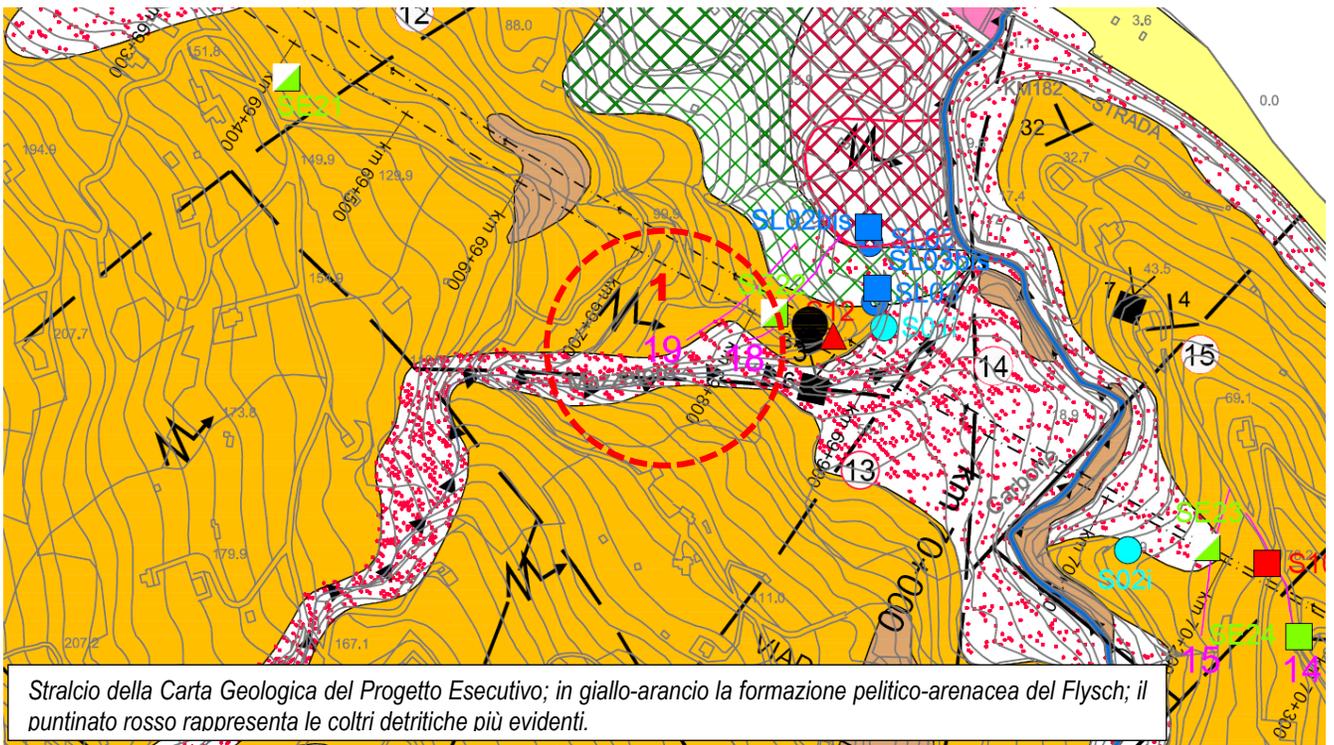
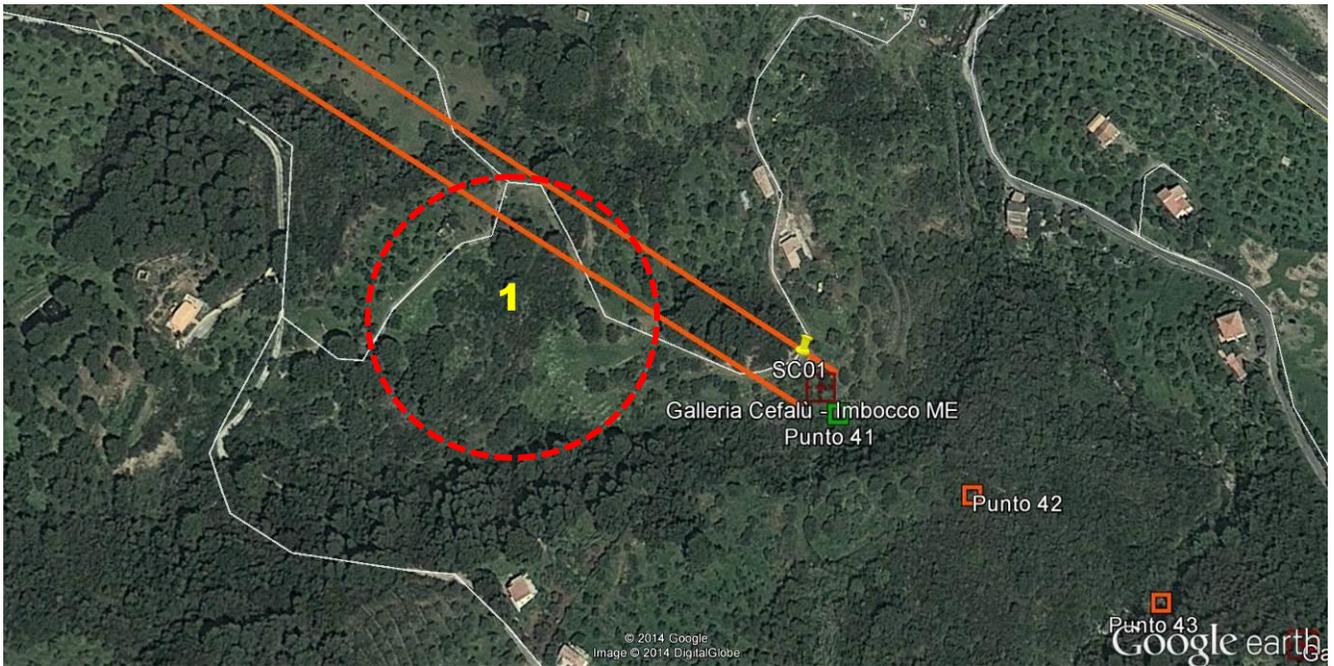
## ZONA CARBONE

### AREA DI CAMPIONAMENTO 1

Litologia: detrito del flysch numidico pelitico-arenaceo

N. Stazioni di prelievo: 2

N. campioni da prelevare: 6





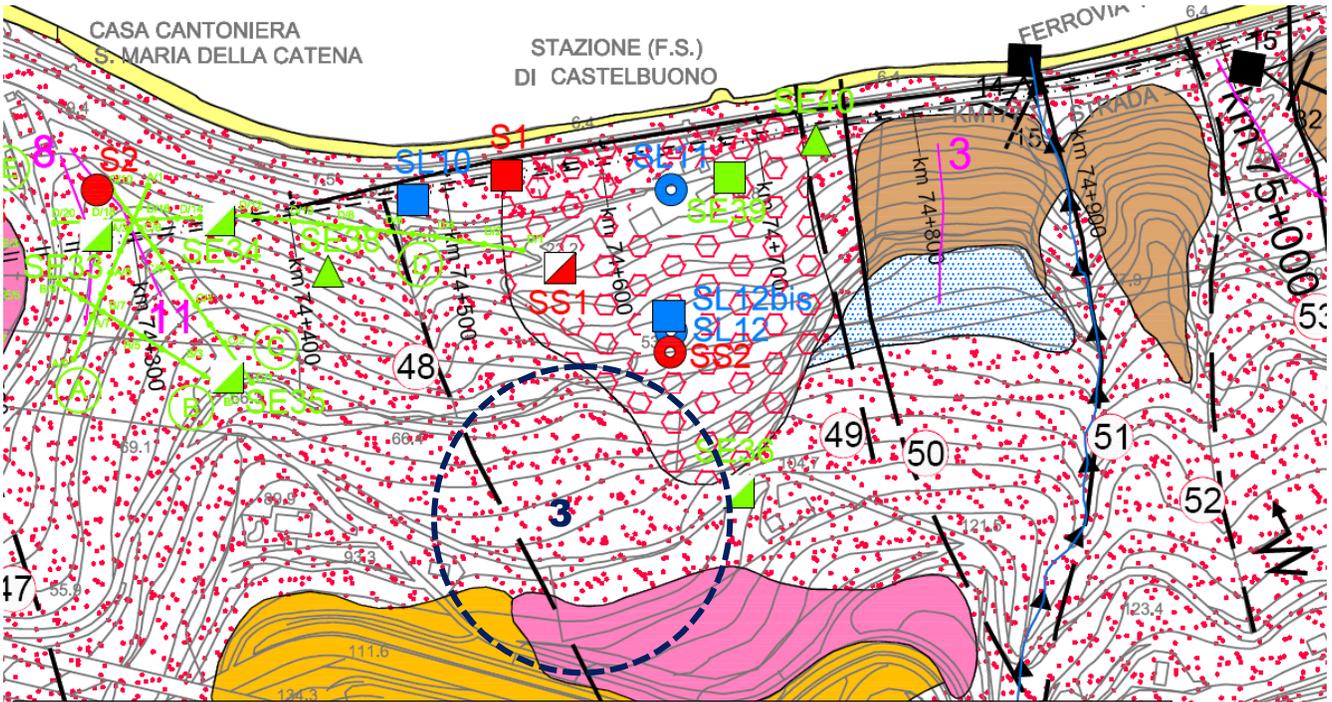
**ZONA FS CASTELBUONO**

**AREA DI CAMPIONAMENTO 3**

Litologia: detrito del flysch numidico pelitico-arenaceo

N. Stazioni di prelievo: 2

N. campioni da prelevare: 6



Stralcio della Carta Geologica del Progetto Esecutivo; in giallo-arancio la formazione pelitico-arenacea del Flysch; il puntinato rosso rappresenta le coltri detritiche più evidenti.

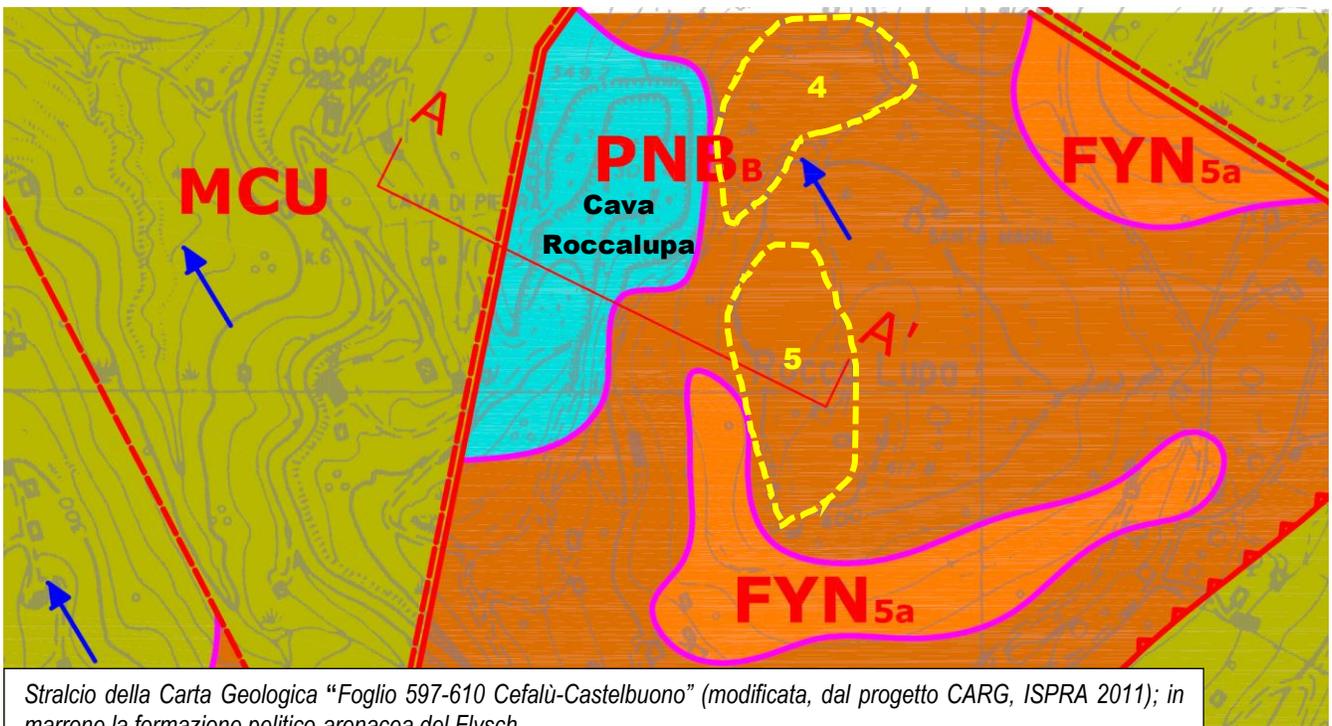
## ZONA CAVA ROCCALUPA

### AREE DI CAMPIONAMENTO 4 E 5

Litologia: detrito del flysch numidico pelitico-arenaceo

N. Stazioni di prelievo: 2+1

N. campioni da prelevare: 6



Stralcio della Carta Geologica "Foglio 597-610 Cefalù-Castelbuono" (modificata, dal progetto CARG, ISPRA 2011); in marrone la formazione pelitico-arenacea del Flysch.



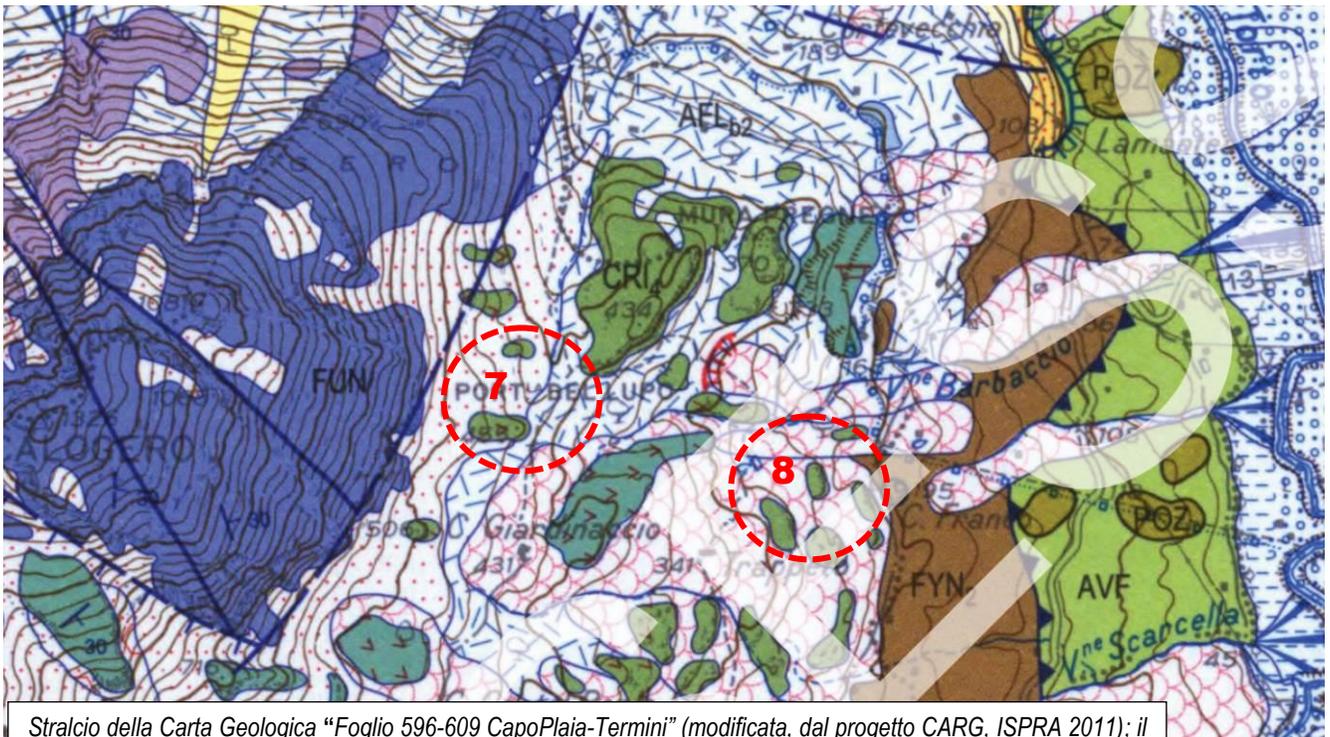
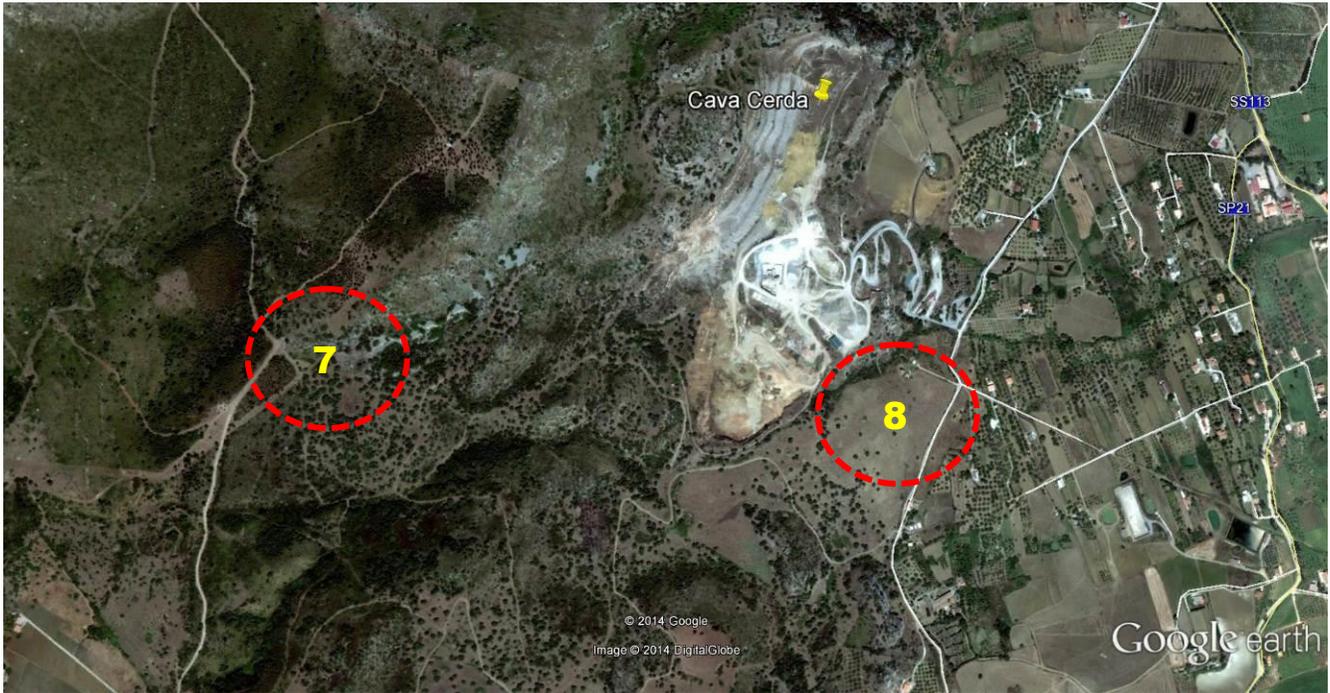
## ZONA CAVA CERDA

### AREE DI CAMPIONAMENTO 7 E 8

Litologia: detrito eluvio-colluviale calcareo-argillitico

N. Stazioni di prelievo: 5+5

N. campioni da prelevare: 30



Stralcio della Carta Geologica "Foglio 596-609 CapoPlaià-Termini" (modificata, dal progetto CARG, ISPRA 2011); il retinato azzurro rappresenta il detrito eluvio-colluviale, mentre il rosso il detrito di frana



Piano di Accertamento per i valori di fondo naturale dell'elemento Stagno presso gli ambiti delle opere progettuali per il "Raddoppio del tratto Cefalù Ogliastrillo (i) – Castelbuono (i), della linea Palermo – Messina, di lunghezza di km 12,3 circa, interamente in variante su doppio binario, compresa la costruzione delle gallerie Cefalù, S. Ambrogio e Malpertugio"

## ALLEGATO

CRITERI DI ANALISI STATISTICA – APPENDICE AL PROTOCOLLO OPERATIVO APAT-ISS PER LA DETERMINAZIONE DEI VALORI DI FONDO DI METALLI/METALLOIDI NEI SUOLI DEI SITI D'INTERESSE NAZIONALE

## **APPENDICE 1**

### **ANALISI STATISTICA**

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TEST STATISTICI.....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>NUMEROSITÀ CAMPIONARIA.....</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>GLI “OUTLIER” .....</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>I “NON-DETECT”.....</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>DISTRIBUZIONE DEI DATI.....</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>DESCRITTORI STATISTICI .....</b>	<b>9</b>
<b>8</b>	<b>DEFINIZIONE DEL TIPO DI DISTRIBUZIONE .....</b>	<b>13</b>
<b>9</b>	<b>CONFRONTO FRA I VALORI DI FONDO E I VALORI SITO SPECIFICI .....</b>	<b>15</b>

### Indice delle Tabelle

Tabella 1: Confidenza e Potenza del Test .....	2
Tabella 2: Criteri di selezione del test per la identificazione degli outlier.....	4
Tabella 3: Test per la selezione del tipo di distribuzione.....	15
Tabella 4: Tipologia dei Test Statistici .....	15
Tabella 5: Applicabilità dei Test Statistici .....	16
Tabella 6 Esempio di calcolo del Rango.....	20
Tabella 7 Valori critici per la distribuzione t di Student.....	21
Tabella 8 Valori critici per il Wilcoxon Rank Sum Test.....	22

### Indice delle Figure

Figura 1 Esempio di distribuzione normale .....	8
Figura 2 Esempio di distribuzione lognormale. ....	9
Figura 3: Parametri statistici rappresentati nel box plot.....	12
Figura 4 Curva cumulativa di frequenza.....	13

## 1 INTRODUZIONE

La presente Appendice contiene indicazioni e riferimenti bibliografici per l'applicazione dei criteri finalizzati alla determinazione dei valori di fondo di metalli e metalloidi nei terreni dei siti d'interesse nazionale.

Nel seguito sono descritti i principali elementi che è necessario prendere in considerazione per stabilire l'applicabilità di criteri statistici atti ad individuare la distribuzione dei valori di fondo dall'insieme di dati a disposizione.

Si presuppone che i dati analitici a disposizione siano stati già validati, ossia sia stata verificata la loro attendibilità.

Nella redazione della presente appendice si è fatto riferimento ai contenuti dell'APPENDICE H al documento ““Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati” rev0, disponibile sul sito dell'APAT, [www.apat.it](http://www.apat.it) (APAT, giugno 2005).

## 2 TEST STATISTICI

Il test statistico può essere visto come un mezzo per verificare in maniera quantitativa la validità di un'ipotesi. In statistica, l'ipotesi da verificare si chiama ipotesi nulla e si indica con  $H_0$ , mentre con  $H_a$  si indica l'ipotesi alternativa.

Come esempio, nel caso in cui fosse necessario verificare se un set di dati ha una distribuzione normale, è possibile prevedere le seguenti ipotesi:

- $H_0$ : il set di dati presenta una distribuzione normale
- $H_a$ : il set di dati non presenta una distribuzione normale

Se, applicando il test, risultasse scartata l'ipotesi  $H_0$  in favore di  $H_a$ , si potrebbe concludere che il set di dati, non supportando l'ipotesi nulla, deve derivare da un tipo di distribuzione non normale.

Occorre però tener presente che l'applicazione di un test statistico comporta sempre un rischio di errore. Nella pratica statistica si individuano due tipi di errori

- errore di primo tipo; è quello che porta a rifiutare  $H_0$  quando è vera;
- errore di secondo tipo; è quello che porta ad accettare  $H_0$  quando è falsa.

Con la lettera  $\alpha$  si indica la probabilità di commettere un errore di primo tipo. Con  $100(1-\alpha)\%$  si indica il livello di confidenza del test. Se il test non scarta  $H_0$ , ovvero conferma l'ipotesi nulla, può significare che le informazioni del set di dati non sono sufficienti per scartare  $H_0$  con quel livello di confidenza. Ad esempio, fissato  $\alpha = 0,05(5\%)$ , con i dati campionari si esegue il test e si valuta se il suo valore cade nella regione di rifiuto e nella regione di accettazione. Se, ad esempio, cade nella regione di rifiuto si dice che il test è significativo al 5%.

Con la lettera  $\beta$  si indica la probabilità di commettere un errore del secondo tipo. Con  $100(1-\beta)\%$  si indica la potenza del test, cioè la probabilità di scartare correttamente l'ipotesi nulla.

DECISIONE BASATA SU UN CAMPIONE DI DATI	CONDIZIONE DEL SITO ATTUALE	
	$H_0$ è vero	$H_0$ non è vero
$H_0$ non è rigettata	Decisione corretta: $(1-\alpha)$	Errore di tipo II: Falso negativo ( $\beta$ )
$H_0$ è rigettata	Errore di tipo I: Falso positivo ( $\alpha$ )	Decisione corretta: $(1-\beta)$

Tabella 1: Confidenza e Potenza del Test

Nell'ambito di indagini ambientali che comportino l'applicazione di test statistici, i limiti di tolleranza della probabilità di commettere errori (del primo o del secondo tipo) dovrebbero essere specificati in fase di progettazione.

Sono stati elaborati differenti metodi statistici finalizzati alla verifica di ipotesi, la scelta del più appropriato è funzione di una serie di fattori tra i quali il tipo di distribuzione dei dati (come definito al capitolo 6), ha un peso determinante. In funzione del tipo di distribuzione dei dati è possibile distinguere i Metodi Parametrici e i Metodi Non-parametrici:

- Parametrici: si tratta di metodi statistici che si basano su distribuzioni probabilistiche quale, ad esempio, la distribuzione normale. I test statistici parametrici sono utilizzati per la valutazione di ipotesi che riguardano i parametri della distribuzione;
- Non-parametrici: metodi la cui applicazione prescinde dalla conoscenza del tipo di distribuzione della popolazione. In generale i test non parametrici dovrebbero essere preferiti quando i dati non si distribuiscono secondo una normale, o comunque non si è in grado di dimostrarlo, ad esempio per numerosità ridotta.

Per riepilogare i concetti sopra riportati, nel seguito sono descritti i passaggi da seguire nella applicazione di test statistici:

- definizione dell'ipotesi nulla e dell'ipotesi alternativa;
- scelta del test da adottare;
- decisione del livello di significatività;
- esecuzione dei calcoli previsti nel test;
- decisione se accettare o meno la validità dell'ipotesi nulla, in genere confrontando il valore ottenuto nel test con un valore tabulato.

### 3 NUMEROSITÀ CAMPIONARIA

Per ogni data-set (suolo superficiale e suolo profondo), il numero di dati a disposizione non può essere inferiore ad un valore minimo. L'ampiezza del data set è di particolare importanza soprattutto nei casi in cui si abbia una grande variabilità della distribuzione dei dati.

Affinché l'analisi statistica sia significativa, ovvero il campione di dati sia rappresentativo della popolazione, si fa generalmente riferimento ad un numero minimo di dati, che i diversi testi consultati, riportano variabile tra 10 e 30.

La scelta del numero di campioni rappresentativi è funzione, in primo luogo, dello scopo dell'indagine: posto l'obiettivo dell'indagine di caratterizzazione, viene formulata una ipotesi da verificare mediante l'applicazione di un determinato test statistico; lo stesso test serve ad effettuare la stima del numero di campioni necessari.

Ad esempio, si vuole verificare (ipotesi nulla) se la media delle concentrazioni di un composto in un'area è superiore ad un valore soglia (ad esempio la concentrazione massima ammissibile CMA).

Una delle possibili equazioni utilizzate per determinare il numero minimo di campioni necessari per la verifica della media di una distribuzione nei confronti di un valore soglia di intervento (US EPA, 2006), mediante l'applicazione del t-test, è:

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

in cui

n è il numero minimo di campioni

$s^2$  è la stima della varianza totale vera ( $\sigma^2$ ); nel caso in cui (molto frequente) non fosse nota la  $\sigma$  della distribuzione, dovrà essere inserita nella formula una stima di detto parametro (ad esempio il valore della deviazione standard derivata da un campione noto della popolazione di riferimento desunto da dati bibliografici o da precedenti studi).

$\alpha$  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 (in poche parole che un sito contaminato venga 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)

$\Delta$  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  $1 - \alpha$ . I valori di  $Z_{1-\alpha}$  sono riportati in numerosi testi di statistica (es. Gilbert 1987, Table A1, pag. 254). Ad esempio se l'ipotesi nulla è quella che le concentrazioni misurate superano le CMA,  $Z_{1-\alpha}$  rappresenta una quantificazione della vostra volontà di evitare di considerare contaminato un sito che in realtà è pulito.

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 ( $1-\beta$ ).

Per gli scopi del presente documento, il numero minimo di campioni necessari per la determinazione della distribuzione di concentrazioni di fondo è posto pari a 30.

#### 4 GLI "OUTLIER"

Gli outlier sono quei valori di un data set che non sono rappresentativi dell'insieme di dati nel suo complesso. Non sono rappresentativi perché, in genere, sono quantitativamente in numero estremamente ridotto e qualitativamente assumono dei valori molto grandi o molto piccoli

rispetto al resto del data set. In campo ambientale di inquinamento dei suoli, valori di concentrazione molto alti in genere corrispondono ai picchi (hot spot) locali di concentrazione.

Comunque, in generale, tali valori estremi possono costituire dei “veri outlier” o dei “falsi outlier”. I primi possono derivare da errori di trascrizione, di codifica dei dati o da una qualsiasi inefficienza degli strumenti del sistema di rilevazione dei dati. I secondi sono quei valori estremi reali, spesso presenti in questo tipo di indagini soprattutto, come già detto, in campo ambientale. La rimozione dei secondi e/o la mancata rimozione dei primi può condurre ad una visione errata del data set (EPA 2000b, QA/G-9). Infatti è di fondamentale importanza tener conto e quindi non rimuovere i “falsi outlier” dal data set (OSWER 9285.6-10, EPA 2002).

Se il data-set a disposizione è stato già validato si esclude automaticamente la presenza di veri outlier.

L'identificazione degli outlier può essere condotta attraverso le seguenti fasi (EPA 2000b, QA/G-9).

1. Identificazione dei valore 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 a ulteriori indagini, applicando uno dei test statistici disponibili.
2. Applicazione di un opportuno test statistico. Esistono molti test statistici atti a verificare se un outlier statistico, cioè un potenziale vero outlier, sia tale o meno. I principali test statistici utili a tale scopo sono quattro:
  - Extreme value test (Dixon's Test)
  - Discordance Test
  - Rosner's test
  - Walsh's test

Questi, descritti dettagliatamente nel seguito, si differenziano per le dimensioni del data set da considerare, il numero di potenziali outlier da analizzare e la necessità o meno di una distribuzione di tipo normale dei dati raccolti.

In particolare la guida raccomanda l'uso del Rosner's test quando il data set contiene un numero di elementi maggiore di 25; in caso contrario suggerisce quello dell'Extreme Value test. Se si ha un solo valore sospetto outlier il Discordance test può essere sostituito a uno di questi test. Se però i dati non seguono una distribuzione normale si deve considerare un test non parametrico, come il Walsh's test (Tabella 2). Per la descrizione di dettaglio dei test si rimanda al documento (EPA 2000b, QA/G-9)

DIMENSIONE DEL DATA SET	TEST	DISTRIBUZIONE NORMALE
$25 \leq n$	Extreme Value Test	si
$50 \leq n$	Discordance Test	si
$25 \geq n$	Rosner's Test	si
$50 \geq n$	Walsh's Test	no

Tabella 2: Criteri di selezione del test per la identificazione degli outlier

3. Studio scientifico degli outlier identificati per la scelta di trattamento del dato. I test statistici (fase 2) da soli non permettono di stabilire se comprendere o escludere il dato dall'insieme considerato. Le scelte possibili sono:
  - Effettuare ulteriori approfondimenti e indagini al fine di correggere il valore di outlier.
  - Utilizzare il data set comprensivo dei valori di outlier.
  - Escludere l'inserimento di tali valori dal data set. Tale scelta può avvenire solo se è possibile accompagnare i risultati dei test statistici (fase 2) con valide giustificazioni scientifiche.
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.

## 5 I "NON-DETECT"

Tutte le tecniche analitiche di laboratorio hanno un "Detection Limit"(DL) (limite di rilevazione): i valori cosiddetti "non-detect" (ND) sono quelle concentrazioni realmente o virtualmente pari a zero, o comunque maggiori di zero, ma al di sotto delle possibilità di misurazione del laboratorio. Il DL dipende dalla sensibilità della metodica di estrazioni ed analisi.

Un data set contenente non-detect viene definito in letteratura "censored" a indicare la sua incompletezza, che può essere più o meno influente a seconda del DL del laboratorio che ha condotto il campionamento: per questo motivo è opportuno che il laboratorio alleghi, alla documentazione dello studio, le informazioni sul "Quantitation Limit" (limite di misura) che dipenderà dalla strumentazione di cui si è servito. Il Quantitation Limit può essere definito come il livello più basso al quale una sostanza chimica può essere misurata con precisione, generalmente pari al DL dello strumento moltiplicato per un fattore compreso fra tre e cinque, ma comunque variabile a seconda della sostanza considerata e del tipo di campione (RAGS Part A, EPA 1989).

La presenza di ND in un insieme di dati può influire pesantemente sul calcolo della media, della varianza, sull'orientamento dei dati e su vari altri parametri, pregiudicando quindi il procedimento statistico nel caso in cui questo risulti applicabile nonostante la loro presenza.

I laboratori di analisi riportano questi valori come "non-detect" (ND), oppure li pongono pari a zero o come dati "less-than"(LT) cioè "minori di" una certa quantità, in genere pari proprio al DL, o ancora capita di trovarli indicati come valori pari ad una frazione del DL (in genere a  $\frac{1}{2}$  DL). E' comunque preferibile, qualora le tecniche di misurazione lo consentano, che siano riportate le loro misure esatte, benché minime, per non perdere informazioni utili all'analisi dei dati.

Nel seguito è riportato quanto proposto dai testi bibliografici presi quali riferimento.

Il documento (OSWER 9285.6-10, EPA 2002) descrive quattro possibili approcci per la trattazione dei non-detect, finalizzati all'applicazione di analisi statistiche dell'insieme dei dati e alla conseguente individuazione di un valore rappresentativo.

1. Riesame del modello concettuale del sito: da questo riesame potrebbe risultare una distribuzione dei valori di concentrazione tali da permettere l'individuazione di aree a maggior grado di contaminazione e aree a minor grado di contaminazione. In tal caso, il sito oggetto di indagine potrebbe essere suddiviso in sotto-aree, alcune delle quali presenteranno una maggiore e altre una minore concentrazione di non-detect. In tale caso potrebbe risultare necessario raccogliere un maggior numero di campioni per permettere una migliore caratterizzazione del sito.
2. Metodo della sostituzione semplice ("Simple Substitution Methods"): questo metodo prevede l'assegnazione di un valore costante ai dati non-detect. Tale valore potrà essere:
  - pari a zero;
  - pari al Detection Limit;
  - pari alla metà del DL.

L'incertezza associata a questo metodo aumenta all'aumentare del valore del DL e all'aumentare del numero di non-detect. Quindi si consiglia di scegliere, senza un preciso criterio, il valore costante da attribuire tra i tre proposti solo nel caso in cui il numero dei non-detect costituisce al massimo il 15% di tutto il data set (EPA 2000b, QA/G-9).

3. Metodo degli estremi ("Bounding Methods"): Tale metodo propone di calcolare il valore di concentrazione rappresentativo alla sorgente attribuendo, di volta in volta, uno dei valori costanti elencati sopra. Questi metodi forniscono una stima del limite superiore e di quello inferiore, calcolati sulla base dell'intero range di valori dei non-detects possibili (da 0 fino al DL).
4. Metodi della distribuzione ("Distributional Methods"): Si basano sull'ipotesi che la forma della distribuzione dei dati non-detects sia simile a quella delle concentrazioni misurate che superano il DL. Tra questi metodi il più utilizzato è il Metodo di Cohen ("Cohen's Method").

Metodo di Cohen ("Cohen's Method") (EPA 2000b, QA/G-9): è applicabile se i non-detect costituiscono il 15-50% del data set disponibile, se la forma della distribuzione dei dati senza i valori non-detect sia di tipo normale e che il DL sia sempre lo stesso. Questo metodo adatta la media e la deviazione standard per valori al di sotto del DL, basandosi sulla tecnica statistica della stima più probabile della media e della varianza, in modo che sarà possibile applicare i vari test statistici al data set. Nella applicazione di questo metodo i non-detect non si assumono mai pari a zero. Le stime derivanti dai campionamenti sono  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  di cui i primi  $m$  valori rappresentano i dati sopra il DL. Quelli sotto il DL saranno dunque  $n-m$ .

La scelta del metodo più appropriato dipende dal grado di incompletezza del data set, dalle sue dimensioni e dalla distribuzione più idonea a rappresentare i campioni. Inoltre, sempre il documento (OSWER 9285.6-10, EPA 2002) fornisce cinque raccomandazioni su come trattare un insieme di dati in cui siano presenti dei non-detects:

- I Detection Limits devono sempre essere specificati e i non-detects riportati con il valore osservato se possibile.
- I non-detects non devono mai essere riportati come valori zero senza specifiche giustificazioni.

- Se un'analisi condotta con un Bounding Method rivela che gli effetti quantitativi della presenza di non-detects nel data set è trascurabile non sono necessari ulteriori esami.
- Se si vuole procedere ad ulteriori analisi è consigliabile usare un metodo per una specifica distribuzione.
- Se la quantità dei non-detects nel data set è alta (>75%) oppure se il numero di campioni è basso ( $n < 5$ ) nessun metodo funzionerà bene. In tal caso si può riportare la percentuale di valori al di sotto del DL, ricorrere ancora ad un Bounding Method nel quale i non-detects saranno sostituiti dal DL nel calcolo del fondo, che sarà riportato come un numero probabile considerevolmente maggiore della media reale.

Il documento (RAGS/HHEM, EPA 1989, Volume 1) prevede la possibilità di rianalizzare i campioni cercando di riportare i dati con il loro valore esatto, di usare concentrazioni approssimate (pari al DL o alla metà) o di eliminare alcuni dei non-detect nel caso in cui si abbiano delle informazioni che facciano pensare all'assenza di queste sostanze dal sito. Quest'ultima possibilità deve essere valutata con particolare attenzione, in quanto il Quantitation Limit potrebbe essere maggiore della concentrazione di riferimento di alcuni contaminanti (con la quale deve essere confrontata la concentrazione rappresentativa alla sorgente) e perciò l'eliminazione di alcuni dati può comportare una lacuna nell'analisi di rischio globale del sito. Se la concentrazione di un certo elemento chimico non è stata rilevata in nessun campionamento nel mezzo indagato questa sostanza generalmente viene esclusa dal data set, in modo da avere alla fine dell'analisi dei campioni raccolti un data set comprendente solo quelle sostanze di cui si possiede un valore di concentrazione in almeno un campione per ogni mezzo (aria, acqua, suolo) dell'area di interesse.

Per l'applicazione delle presenti linee guida, seguendo il principio di cautela, si ritiene opportuno porre, in ogni caso e quindi in corrispondenza a qualsiasi distribuzione dell'insieme dei dati, i non-detect pari a metà del corrispondente detection limit (n.d.=d.l.).

## 6 DISTRIBUZIONE DEI DATI

Quando si ha a che fare con dati ambientali (in particolare, concentrazioni di specie chimiche nei comparti ambientali: suolo, acqua, aria), le distribuzioni di probabilità più comunemente utilizzate per la loro rappresentazione sono:

- distribuzione gaussiana o normale
- distribuzione lognormale
- distribuzione gamma
- distribuzione non parametrica.

Nel seguito sono descritte sinteticamente le caratteristiche delle distribuzioni e i test utili per identificare quale di queste distribuzioni rappresenti al meglio l'insieme di dati in esame.

Distribuzione Gaussiana o normale – La distribuzione Gaussiana, o normale, è una distribuzione di tipo simmetrico la cui tendenza centrale è data dal calcolo della media aritmetica dei valori  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  delle grandezze considerate.

La forma della distribuzione normale è descritta dalla funzione Densità di Probabilità, definita da due parametri: la media aritmetica e la varianza del campione, che è indice della dispersione dei dati rispetto al valor medio.

Funzione 
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(x - \bar{x})^2\right]$$

Media 
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Varianza 
$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

dove n è il numero di valori considerati.

In Figura 1 è riportato un esempio di distribuzione normale.

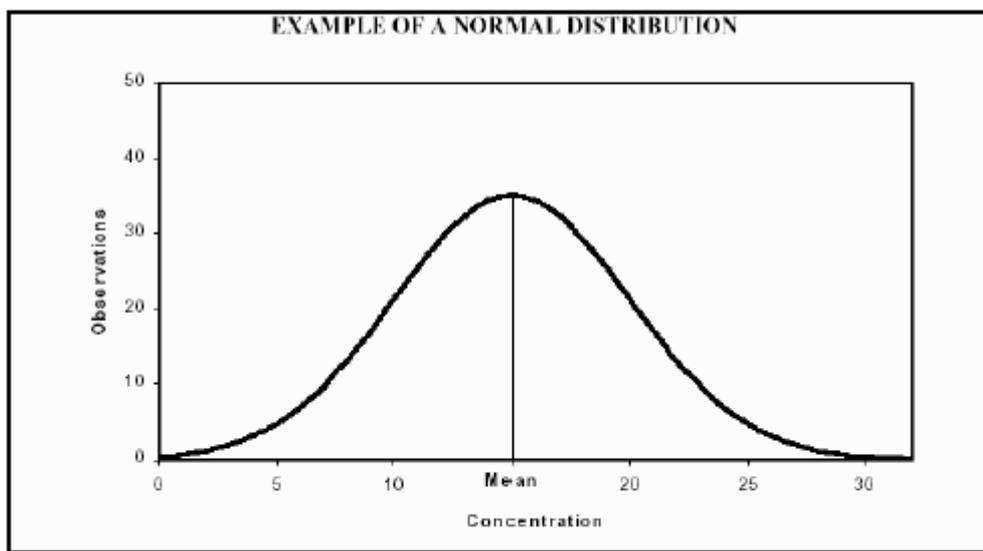


Figura 1 Esempio di distribuzione normale

Distribuzione lognormale – La distribuzione lognormale è un tipo di distribuzione asimmetrica, derivante dal calcolo della media geometrica dei valori. La sua forma è più pendente di quella di una distribuzione normale ed è delimitata a sinistra dallo zero, mentre la parte finale all'altra estremità risulta avere una specie di coda più lunga di quella normale. Quindi, la distribuzione lognormale è caratterizzata da una asimmetria positiva (coda a destra) dovuta al fatto che ad un'elevata frequenza di valori bassi si associa una coda di valori molto meno frequenti ma, allo stesso tempo, molto elevati.

La distribuzione lognormale è generalmente definita da due parametri  $\bar{y}$  e  $\sigma_y^2$  (media e varianza della variabile trasformata  $y = \ln x$ ).

Funzione 
$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_y^2}(\ln x - \bar{y})^2\right] \quad x > 0, \quad -\infty < \bar{y} < \infty,$$

$$\sigma_y > 0$$

Media 
$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i =$$

Varianza 
$$\sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

dove n è il numero di valori considerati. In Figura 2 è riportato un esempio di distribuzione lognormale.

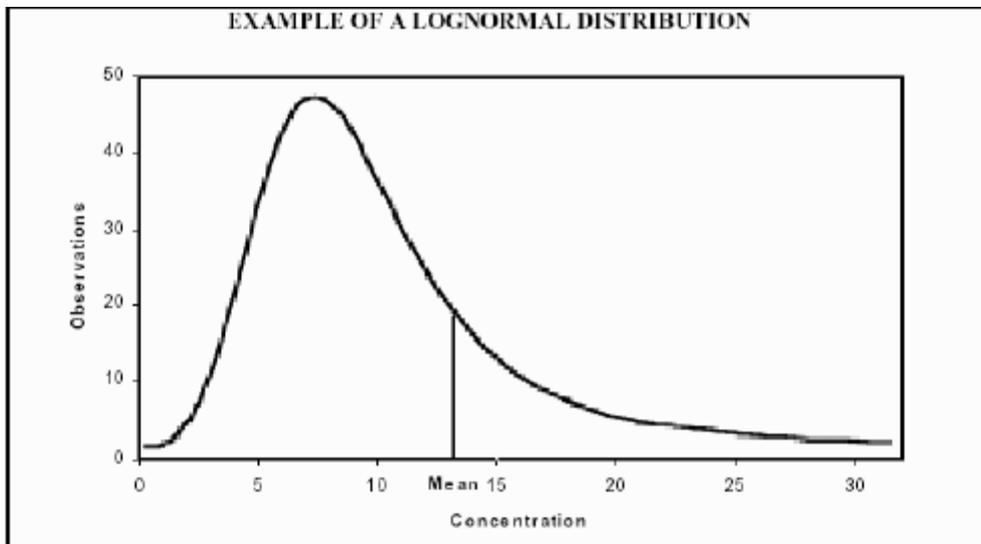


Figura 2 Esempio di distribuzione lognormale.

Distribuzione Gamma - Molti data set che presentano asimmetrie possono essere rappresentati sia mediante una distribuzione lognormale che da una distribuzione di tipo gamma, specialmente nei casi in cui il numero di campioni n è inferiore a 70-100.

La distribuzione gamma è generalmente definita da due parametri: k (parametro di forma) e  $\theta$  (parametro di scala); il loro prodotto è pari alla media aritmetica

Funzione 
$$f(x, k, \theta) = \frac{1}{\theta^k \Gamma(k)} x^{(k-1)} e^{(-\frac{x}{\theta})} \quad x > 0, k > 0, \theta > 0$$

Distribuzione non parametrica – Nel caso in cui non sia possibile dimostrare che i valori di un data set seguano una tra le suddette distribuzioni (ad esempio a causa dello scarso numero di campioni) o qualora risulti, dalla applicazione dei test statistici, che nessuna distribuzione approssimi bene l'insieme dei dati, allora si parla di data set non parametrici.

In tal caso esistono delle procedure specifiche, per l'individuazione del valore rappresentativo dell'insieme dei dati, indipendenti dai parametri statistici e dal tipo di distribuzione dei dati.

## 7 DESCRITTORI STATISTICI

Nel seguito sono descritte altre grandezze statistiche utili per lo studio del tipo di distribuzione dei dati.

Mediana - La mediana di una distribuzione è quel valore al di sopra del quale e al di sotto del quale si trova metà dell'insieme dei dati. La mediana si individua facilmente una volta ordinati in senso crescente gli n valori del data set:

se n è pari la mediana sarà il valore  $x[(n+1)/2]$

se  $n$  è dispari la mediana sarà il valore  $\frac{1}{2}(x_{n/2} + x_{[(n+2)/2]})$

Se la distribuzione è simmetrica, allora la mediana coincide con la media. Se la distribuzione dei dati è lognormale pendente verso destra la mediana sarà minore della media, e viceversa.

Coefficiente di skewness - Il valore di questo coefficiente fornisce una stima della asimmetria della forma di distribuzione dei dati. Si calcola secondo la seguente espressione:

$$asimmetria(skewness) = \frac{1}{\sigma^3} \sum_i \frac{(x_i - \bar{x})^3}{n}$$

Tale coefficiente può risultare:

- maggiore di zero: in tal caso la distribuzione avrà una coda verso destra;
- pari a zero: in tal caso la distribuzione sarà di tipo simmetrico, tipicamente gaussiana;
- minore di zero: in tal caso la distribuzione avrà una coda verso sinistra.

Il coefficiente di skewness non varia per traslazioni e cambiamenti di scala.

Coefficiente di curtosi - Il valore di questo coefficiente fornisce una stima della acutezza della curva di distribuzione dei dati. Si calcola secondo la seguente espressione:

$$curtosis = \frac{1}{\sigma^4} \sum_i \frac{(x_i - \bar{x})^4}{n}$$

Tale coefficiente può risultare:

- maggiore di 3: in tal caso la curva avrà un picco che determinerà una forma aguzza;
- pari a 3: in tal caso la distribuzione sarà di tipo simmetrico, con la forma a campana tipicamente gaussiana;
- minore di 3: in tal caso la forma della curva sarà appiattita.

Il coefficiente di curtosi non varia per traslazioni e cambiamenti di scala.

Coefficiente di variazione - E' un indice di dispersione che permette di analizzare la dispersione dei valori attorno alla media indipendentemente dall'unità di misura, fornendo un'indicazione sulla variabilità delle osservazioni rilevate. E' definito come il rapporto tra la deviazione standard dell'insieme dei dati ed il valore assoluto della loro media aritmetica:

$$CV = \frac{\sigma}{|\bar{x}|}$$

In particolare:

- se  $CV=1$  vuol dire che  $\sigma = \bar{x}$  e la media  $\bar{x}$  non è un indice corretto per la rappresentazione dei dati;

- se  $CV=0$  vuol dire che  $0 = \sigma$  e la media  $x$  è un indice appropriato per la rappresentazione dei dati;
- se  $CV > 0,5$  la media  $x$  non è un indice corretto;
- se  $CV \leq 0,5$  la media  $x$  è un indice corretto.

Per la rappresentazione della distribuzione dei dati sono utilizzate anche rappresentazioni grafiche, la cui scelta dipende dal tipo di dati da rappresentare; tra quelle di uso più comune sono:

A – istogrammi

B – box-plot,

C – curve cumulative di frequenza

#### Gli istogrammi

Sono grafici a barre verticali, nei quali le misure della variabile casuale sono riportate lungo l'asse orizzontale, mentre l'asse verticale rappresenta il numero assoluto, oppure la frequenza relativa o quella percentuale, con cui compaiono i valori di ogni classe.

#### Box plot

I box plot (Figura 3) sono dei diagrammi che riassumono gli aspetti principali di una distribuzione di valori; la base inferiore e superiore del rettangolo rappresentano rispettivamente il 25 e il 75 percentile. La linea all'interno del rettangolo rappresenta la mediana (ovvero il 50 percentile). Accanto a questi parametri statistici fondamentale, il box plot deriva altri valori importanti per l'identificazione dei valori anomali; con il termine gradino (step) si indica 1,5 volte la differenza fra il valore corrispondente al 75° percentile e quello al 25° percentile. I valori posti in corrispondenza di un gradino sopra la base superiore del rettangolo e un gradino sotto la base inferiore definiscono rispettivamente un limite superiore ed un limite inferiore (upper e lower fence). I limiti non sono solitamente visualizzati sul grafico, mentre sono riportati i valori adiacenti (cioè rispettivamente il primo valore inferiore al limite superiore, e il primo valore superiore al limite inferiore). I valori esterni a questi limiti sono usualmente considerati come outliers. Nel caso non vi siano outliers (verso i valori massimi e/o verso i valori minimi) i valori adiacenti superiore ed inferiore coincideranno rispettivamente con i valori massimo e minimo delle osservazioni.

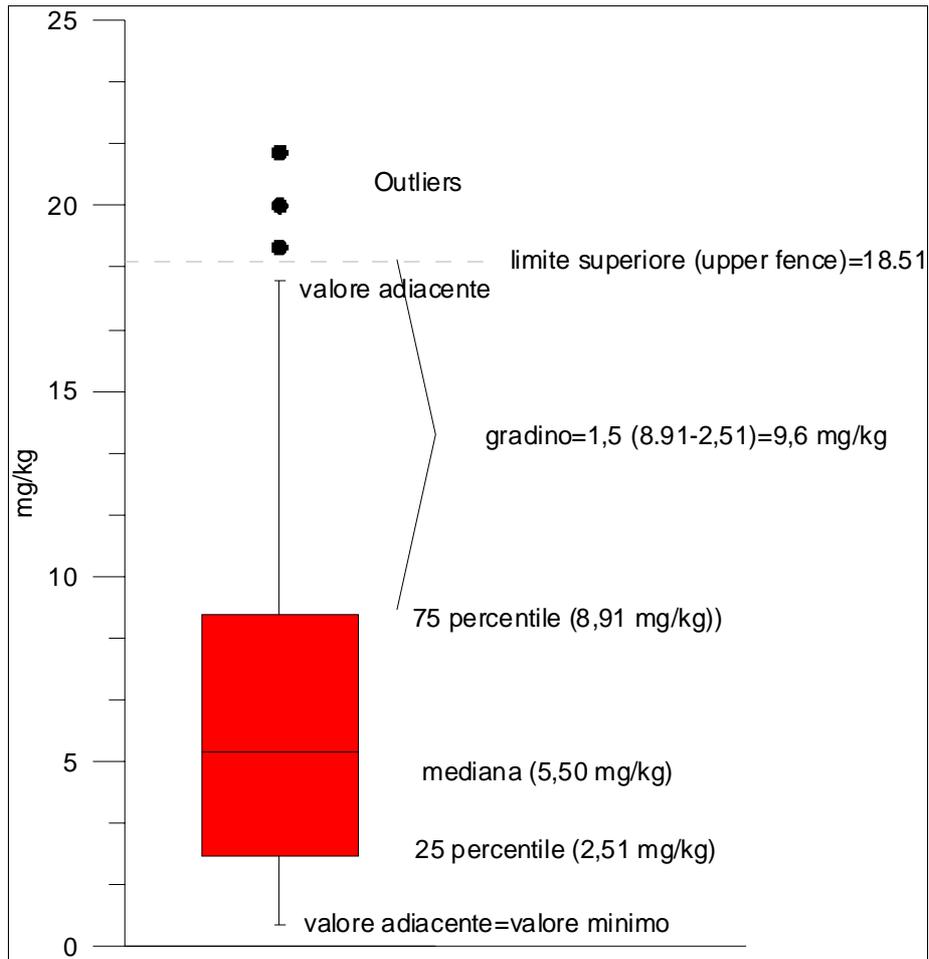


Figura 3: Parametri statistici rappresentati nel box plot

Nell'esempio, poiché il valore più basso del campione è maggiore del limite inferiore (che nel caso specifico sarebbe addirittura negativo) l'adiacente inferiore coincide con il valore minimo delle osservazioni.

### Curve cumulative di frequenza

Per la costruzione della distribuzione cumulativa di frequenza, si ordinano le osservazioni in modo crescente:  $x_1 < x_2 < x_3 < \dots < x_i < \dots < x_n$ . Ad ogni valore delle osservazioni così ordinate si assegna il valore della frequenza assoluta  $AF_i$  (cioè in numero di volte che quel valore è stato osservato); si calcola 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 a  $x_{(i)}$ ,

Le percentuali cumulative per ogni valore di  $i$  si ottengono dalla normalizzazione di  $CF_i$

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

Quando il grafico delle percentuali cumulative è costruito utilizzando, per ogni  $i$ , il valore  $x(i)$  e  $Y(i)$ , utilizzando per l'asse  $y(i)$  la scala probabilità, la curva viene definita, con la terminologia anglosassone, probability plot.

Dall'andamento della curva ottenuta (Figura 4) si possono ottenere delle informazioni circa la distribuzione del campione. Un andamento lineare è indice di un campione normalmente distribuito; in alcuni casi andamenti curvilinei possono essere resi lineari utilizzando la scala logaritmica per i valori di  $x(i)$ ; in questo caso la distribuzione sarà log-normale.

A fronte di gap o "salti" ovvero a fronte di variazioni di pendenza della curva ottenuta potranno essere considerati dei valori soglia tali da individuare due o più popolazioni (es. il tratto rappresentativo del fondo e un segmento rappresentativo una popolazioni i cui valori sono determinati ad. es. da contaminazione).

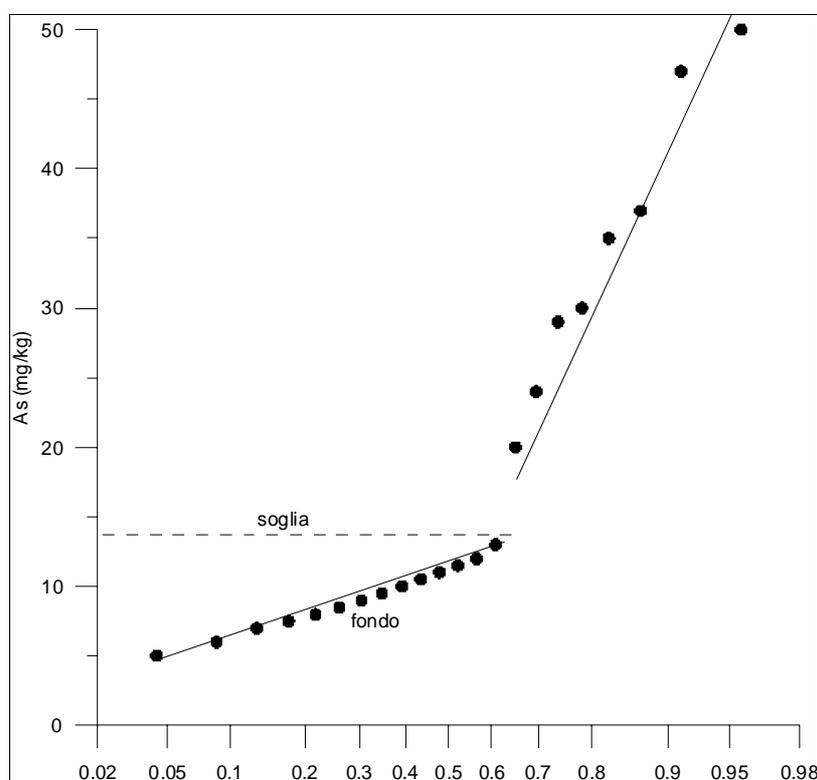


Figura 4 Curva cumulativa di frequenza

## 8 DEFINIZIONE DEL TIPO DI DISTRIBUZIONE

Nel seguito sono sinteticamente riportati i principali test statistici, per una trattazione di maggiore dettaglio si rimanda al riferimento bibliografico corrispondente. Nella Tabella 3 è riportata una sintesi dei test più comunemente utilizzati per lo studio del tipo di distribuzione di una serie di dati.

“Shapiro e Wilk test” (“W test”)– Con questo test si può valutare se sussistono o meno le ipotesi di distribuzione normale o lognormale nei casi in cui il numero dei dati a disposizione sia inferiore a 50 ( $n < 50$ ).

“D’Agostino Test” – Con questo test si può valutare se sussistono o meno le ipotesi di distribuzione normale o lognormale nei casi in cui il numero dei dati a disposizione sia uguale o superiore a 50 ( $n \geq 50$ ).

“Normal Quantile-Quantile (Q-Q) Plot” – E’ un test grafico la cui attendibilità, se non viene accompagnato da altri test più completi (come il “W test” o il “Lilliefors Test”), è piuttosto scarsa. E’ tuttavia utile per avere una prima approssimativa idea sulla distribuzione che assumono i dati in caso di ipotesi di distribuzione normale o lognormale.

“Lilliefors Test” – Viene utilizzato, nel caso di ampi data set ( $n > 1000$ ), per verificare la normalità o la lognormalità di una distribuzione di dati.

“Quantile-Quantile (Q-Q) Plot per distribuzioni gamma” – E’ un test grafico la cui attendibilità, se non viene accompagnato da altri test più completi (come l’Anderson Darling test” o il “Kolmogorov-Smirnov test”), è piuttosto scarsa. E’ tuttavia utile per avere una prima approssimativa idea sulla distribuzione che assumono i dati in caso di ipotesi di distribuzione gamma.

“Kolmogorov-Smirnov test” - Per l’applicazione di questo test non devono essere fatte assunzioni sul tipo di distribuzione dei dati. Lo stesso viene utilizzato per dimostrare che un certo data set segue la distribuzione ipotizzata, mediante il confronto tra un determinato parametro calcolato e il corrispondente valore critico tabellato.

“Anderson Darling test” - Questo test è simile al Kolmogorov –Smirnov test, ma più preciso, in quanto fa uso di una distribuzione specifica per il calcolo dei valori critici (diversi dunque per ogni tipo di distribuzione), con i quali verrà confrontato il parametro calcolato.

TIPO DI TEST	TIPO DI DISTRIBUZIONE				RIF. BIBLIOGRAFICO
	NORMALE	LOG NORMALE	GAMMA	NON PARAMETRICA	
“Shapiro e Wilk test” (n < 50)	×	×	—	—	(Gilbert, 1987), (Software ProUCL)
”D'Agostino test“ (n = 50)	×	×	—	—	(Gilbert, 1987)
“Normal Quantile-Quantile (Q-Q) Plot”	×	×	—	—	(Software ProUCL)
“Lilliefors Test”	×	×	—	—	
“Gamma Quantile-Quantile (Q-Q) Plot”	—	—	×	—	
“Kolmogorov-Smirnov test”	—	—	×	—	
“Anderson Darling test”	—	—	×	—	

Tabella 3: Test per la selezione del tipo di distribuzione

## 9 CONFRONTO FRA I VALORI DI FONDO E I VALORI SITO SPECIFICI

L'obiettivo finale di una indagine statistica può essere ricondotto alla accettazione/negazione di un ipotesi previa definizione anche della probabilità di sbagliare la decisione. Nel caso specifico del confronto tra la distribuzione dei dati del fondo e del sito, il parametro di riferimento  $\Delta$  sarà dato dalla differenza fra la concentrazione *rappresentativa* di un analita X in aree potenzialmente contaminate e la concentrazione *rappresentativa* del fondo.

Gli strumenti che consentono di pervenire ad un a decisione circa il rigetto o la accettazione dell'ipotesi nulla sono dei test statistici che sono adottati in funzione delle caratteristiche delle 2 popolazioni (sito e fondo), il risultato di questi test dipende anche dall'errore  $\alpha$  connesso alla decisione.

In funzione del tipo e delle caratteristiche di distribuzione dei dati disponibili, è possibile selezionare il tipo di test più idoneo da utilizzare; nella Tabella 4 e nella Tabella 5 sono indicati alcuni dei test più comunemente usati per il confronto di popolazioni.

CARATTERISTICHE DELLE POPOLAZIONI DEI CAMPIONI DEL STO E DI FONDO	TEST DA ADOTTARE
Numero di campioni $N > 25$ , distribuzione di frequenza normale o log normale, varianza simile, pochi valori inferiore al d.l.	Student t test
Distribuzione di frequenza normale o log normale, varianze delle due popolazioni diverse	Test t di Satterthwaite
Nessun limite circa la distribuzione di frequenza	Wilcoxon rank sum test

Tabella 4: Tipologia dei Test Statistici

TEST	OBIETTIVI/ASSUNZIONI	VANTAGGI	SVANTAGGI
Slippage Test	L'obiettivo è valutare la differenza nella coda di destra di una distribuzione di concentrazioni (valori più alti) di due popolazioni (sito e fondo); Si può applicare anche in presenza di un numero elevato di n.d.; È stato determinato almeno un valore del fondo diverso da n.d.; Non sono richieste assunzioni riguardanti la forma della distribuzione di concentrazioni del sito e di fondo.	Semplice da applicare; Non sono necessarie assunzioni circa il tipo di distribuzione; Si può applicare anche in presenza di numerosi n.d.; Può essere applicato parallelamente all'applicazione di test che mirano al confronto tra medie (o mediane).	Può richiedere un gran numero di dati affinché si abbia una potenza sufficiente per rilevare la differenza tra le concentrazioni di un sito e quelle di fondo
Quantile Test	L'obiettivo è valutare la differenza nella coda di destra di una distribuzione di concentrazioni (valori più alti) di due popolazioni (sito e fondo); I valori n.d. non devono essere tra i valori r più elevati nel set di dati del sito e di fondo; Non sono richieste assunzioni riguardanti la forma della distribuzione di concentrazioni del sito e di fondo.	Abbastanza semplice da applicare Non sono necessarie assunzioni circa il tipo di distribuzione; Può avere maggiore potenza per rilevare la differenza tra distribuzioni del sito e quelle di fondo rispetto ad altri test; Si può applicare anche in presenza di numerosi n.d.	Può richiedere un gran numero di dati affinché si abbia una potenza sufficiente per rilevare la differenza tra le concentrazioni di un sito e quelle di fondo Potrebbe risultare inefficace nel caso in cui fossero presenti n.d. tra i valori r più elevati.
Wilcoxon Rank Sum Test (WRS test)	L'obiettivo è valutare la differenza tra le mediane di due popolazioni (sito e fondo); Un solo detection limit (tutti i n.d. devono avere lo stesso valore) che deve essere minore del più piccolo valore di concentrazione rilevato; Non sono richieste assunzioni riguardanti la forma della distribuzione di concentrazioni del sito e di fondo.	Non sono necessarie assunzioni circa il tipo di distribuzione; Di solito, il test ha più potenza per determinare uno scostamento della mediana, rispetto a altri test, quando le distribuzioni dei valori del sito e quelle del fondo sono asimmetriche; Può essere applicato parallelamente all'applicazione di test che mirano a valutare la differenza tra la coda destra di due distribuzioni (Slippage test e Quantile test).	Relativamente più complicato da applicare; la presenza di numerosi n.d. pregiudica l'applicabilità del test.
Gehan Test	L'obiettivo è valutare la differenza tra le mediane di due popolazioni (sito e fondo); Possono essere presenti differenti valori del detection limit; Non sono richieste assunzioni riguardanti la forma della distribuzione di concentrazioni del sito e di fondo.	Può essere utilizzato in caso di presenza di differenti valori del detection limit; gli stessi vantaggi del WRS test	Il calcolo manuale può risultare relativamente complesso; Le performance del test non sono note quanto quelle del WRS test.
Test t-student	L'obiettivo è valutare la differenza tra le medie di due popolazioni (sito e fondo); Entrambe le distribuzioni devono presentare una distribuzione normale; I valori n.d. non devono avere un impatto significativo sul calcolo della media (meno del 15% dei dati sono n.d.); La distribuzione di concentrazioni del sito e di fondo deve essere la stessa (varianza).	È il test che possiede la maggiore potenza nella verifica dello scostamento dei valori medi di due popolazioni che presentano una distribuzione normale.	Il test richiede una valutazione statistica della assunzione di uguaglianza tra la varianza della distribuzione del sito e quella del fondo; in genere la potenza è inferiore al WRS test, nel caso in cui le popolazioni non presentassero una distribuzione normale; L'assunzione di "normalità" viene spesso trascurata; il risultato del test può essere influenzato dalla presenza di outliers; non si adatta a set di dati che presentano numerosi n.d.
Test t-Satterthwaite	L'obiettivo è valutare la differenza tra le medie di due popolazioni (sito e fondo); Entrambe le distribuzioni devono presentare una distribuzione normale; non devono essere presenti valori n.d.; Si presume che la distribuzione di concentrazioni del sito e di fondo non presentino la stessa forma (varianza).	Il test può essere applicato quando la distribuzione dei valori del sito e quella dei valori del fondo hanno varianze differenti	Il calcolo manuale può risultare relativamente complesso; presenta gli stessi svantaggi del t-Test

Tabella 5: Applicabilità dei Test Statistici

## Test t-student

In questo test si mettono a confronto le medie di due popolazioni rappresentate rispettivamente da due set di campioni casuali:

- un set di m dati:  $x_1, x_2, \dots, x_m$  per la prima popolazione (che rappresenta ad esempio la distribuzione dei valori di background);
- un set di m dati:  $y_1, y_2, \dots, y_n$  per la seconda (che rappresenta ad esempio la distribuzione dei valori del sito).

Le condizioni necessarie per la corretta applicazione di questo test sono:

- la variabilità delle due popolazioni espressa dalle rispettive varianze sia approssimativamente uguale;
- i due campioni siano indipendenti (condizione di indipendenza);
- le due popolazioni devono avere distribuzione approssimativamente normale.

Questo test è robusto in riferimento alle condizioni di normalità e di eguaglianza delle varianze, mentre non lo è nel caso di presenza di outlier.

L'ipotesi nulla è che la differenza delle medie delle due popolazioni sia nulla:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

Ovvero che le medie delle due popolazioni non siano significativamente diverse.

Dopo avere calcolato per ogni campione le medie  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  e le varianze  $S_x^2$  e  $S_y^2$  si calcola la deviazione standard congiunta  $S_E$  data da:

$$S_E = \sqrt{\frac{(m-1)S_x^2 + (n-1)S_y^2}{(m-1) + (n-1)}}$$

Quindi si calcola il parametro t dato da:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{S_E \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}}$$

dalla Tabella 7 si ricava il valore critico di  $t_{(1-\alpha)}$  tale che il  $100(1-\alpha)\%$  della distribuzione t di Student, con  $(m+n-2)$  gradi di libertà, sia inferiore a  $t_{(1-\alpha)}$ .

Se  $t > t_{1-\alpha}$  l'ipotesi di nullità può essere rifiutata, cioè il sito è contaminato; se  $t \leq t_{(1-\alpha)}$  non sussiste l'evidenza per rifiutare l'ipotesi nulla; è necessario calcolare la dimensione del campione ( $m^*$  e  $n^*$ ) necessaria a ridurre le probabilità  $\alpha$  e  $\beta$  di commettere errori del primo o del secondo tipo per una differenza fissata tra le medie delle due aree (nel nostro caso pari a 0).

Una volta specificata la probabilità  $\beta$  (es. 20%), è possibile verificare se il campione utilizzato ha una dimensione appropriata:

$$m^*=n^* = \frac{2S_E^2 (z_{(1-\alpha)} + z_{(1-\beta)})^2}{\delta_m} + 0.25z_{(1-\alpha)}^2$$

dove  $m^*$  e  $n^*$  sono il numero dei dati del campione che rendono, per determinati valori di  $a$  e  $b$ , sufficientemente attendibili i risultato del test;

$Z_{(1-\alpha)}$  e  $Z_{(1-\beta)}$  rappresentano i valori del percentile della distribuzione normale standard;

$\delta_m$  la differenza dei valori medie dei due campioni  $\bar{x} - \bar{y}$ .

Si confrontano i valori di  $m$  e  $n$  con  $m^*$  e  $n^*$ : se  $m^* \leq m$  e  $n^* \leq n$ , la probabilità di commettere un errore del primo tipo è accettabile. I risultati del test possono essere:

- a) è stata respinta l'ipotesi nulla e quindi sembra che  $\mu_1 - \mu_2 > 0$ , quindi il sito è contaminato;
- b) non è stata respinta l'ipotesi nulla ed è stata accettata la probabilità di commettere un errore del primo tipo: probabilmente è vero che  $\mu_1 - \mu_2 \leq 0$ , quindi il sito può essere considerato pulito;
- c) l'ipotesi nulla non è stata respinta e non è stata accettata la probabilità di commettere un errore del primo tipo: la differenza delle medie è probabilmente minore di 0, quindi il sito è probabilmente pulito, ma questa conclusione rimane incerta a causa delle dimensioni troppo piccole dei campioni.

### Test t di Satterthwaite – varianze diverse

Questo test parametrico, viene usato per comparare le medie di due popolazioni quando le loro varianze sono disuguali. Esso richiede i seguenti assunti:

- i due campioni siano indipendenti (condizione di indipendenza);
- le due popolazioni devono avere distribuzione approssimativamente normale

Siano  $x_1, x_2, \dots, x_m$  e  $y_1, y_2, \dots, y_n$  i due campioni costituiti rispettivamente da  $m$  ed  $n$  misure e rappresentanti due popolazioni e caratterizzati da varianze  $S_x^2$  e  $S_y^2$  differenti di cui si vogliono comparare le medie  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$ .

I passi per l'applicazione del test t di Satterthwaite prevedono:

Il calcolo della deviazione standard congiunta  $S_{NE}$  data da:

$$S_{NE} = \sqrt{\left( \frac{S_x^2}{m} + \frac{S_y^2}{n} \right)}$$

il calcolo del parametro t di Satterthwaite:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{S_{NE}}$$

dalla Tabella 7 si ricava il valore critico di  $t_{(1-\alpha)}$  tale che il  $100(1-\alpha)\%$  della distribuzione t di Student, con  $(m + n - 2)$  gradi di libertà, sia inferiore a  $t_{(1-\alpha)}$ .

Se  $t > t_{1-\alpha}$  l'ipotesi di nullità può essere rifiutata, e quindi sembra che  $\mu_1 - \mu_2 > 0$  cioè il sito è contaminato;

se  $t \leq t_{(1-\alpha)}$  non sussiste l'evidenza per rifiutare l'ipotesi nulla; si può accettare la probabilità di commettere un errore del primo tipo: probabilmente è vero che  $\mu_1 - \mu_2 \leq 0$ , cioè che il sito è pulito. In alternativa si può non accettare la probabilità di commettere un errore del primo tipo: la differenza delle medie è probabilmente minore di 0, ma questa conclusione rimane incerta a causa delle dimensioni troppo piccole dei campioni.

Non esistono tuttavia formule semplici per la stima di  $m^*$  e  $n^*$  come per il test t di Student ed è quindi necessario il ricorso ad un esperto di statistica.

### **Wilcoxon rank sum test**

Laddove le assunzioni sulle caratteristiche delle distribuzioni sono difficili da verificare o da soddisfare per entrambe le popolazioni. In questo caso è possibile utilizzare test che, mettendo a confronto la forma e la posizione di due distribuzioni anziché i relativi parametri statistici (media, mediana, ecc.), risultano svincolati dai tipi di distribuzione.

Questi test, detti non parametrici, verificano un'ipotesi nulla del tipo "H<sub>0</sub>: la distribuzione delle popolazioni 1 e 2 sono identiche", contro l'ipotesi alternativa "H<sub>a</sub>: parte della distribuzione della popolazione 1 è posta a destra/sinistra della distribuzione della popolazione 2".

Ad esempio si possono applicare nel caso si voglia verificare se un'area d'interesse è più contaminata di un'area di riferimento: in questo caso l'ipotesi nulla da verificare sarebbe l'uguaglianza tra le distribuzioni delle concentrazioni nei due siti.

Il Wilcoxon rank sum test (conosciuto anche come "Mann-Whitney Test") si applica nel caso si abbiano numerosi dati ( $n \geq 20$  e  $m \geq 20$ ) che descrivono le caratteristiche del sito e del fondo.

$\alpha$  è la probabilità che il test di Wilcoxon dichiarati in modo scorretto che le concentrazioni del sito sono superiori a quelle di fondo e cioè che vi sia un problema di contaminazione del sito da affrontare quando però tale situazione non è vera.

Dato un set di  $m$  dati:  $x_1, x_2, \dots, x_m$  per la prima popolazione (che rappresenta ad esempio la distribuzione dei valori di background) ed un set di  $n$  dati:  $y_1, y_2, \dots, y_n$  per la seconda (che rappresenta ad esempio la distribuzione dei valori del sito), tutti i dati vengono uniti ed ordinati, a prescindere dalla popolazione di partenza e viene loro attribuito il rango agli  $n + m$  valori del sito e di fondo, incominciando da un rango 1 per il valore più piccolo e così via. Se si hanno valori uguali nella stessa posizione per un numero inferiore al 40% del totale si effettua una mediazione del rango. Viene calcolata la somma dei ranghi  $R$  del sito come nell'esempio seguente, posto a puro titolo esplicativo, in quanto il numero di campioni utilizzato sarebbe nel caso in esame insufficiente:

Indicativo del dato	<u>y1</u>	x4	x3	<u>y2</u>	<u>y4</u>	x1	<u>y3</u>	x2	....
Valore	2,2	2,3	2,8	2,8	3,2	3,3	3,6	3,6	....
posizione	1	2	3	4	5	6	7	8	n+m
Rango	<u>1</u>	2	3,5	<u>3,5</u>	<u>5</u>	6	<u>7,5</u>	7,5	

Tabella 6 Esempio di calcolo del Rango

$$Ry=1+3,5+7,5+....$$

si determina quindi il valore del parametro  $W_{(1-\alpha)}$  :

$$W_{(1-\alpha)} = \frac{n(n+1)}{4 + z_{(1-\alpha)} \sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}}$$

dove il valore  $z_{(1-\alpha)}$  è il 100(1- $\alpha$ ) percentile della distribuzione normale standard della Tabella 8.

Se  $Ry > W_{(1-\alpha)}$  le concentrazioni del sito sono significativamente superiori a quelle del fondo, ovvero il sito risulta contaminato.

Gradi di libertà	1- $\alpha$								
	,70	,75	,80	,85	,90	,95	,975	,99	,995
1	0,727	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,65
2	0,617	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	0,584	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	0,569	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	0,559	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	0,553	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	0,549	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	0,546	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	0,543	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	0,542	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	0,540	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	0,539	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	0,538	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	0,537	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	0,536	0,691	0,866	1,074	1,34	1,753	2,131	2,602	2,947
16	0,535	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
17	0,534	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
18	0,534	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	0,533	0,6880	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	0,533	,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	0,532	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22	0,532	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	0,532	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
24	0,531	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
25	0,531	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26	0,531	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
27	0,531	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
28	0,530	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	0,530	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
30	0,530	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
40	0,529	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704
60	0,527	0,679	0,848	1,046	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660
120	0,526	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617
	0,524	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

Tabella 7 Valori critici per la distribuzione t di Student

I valori dell'ultima riga corrispondono a valori critici per la distribuzione normale standard

n	α	m																		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	0,05	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	3	3	4	4	4	4	5	5	5
	0,10	0	1	1	2	2	2	3	3	4	4	5	5	5	6	6	7	7	8	8
3	0,05	0	1	1	2	3	3	4	5	5	6	6	7	8	8	9	10	10	11	12
	0,10	1	2	2	3	4	5	6	6	7	8	9	10	11	11	12	13	14	15	16
4	0,05	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19
	0,10	1	2	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	16	17	18	19	21	22	23
5	0,05	1	2	3	5	6	7	9	10	12	13	14	16	17	19	20	21	23	24	26
	0,10	2	3	5	6	8	9	11	13	14	16	18	19	21	23	24	26	28	29	31
6	0,05	1	3	4	6	8	9	11	13	15	17	18	20	22	24	26	27	29	31	33
	0,10	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	35	37	39
7	0,05	1	3	5	7	9	12	14	16	18	20	22	25	27	29	31	34	36	38	40
	0,10	2	5	7	9	12	14	17	19	22	24	27	29	32	34	37	39	42	44	47
8	0,05	2	4	6	9	11	14	16	19	21	24	27	29	32	34	37	40	42	45	48
	0,10	3	6	8	11	4	17	20	23	25	28	31	34	37	40	43	46	49	52	55
9	0,05	2	5	7	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	40	43	46	49	52	55
	0,10	3	6	10	13	16	19	23	26	29	32	36	39	42	46	49	53	56	59	63
10	0,05	2	5	8	12	15	18	21	25	28	32	35	38	42	45	49	52	56	59	63
	0,10	4	7	11	14	18	22	25	29	33	37	40	44	48	52	55	59	63	67	71
11	0,05	2	6	9	13	17	20	24	28	32	35	39	43	47	51	55	58	62	66	70
	0,10	4	8	12	16	20	24	28	32	37	41	45	49	53	58	62	66	70	74	79
12	0,05	3	6	10	14	18	22	27	31	35	39	43	48	52	56	61	65	69	73	78
	0,10	5	9	13	18	22	27	31	36	40	45	50	54	59	64	68	73	78	82	87
13	0,05	3	7	11	16	20	25	29	34	38	43	48	52	57	62	66	71	76	81	85
	0,10	5	10	14	19	24	29	34	39	44	49	54	59	64	69	75	80	85	90	95
14	0,05	4	8	12	17	22	27	32	37	42	47	52	57	62	67	72	78	83	88	93
	0,10	5	11	16	21	26	32	37	42	48	53	59	64	70	75	81	86	92	98	103
15	0,05	4	8	13	19	24	29	34	40	45	51	56	62	67	73	78	84	89	95	101
	0,10	6	11	17	23	28	34	40	46	52	58	64	69	75	81	87	93	99	105	111
16	0,05	4	9	15	20	26	31	37	43	49	55	61	66	72	78	84	90	96	102	108
	0,10	6	12	18	24	30	37	43	49	55	62	68	75	81	87	94	100	107	113	120
17	0,05	4	10	16	21	27	34	40	46	52	58	65	71	78	84	90	97	103	110	116
	0,10	7	13	19	26	32	39	46	53	59	66	73	80	86	93	100	107	114	121	128
18	0,05	5	10	17	23	29	36	42	49	56	62	69	76	83	89	96	103	110	117	124
	0,10	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	78	85	92	99	107	114	121	129	136
19	0,05	5	11	18	24	31	38	45	52	59	66	73	81	88	95	102	110	117	124	131
	0,10	8	15	22	29	37	44	52	59	67	74	82	90	98	105	113	121	129	136	144
20	0,05	5	12	19	26	33	40	48	55	63	70	78	85	93	101	108	116	124	131	139
	0,10	8	16	23	31	39	47	55	63	71	79	87	95	103	111	120	128	136	144	152

Tabella 8 Valori critici per il Wilcoxon Rank Sum Test

(n=numero di misure nel sito, m=numero di misure del fondo)

Chieti, 21 Maggio 2014

Spett.le  
**Ministero dell'Ambiente  
e della Tutela del Territorio e del Mare**  
**Direzione Generale per le Valutazioni Ambientali**  
Divisione II Sistemi di Valutazione Ambientale  
Via Cristoforo Colombo, 44  
00147 ROMA

e, p.c. Spett.le  
**Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente**  
S.T. Palermo  
Via Nairobi, 4  
90100 Palermo

Raccomandata a.r.

Prot. 664 GP/vdr

**Oggetto:** Progettazione esecutiva ed esecuzione dei lavori per la realizzazione della nuova sede ferroviaria del "Raddoppio del tratto Cefalù Ogliastrillo (i) – Castelbuono (i), della linea Palermo – Messina, di lunghezza di km 12,3 circa, interamente in variante su doppio binario, compresa la costruzione delle gallerie Cefalù, S.Ambrogio e Malpertugio."

*CIG1908451794 – CUP J57I09000060007 (PA 1166)*

*Convenzione n. 18/2012 dell'11 giugno 2012*

***Piano di Accertamento valori di fondo naturale Stagno***

La scrivente Toto S.p.A. Costruzioni Generali, mandataria del Raggruppamento Temporaneo di Imprese con le mandanti Italiana Costruzioni S.p.A., ESIM srl, Alpitel S.p.A., ARMAFER del dr. Michele Morelli srl, aggiudicatario dell'appalto in oggetto, ai sensi di quanto previsto all'art. 5 comma 4 del DM 161/12 comunica che sono stati riscontrati, nel corso delle attività di caratterizzazione espletate per la predisposizione del Piano di Utilizzo dei materiali da Scavo relativo all'opera in oggetto, diffusi superamenti della CSC per il parametro Stagno di cui alla colonna A della tabella 1 dell'Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del D.Lgs. 152/2006.

Stante il contesto territoriale nel cui ambito sono ubicati l'opera e i siti di destinazione dei materiali da scavo nonché la diffusione e distribuzione dei superamenti riscontrati, si ha motivo di ritenere che detti superamenti siano riconducibili a un fondo naturale per la cui indagine è stato predisposto apposito Piano di Accertamento che si trasmette in allegato alla presente e alla cui attuazione si provvederà in contraddittorio con ARPA ST Palermo, che legge p.c., con la quale sono stati avviate le attività preliminari di coordinamento a tal fine.

Si resta a disposizione per qualsiasi esigenza riguardi a quanto sopra.

Distinti saluti

La Mandataria  
**TOTO Spa**  
**Costruzioni Generali**  
*Il Direttore Tecnico*  
*Dott. Ing. Giovanni Pinna*

*Allegati: c.s.i.*



Chieti, 21 Maggio 2014

Spett.le  
**Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente**  
S.T. Palermo  
Via Nairobi, 4  
90100 Palermo

Raccomandata a.r.  
Prot. 665 GP/vdr

**Oggetto:** Progettazione esecutiva ed esecuzione dei lavori per la realizzazione della nuova sede ferroviaria del "Raddoppio del tratto Cefalù Ogliastrillo (I) – Castelbuono (I), della linea Palermo – Messina, di lunghezza di km 12,3 circa, interamente in variante su doppio binario, compresa la costruzione delle gallerie Cefalù, S.Ambrogio e Malpertugio."

*CIG1908451794 – CUP J57I09000060007 (PA 1166)*

*Convenzione n. 18/2012 dell'11 giugno 2012*

**Piano di Accertamento valori di fondo naturale Stagno**

Facendo seguito alle interlocuzioni per le vie brevi, si trasmettono, in allegato:

- Relazione descrittiva delle attività integrative della caratterizzazione ante operam in relazione ai superamenti delle CSC riscontrati
- Piano di Accertamento del valore di fondo per l'elemento Stagno predisposto ai sensi di quanto previsto all'art. 5 comma 4 del DM 161/12.

Detto Piano di Accertamento, come previsto dal citato art. 5, comma 4 del DM 161/12, è stato trasmesso all'autorità competente, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, con ns. prot. 664 GP/vdr in data 21/05/2014.

Restando a disposizione per qualsiasi eventuale ulteriore esigenza di chiarimento o approfondimento, si chiede di poter programmare con codesta spett.le Agenzia le attività previste dal Piano di Accertamento da effettuare in contraddittorio.

Distinti saluti

La Mandataria  
**TOTO Spa**  
**Costruzioni Generali**  
*Il Direttore Tecnico*  
*Dott. Ing. Giovanni Pinna*

*Allegati: c.s.i.*