

Costruzione del modello concettuale (definizione della sorgente, individuazione dei percorsi di esposizione e dei bersagli)

Marco Falconi, Antonella Vecchio

ISPRA

Modello Concettuale del Sito (MCS)

- MCS: Definizione
 - Rappresentazione grafica o schematica (o "concettualizzazione") dello scenario di contaminazione del sito, includendo:
 - come e dove si è originata la contaminazione, identificando le sorgenti, i composti più pericolosi e le matrici (suolo, acque sotterranee, acque superficiali) interessate.
 - se e come la contaminazione sta migrando o degradandosi (percorsi).
 - quali bersagli possono essere esposti (recettori) sulla base degli usi del territorio.
- MCS: Rappresentazione
 - Il Modello Concettuale del Sito può essere rappresentato mediante: Schemi a blocchi; Disegni (bidimensionali o tridimensionali); Tabelle

I documenti inerenti l'applicazione dell'Analisi di Rischio per i siti contaminati devono riportare una chiara rappresentazione del MCS sulla base delle risultanze della caratterizzazione effettuata

Paradigma Sorgenti-Percorsi-Recettori

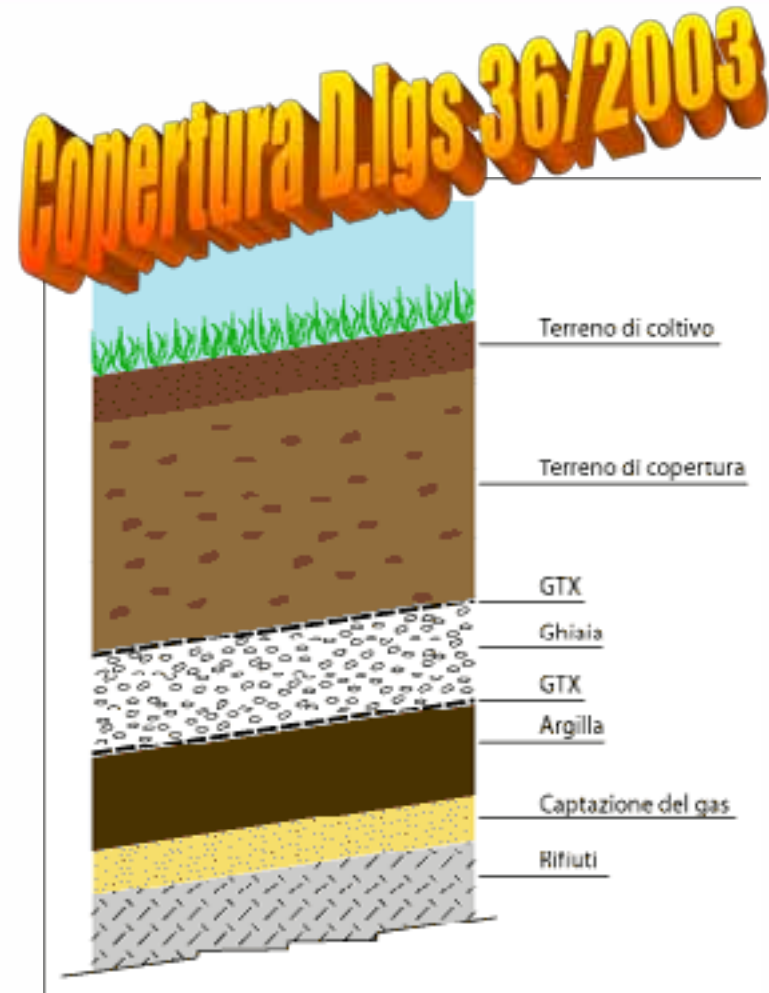
L'analisi di rischio prevede la definizione del Modello Concettuale del Sito (MCS) attraverso l'identificazione dei seguenti elementi:



- **Principio 1:** solo la presenza contemporanea di questi tre elementi determina la presenza di un rischio
- **Principio 2:** la gestione/riduzione del rischio consiste nell'eliminazione/interruzione di uno o più dei tre elementi S-P-R



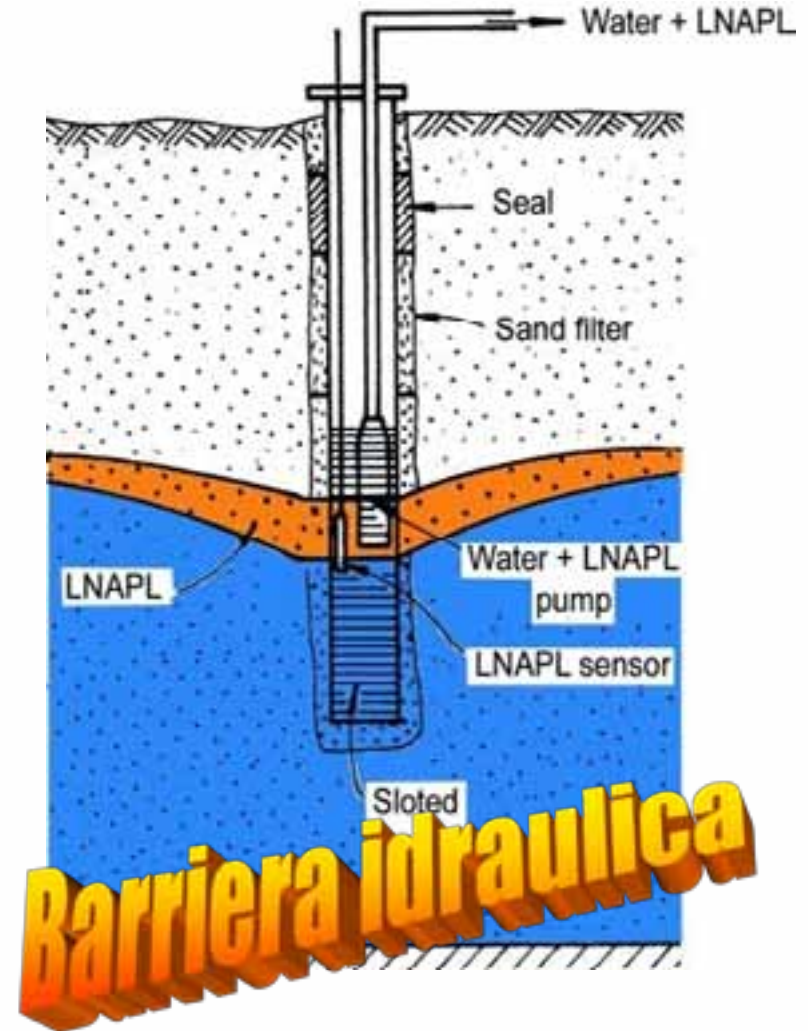
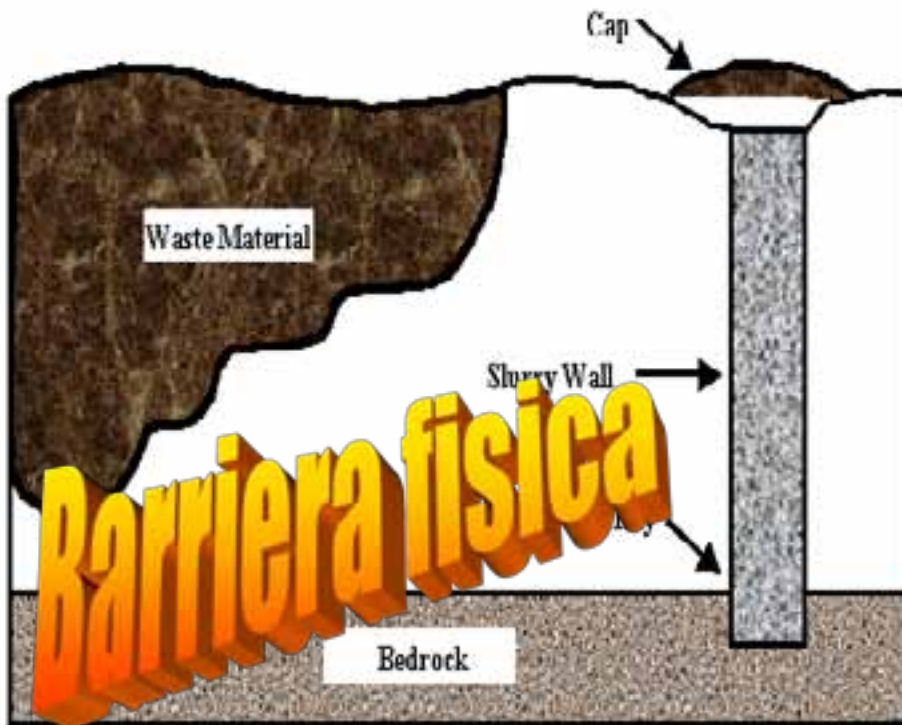
**Interruzione
dei percorsi
(suolo)**

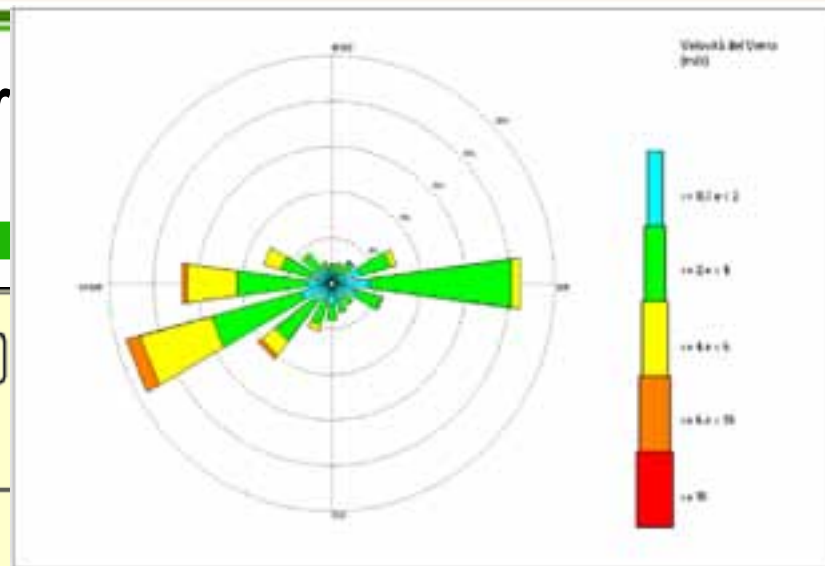
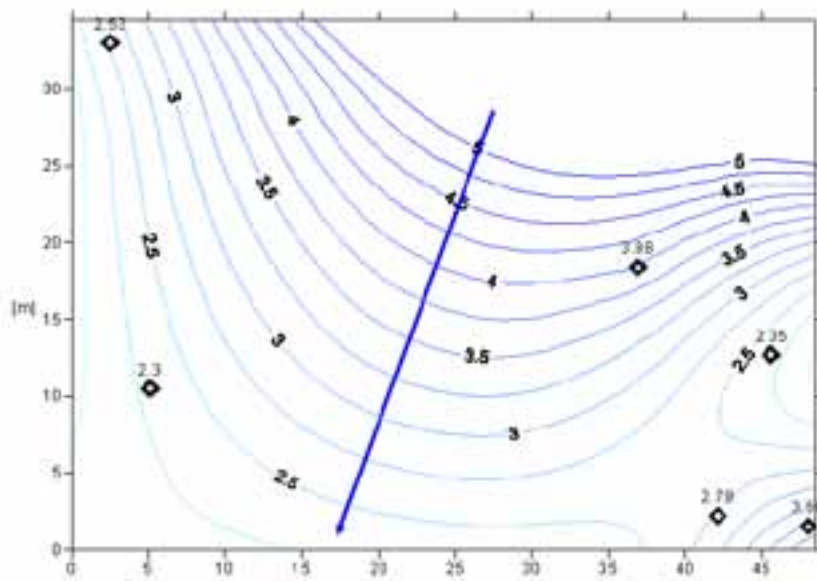


1. strato superficiale di copertura con spessore > 1 m che favorisca lo sviluppo delle specie vegetali e fornisca una protezione adeguata contro l'erosione
2. strato drenante con spessore > 0.5 m
3. strato minerale superiore compattato di spessore > 0.5 m e di bassa conducibilità idraulica.
4. strato di regolarizzazione per la corretta messa in opera degli elementi superiori e costituito da materiale drenante.



Interruzione dei percorsi (acque)





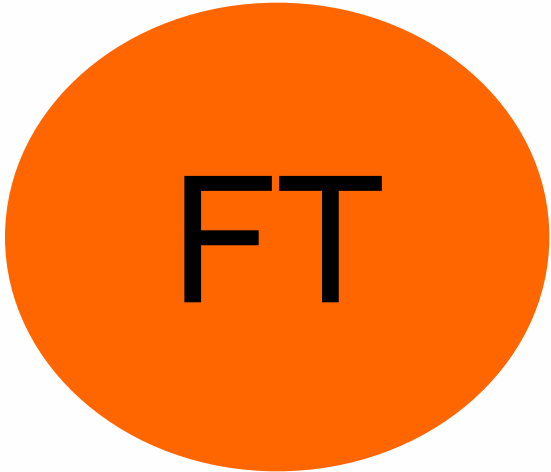
DISPONIBILI
DATI STORICI ?

NO

Applicazione, ove possibile, dei
criteri di stima indiretta.

→ Selezione del **MINIMO**.
• Se il valore più conservativo è il
massimo → Selezione del **MASSIMO**.

• Se il valore più conservativo è il
minimo → Calcolo dell'**LCL 95%**.
• Se il valore più conservativo è il
massimo → Calcolo dell'**UCL 95%**.



Sw ortogonale al flusso di **falda**

W' nella direzione principale del **vento**

Sw' ortogonale a quella principale del **vento**

Parametri relativi alla sorgente

Calcolo del rischio R e delle CSR

Modalità Forward - *Calcolo del rischio R*

$$R = \text{CRS} \cdot \text{FT} \cdot \text{EM} \cdot T$$

Concentrazione Rappresentativa alla Sorgente

CRS

Modalità Backward - *Calcolo delle Concentrazioni Soglia di Rischio CSR*

$$\text{CSR} = \frac{C_{POE-acc}}{\text{FT}}$$

FT

Dimensioni della sorgente

**Sorgenti primarie di
contaminazione**

RIFIUTI commisti a SUOLO



SERBATOI

LAGUNAGGI



CUMULI



Sorgenti secondarie di contaminazione

**SUOLO
SUPERFICIALE**



FALDA

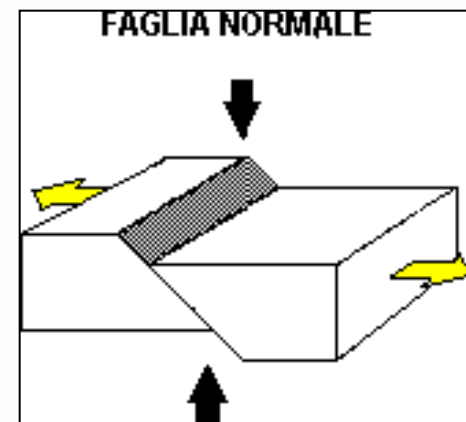


**SUOLO
PROFONDO**



1 Criteri per la suddivisione in subaree

Disomogeneità delle caratteristiche **geologiche** ed **idrogeologiche** all'interno dell'area perimetrata (Es.faglie, diverse direzioni della falda)



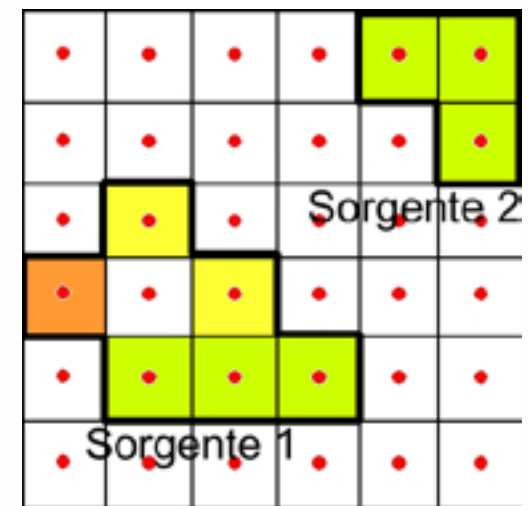
lotto resid. A	lotto resid. B	lotto industriale commerciale
lotto resid. C	lotto resid. D	
lotto resid. E	lotto resid. F	

2

Differenze nell'utilizzo dell'area perimetrata, nelle modalità di **esposizione** e/o nella tipologia dei **recettori** esposti.

Differenziazione di **tipologia** ed **origine** della **contaminazione** all'interno dell'area perimetrata

3



Sorgente: suddivisione in subaree del sito

Validità dei criteri di suddivisione in subaree del sito

- Differenze nell'utilizzo dell'area perimetrata, nelle modalità di esposizione e/o nella tipologia dei ricettori esposti.

lotto resid. A	lotto resid. B	lotto industriale commerciale
lotto resid. C	lotto resid. D	
lotto resid. E	lotto resid. F	

**DIFFERENTI
DESTINAZIONI D'USO**

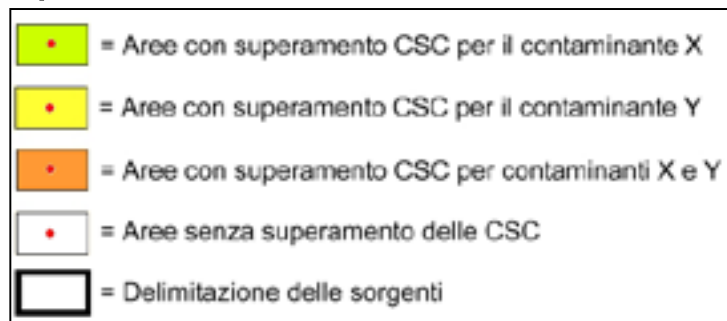
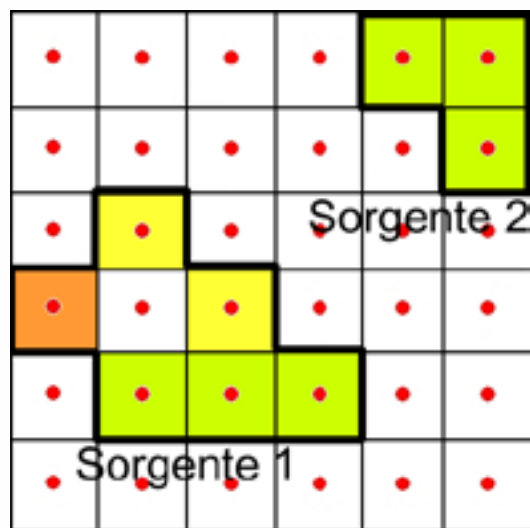


**DIFFERENTI
MODALITA' DI
ESPOSIZIONE**

Subaree: campionamento a maglia regolare

Validità dei criteri di suddivisione in subaree del sito

- Differenziazione di tipologia ed origine della contaminazione all'interno dell'area perimetrata



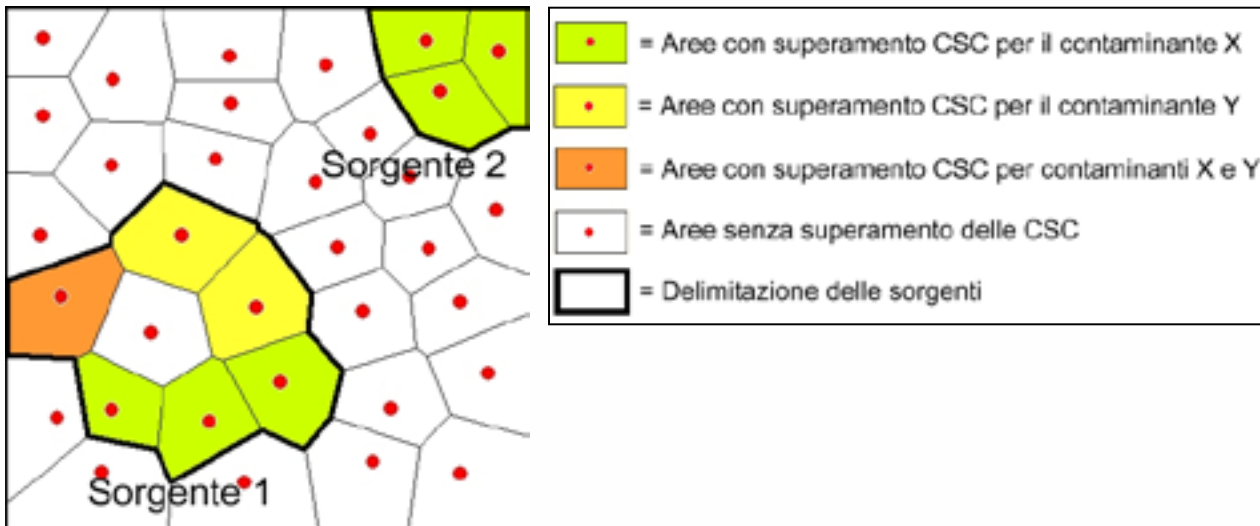
**SORGENTI
SPAZIALMENTE
DISTINTE**

**TUTTO IL SITO
SORGENTE**

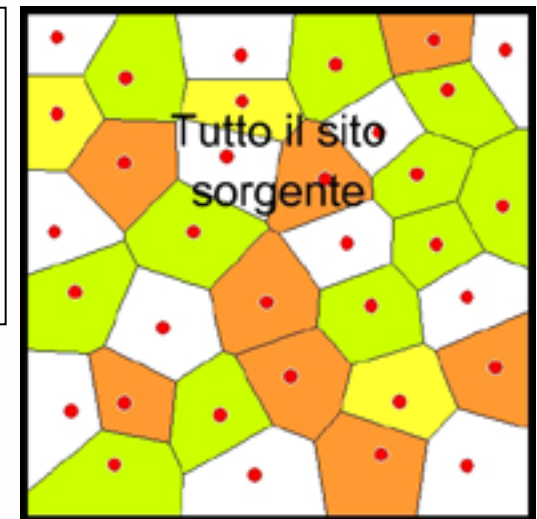
Subaree: campionamento ragionato

Validità dei criteri di suddivisione in subaree del sito

- Differenziazione di tipologia ed origine della contaminazione all'interno dell'area perimetrata



**SORGENTI
SPAZIALMENTE
DISTINTE**



**TUTTO IL SITO
SORGENTE**

Caso teorico: 2 sorgenti nella stessa matrice

Contaminante X

Contaminante Y

Contaminante X e Y

Sorgente 2

CRS = Cmax

Sorgente 1?

CRS = UCL 95%

1	7	13	•	Sorgente 1	
2	8	14	•	Sorgente 2	
3	9	15	•	•	•
4	10	16	•	•	•
5	11	17	•	•	•
6	12	18	•	•	•

Vanno considerate nella sorgente le celle 6 – 10 – 13 – 14 – 15 – 18 ?

Nearest neighbour analysis

6

3 celle su 3: $C > CSC$

10

7 celle su 8: $C > CSC$

13

1	7	13	•	Sorgente	
2	8	14	•		
3	9	15	•	•	•
4	10	16	•	•	•
5	11	17	•	•	•
6	12	18	•	•	•

2 celle su 5: $C > CSC$

Delimitazione della sorgente 1

14

7	13	•	S
8	14	•	
9	15	•	

3 celle su 8: C > CSC

15

8	14	•	
9	15	•	
10	16	•	

3 celle su 8: C > CSC

18

11	17	•	
12	18	•	

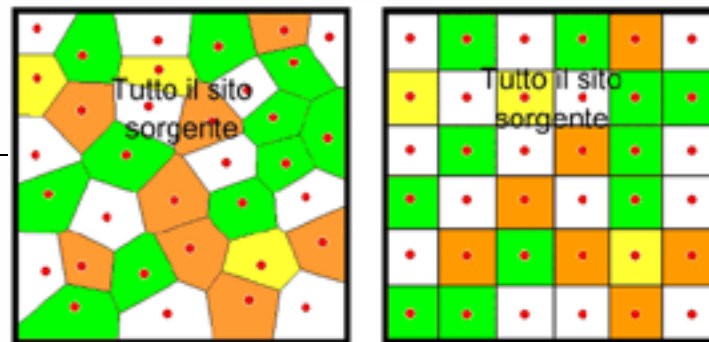
1	7	13	•	Sorgente 2	
2	8	14	•		
3	9	15	•	•	•
4	10	16	•	•	•
5	11	17	•	•	•
6	12	18	•	•	•

3 celle su 5: C > CSC

Quando va considerato “tutto il sito sorgente”?

Si definisce sorgente unica:

- 1) la sorgente **con continuità spaziale** che può determinare dei rischi per lo stesso recettore nella stessa area di esposizione;
- 2) la sorgente in cui, anche in caso di contaminazione a macchia di leopardo, è **impossibile stabilire una soluzione di continuità**.



1 sorgente, 1 valutazione

Concentrazione rappresentativa alla sorgente

I criteri proposti per la stima della concentrazione rappresentativa (APAT, 2006) dipendono:

- dal numero di sondaggi e campioni disponibili: nel caso di un numero limitato di sondaggi (inferiore a 10) si adotta il valore massimo riscontrato; altrimenti
- dal tipo di distribuzione dei dati di concentrazione (normale, log-normale, altro): stima conservativa del valore medio attraverso l'UCL 95 della media

**UCL 95 = limite superiore dell'intervallo di
confidenza della media ovvero
vi è il 5% di probabilità che il valore medio sia
superiore all'UCL 95**

Chiarimenti sul calcolo dell'UCL

Con la revisione 1 (2006) e seguenti del documento APAT, sono stati ulteriormente chiariti alcuni aspetti della suddetta procedura, in particolare:

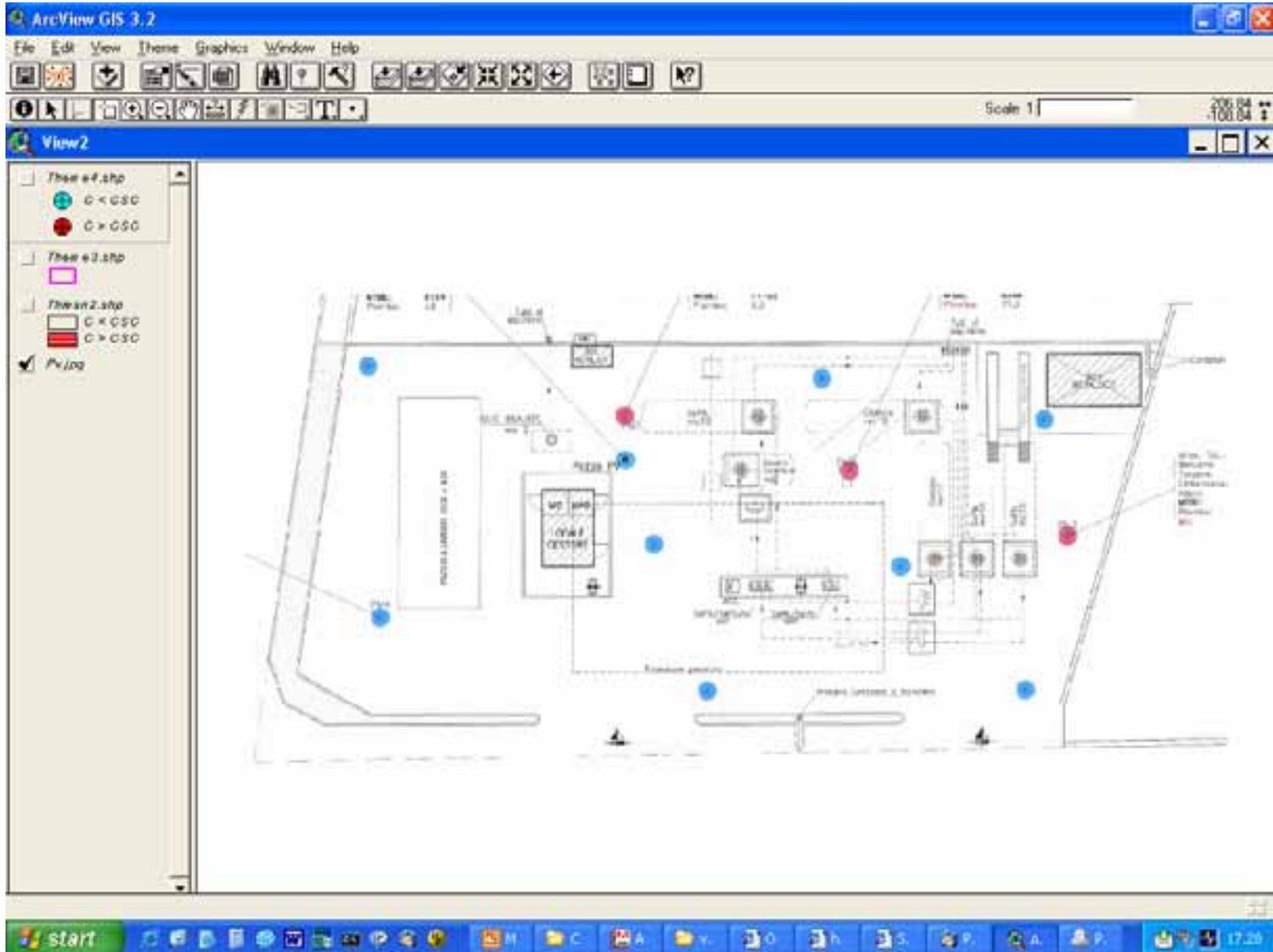
- ü Applicare la procedura statistica corrispondente al tipo di distribuzione riconosciuta: il software **ProUCL ver.3.0** evidenzia l'UCL che meglio approssima il dataset in esame.
- ü il numero minimo di dati, corrispondente a 10, necessario per l'esecuzione di analisi di tipo statistico, si riferisce ai **sondaggi effettuati nell'area** in cui viene applicata l'analisi di rischio e non ai campioni disponibili che, paradossalmente, potrebbero essere relativi a uno stesso sondaggio;
- ü l'UCL deve essere calcolata prendendo in considerazione tutti i dati di concentrazione disponibili, e caratterizzare la sorgente di contaminazione **anche con quelli che non superano** i valori di riferimento indicati dalla normativa vigente;
- ü infine, per il calcolo dei valori rappresentativi di concentrazione nel suolo (SS, SP) e nelle acque sotterranee (GW), nei casi in cui siano applicabili analisi di tipo statistico, devono essere applicati determinati criteri descritti nel dettaglio nel documento APAT 2008.

Calcolo della CRS

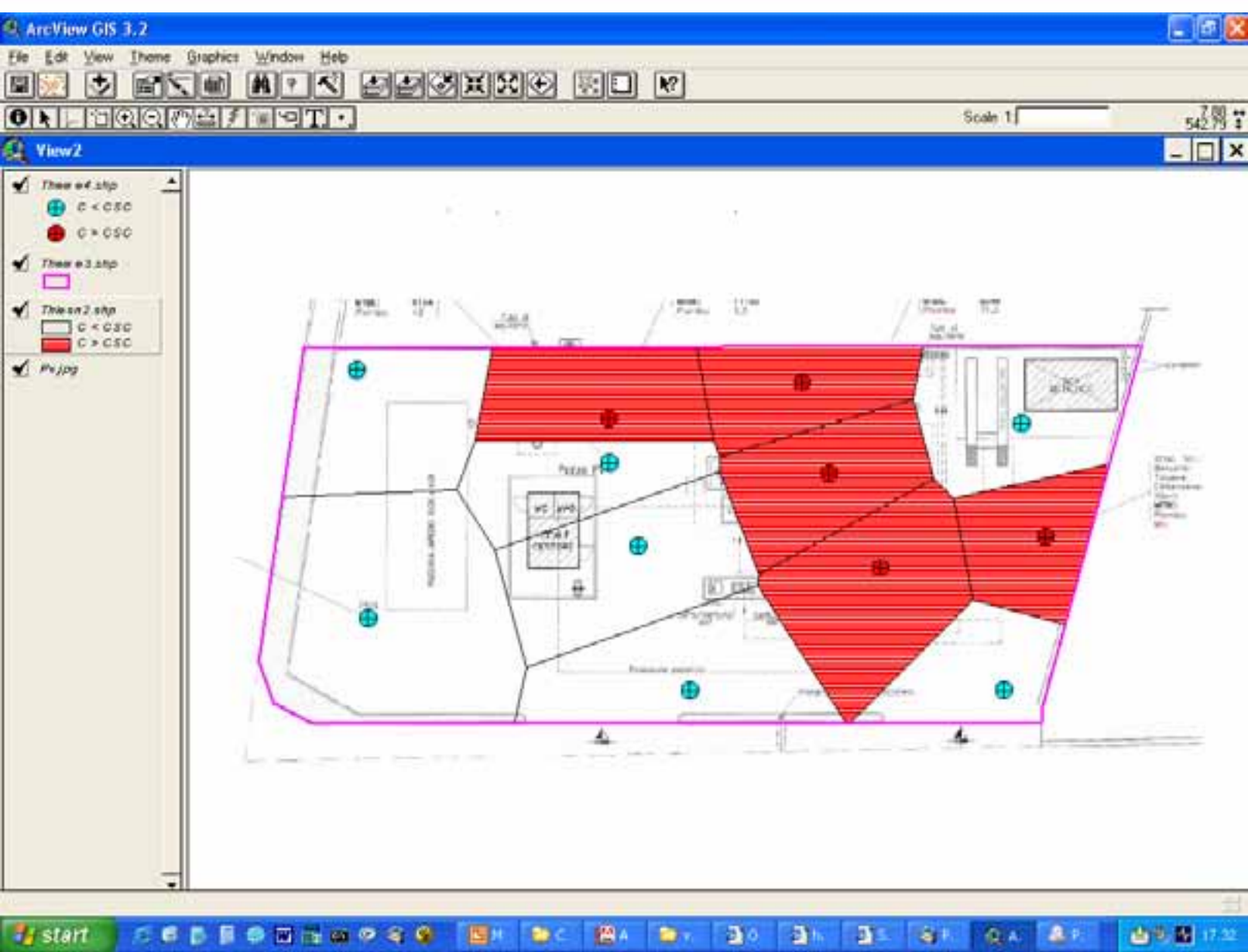
Se ogni intervallo di campionamento, è caratterizzato dalla stessa lunghezza (es.1 metro), la concentrazione rappresentativa della contaminazione, si ottiene facendo la semplice media aritmetica delle concentrazioni misurate per ogni intervallo.

Se gli intervalli di campionamento, all'interno dello strato omogeneo, non sono della stessa lunghezza (es.alcuni sono 1 metro mentre altri sono di 20 cm), allora il calcolo della concentrazione media deve tenere in considerazione le lunghezze diverse degli intervalli. In tal caso, se la misura della concentrazione in un campione è rappresentativa di un intervallo di lunghezza l , e si considera che l' n -esimo intervallo sia l'ultimo intervallo campionato, (l' n -esimo intervallo raggiunge la massima profondità della contaminazione), allora la concentrazione media dovrebbe essere calcolata come **media pesata sulla profondità**, secondo la seguente formula:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i c_i}{\sum_{i=1}^n l_i}$$



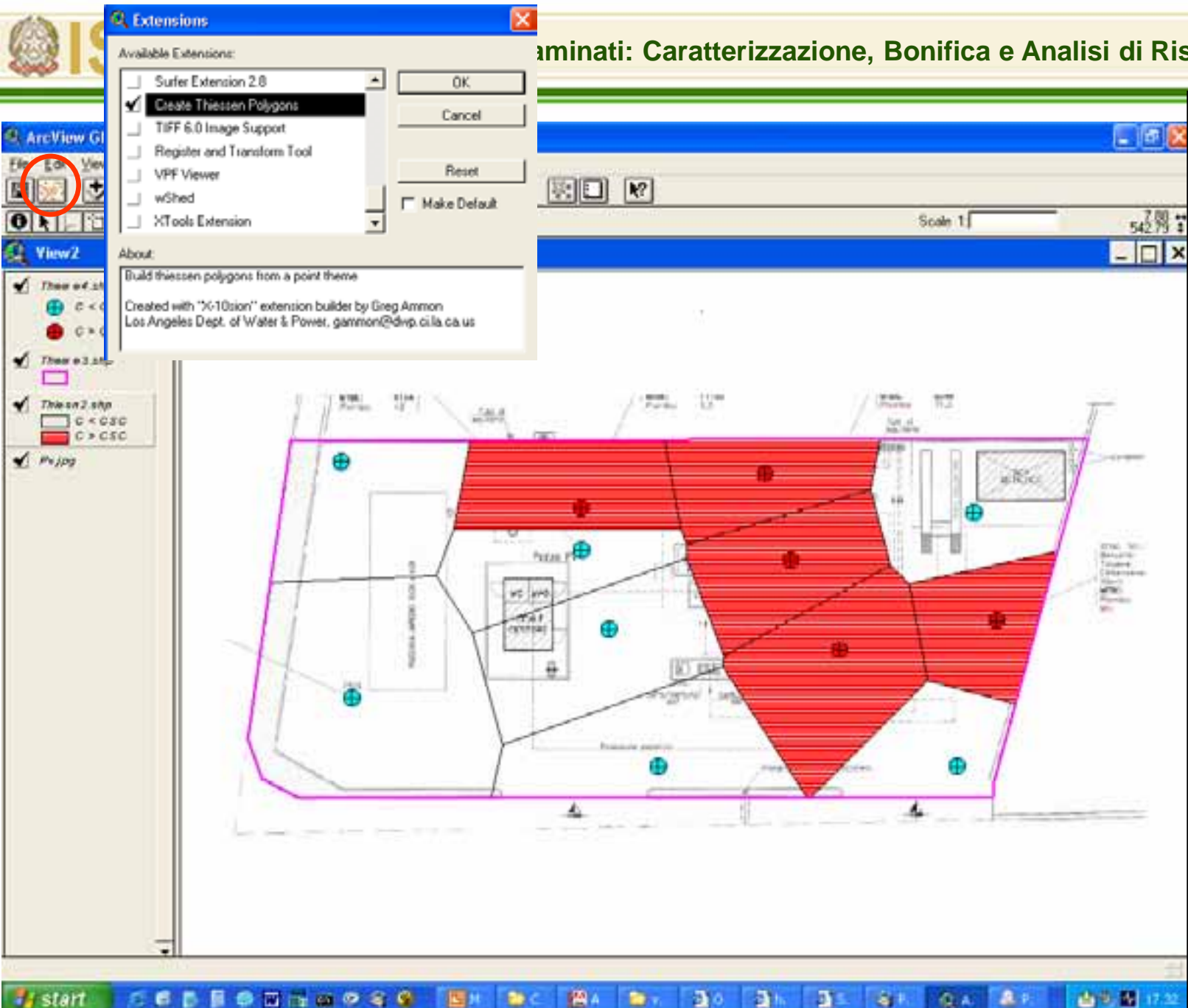
Come
creare i
poligoni
di
Thiessen
?



1. Creo uno .shp di tipo poligonale e lo edito con l'area di esposizione (in fucsia)

2. Creo uno .shp di tipo puntuale e lo edito con tutti i sondaggi effettuati

3. Attribuisco ad ogni sondaggio lo stato di contaminazione



1. Attivo l'estensione thiessen.avx e metto in input l'area di esposizione ed i sondaggi
2. Il software mi restituisce un tema di poligoni ad ognuno dei quali sono associate le info relative ai sondaggi



Grass 6.3.0



<http://www.geo.unipr.it>

QGIS 0.9.1



www.qgis.org

GIS OPEN SOURCE

gvSIG 1.1



www.gvsig.gva.es



SAGA 2.0.2

www.saga-gis.uni-goettingen.de



<http://openjump.org>

Caso reale: AdR backward

Errori

- 1) Non si può delimitare una sorgente passando a fianco di un sondaggio
- 2) Alcune delle subaree non sono spazialmente distinte
- 3) Non sono state prese in considerazione 10 punti "isolati" di superamento delle CSC



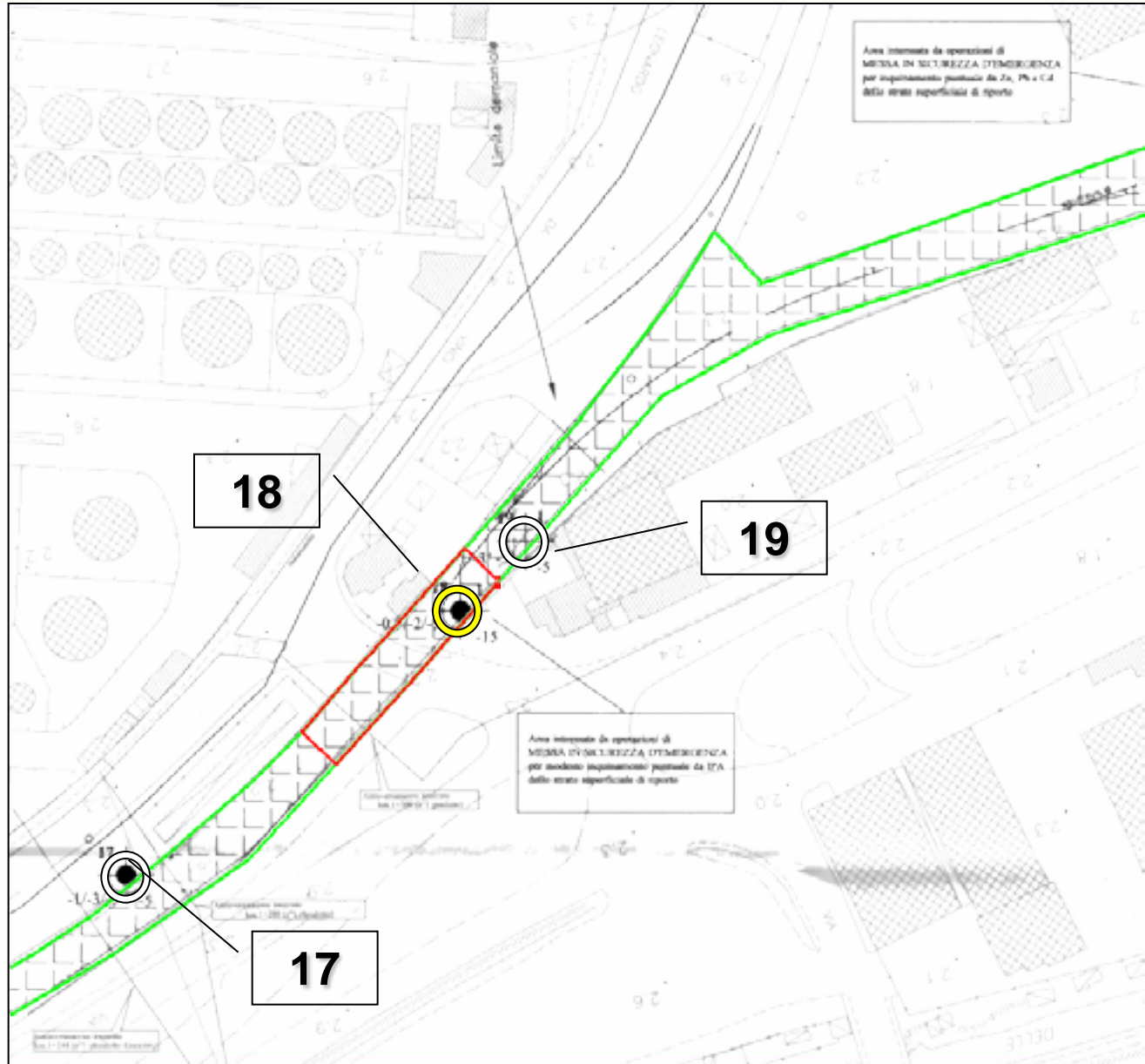


1 sondaggio > CLA
su **22** sondaggi

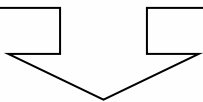
Dimensioni sorgente
5 m x 20 m

Minimum exp. area
50 m x 50 m

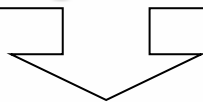
Continua....



**Documentata
inaccessibilità**



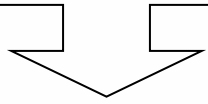
**Manutenzione
Max 5 giorni/anno**



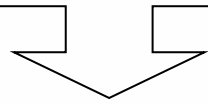
Rischio accettabile



**Documentata
inaccessibilità**



**Manutenzione
Max 5 giorni/anno**



Rischio accettabile



Caso reale: AdR secondo DM 471/99



Cos'è la geostatistica? **Cenni di Geostatistica**

La Geostatistica studia i **fenomeni naturali** che si sviluppano su **base spaziale** a partire dalle informazioni derivanti da un loro campionamento. In particolare studia **la variabilità spaziale dei parametri** che descrivono tali fenomeni.

Definizioni

Variabile regionalizzata (VR): è una grandezza espressa come una funzione numerica $z(\mathbf{x})$ il cui valore dipende dalla localizzazione ovvero dal vettore $\mathbf{x} (x, y)$ delle coordinate spaziali.

Campo: è il dominio all'interno del quale si studia la variabilità della variabile z .

Supporto: è l'entità geometrica sulla quale vengono misurati i valori della variabile z . Quando le dimensioni sono molto piccole (rispetto alla scala del lavoro) il supporto può considerarsi puntuale.

Analisi spaziale – Approccio probabilistico

Perché un approccio probabilistico?

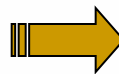
Necessità di passare da dati puntuali (misurati) ad un dato omogeneo e continuo nel dominio di studio.

Variabile aleatoria (VA): $Z(x_0)$ rappresenta l'insieme dei valori che può assumere la variabile regionalizzata $z(x)$ nel punto $x_0 (x_0, y_0)$ del dominio di studio, ovvero è una variabile che assume dei valori numerici appartenenti ad un certo intervallo secondo una legge di densità di probabilità $f_0(Z)$.

Funzione aleatoria (FA): $FA Z(x)$ è l'insieme di tutte le variabili aleatorie $Z(x)$ per ogni punto $x (x, y)$ del dominio di studio, ovvero l'insieme di tutti i valori che può assumere la variabile regionalizzata $z(x)$ nel dominio di studio.

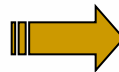
Approccio Probabilistico

Valori misurati di $z(x)$

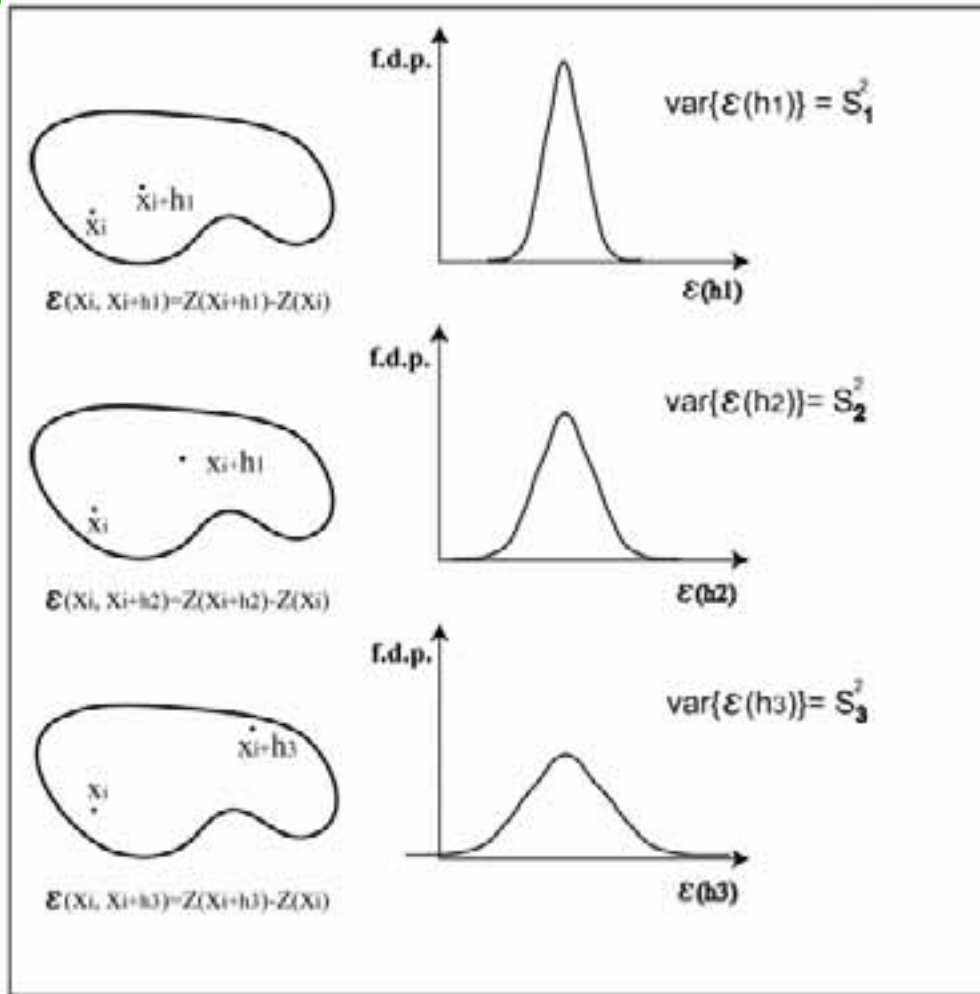


Funzione aleatoria $FA Z(x)$

Funzione aleatoria $FA Z(x)$



Stima di $z(x)$ nell'intero dominio



Variogramma

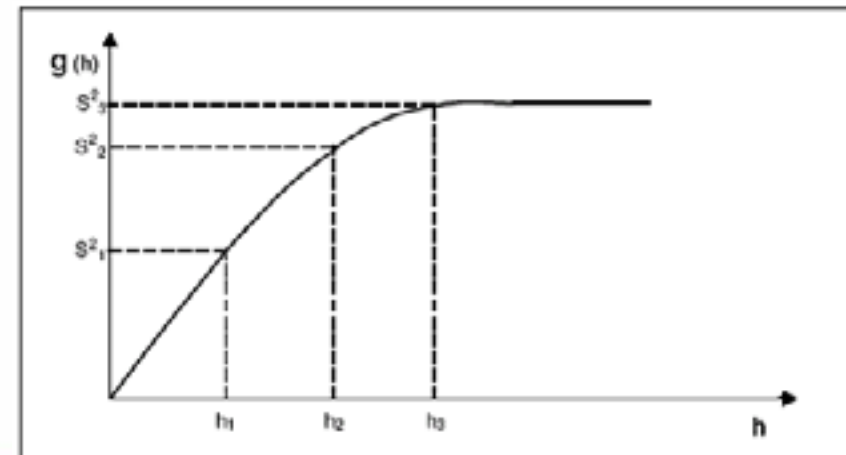


Incrementi:

$$e(h) = Z(x_i+h) - Z(x_i)$$

Esprimono la variazione della variabile spaziale con la posizione ovvero al variare del vettore h

Dispersione (varianza) degli incrementi : aumenta al crescere di h e quindi decresce con la distanza l'influenza della distanza stessa sulla variazione di $Z(x)$



Variogramma: Esprime la correlazione (varianza) di $Z(x)$ con la distanza h

$$g(h) = \frac{1}{2} \text{var} [Z(x+h) - Z(x)]$$



Elementi del Variogramma

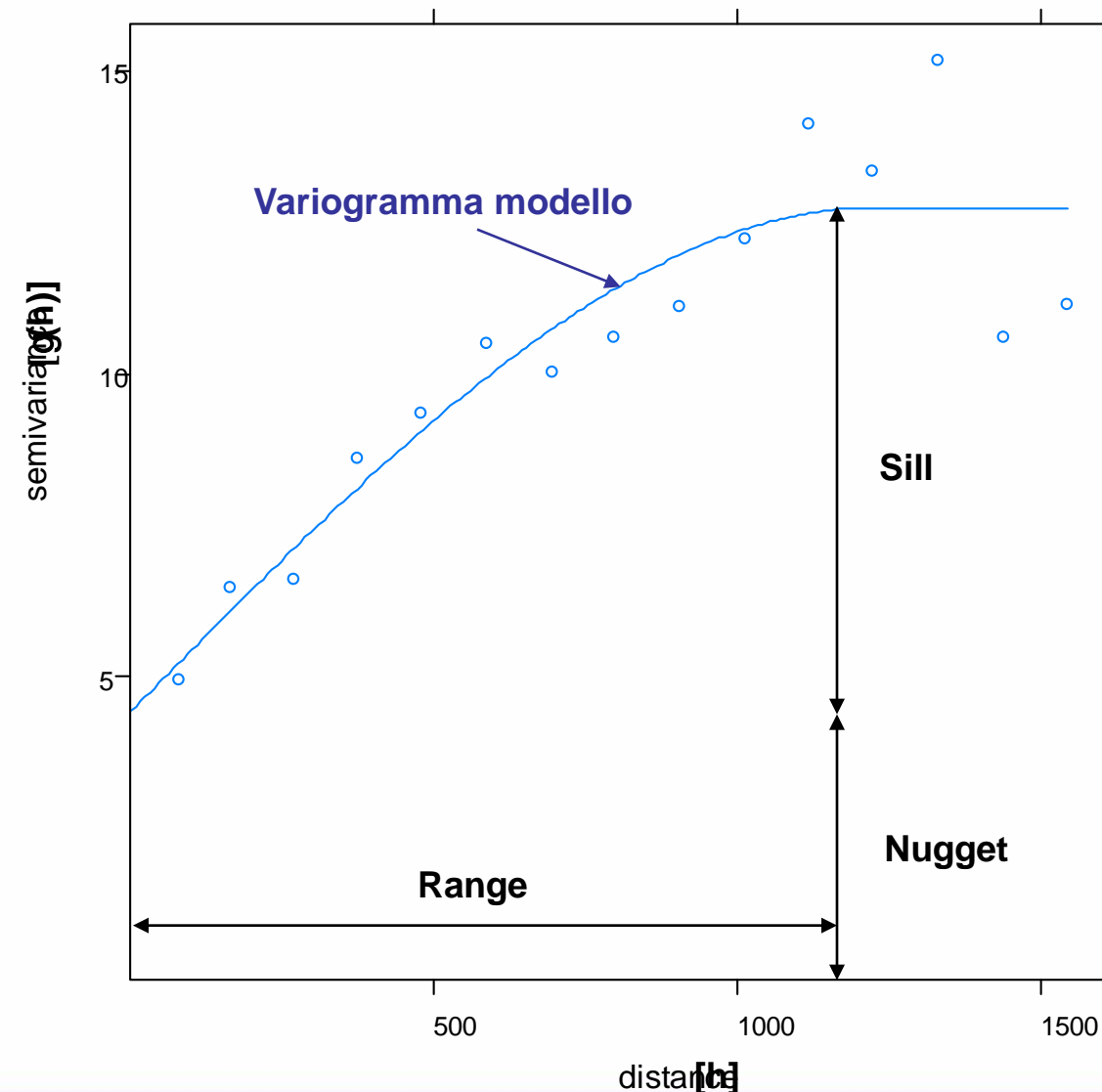
Variogramma sperimentale

$$g(h) = \frac{1}{n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} \frac{[z(x+h) - z(x)]^2}{n(h)}$$

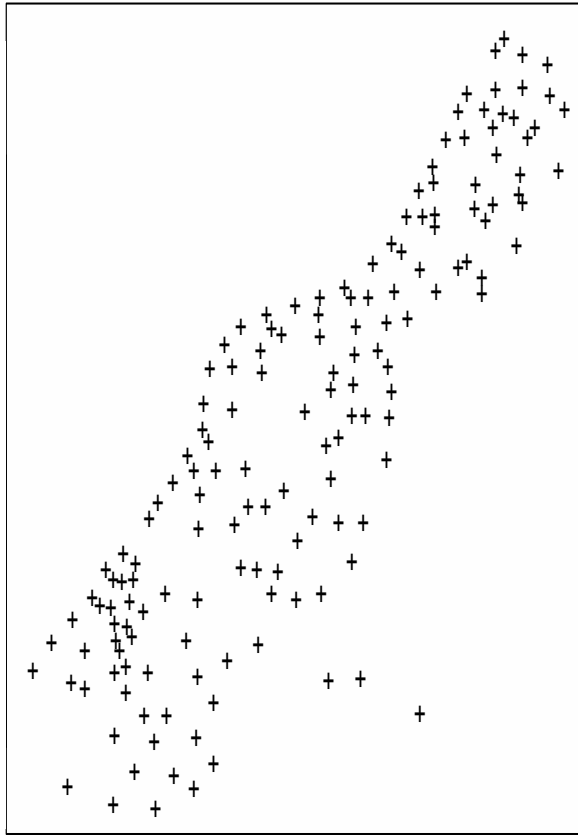
Nugget: variabilità casuale non correlata alla distanza (es. errori di misura)

Sill: variabilità correlata alla distanza

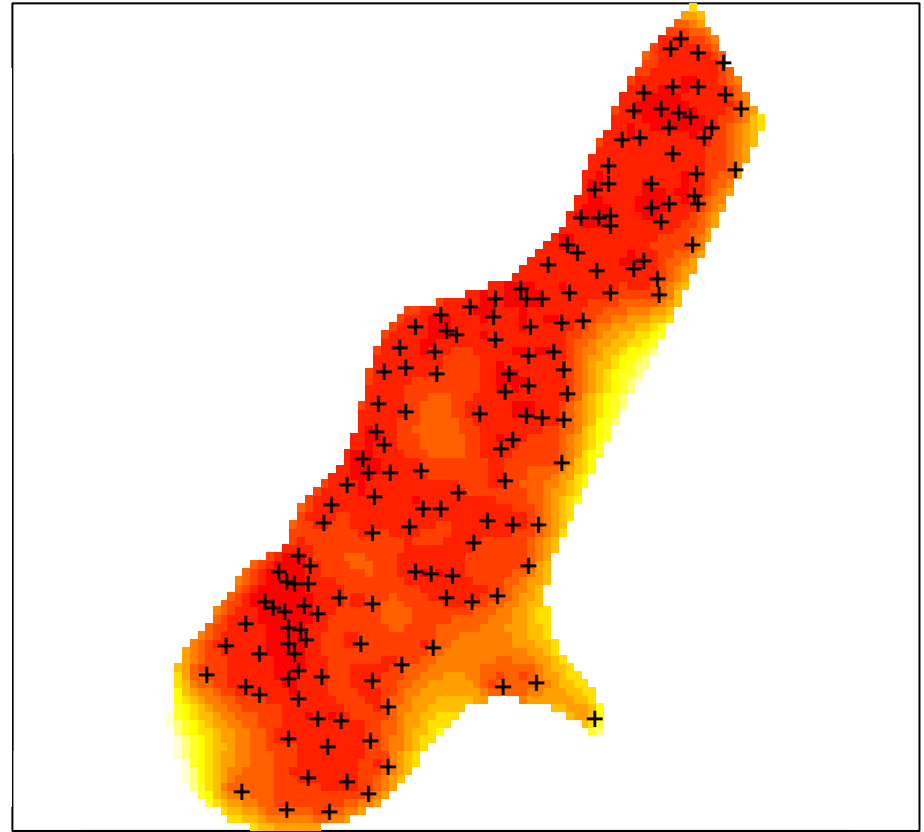
Range: distanza oltre la quale non si osserva più correlazione spaziale



Modelli di interpolazione

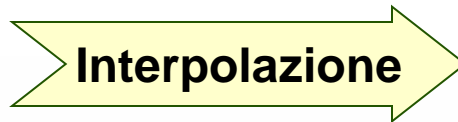


10



10

Dato puntuale



Dato continuo

Modelli di interpolazione **Modelli di interpolazione dei dati**

Per ottenere una rappresentazione spaziale continua nel dominio di studio di una VR occorre:

- ∅ stimare i valori della VR ai vertici di una griglia regolare sufficientemente fitta sulla base dei valori misurati (**operazione di stima**);
- ∅ interpolare sui lati della griglia i valori della VR sulla base dello stimatore selezionato (**operazione di interpolazione**).

Stimatori lineari

La stima della VR nei vertici della griglia $z^*(\mathbf{x}_0)$ è una combinazione lineare dei valori misurati nei punti vicini $z(\mathbf{x}_a)$

$$z^*(\mathbf{x}_0) = \sum_{a=1}^n l_a z(\mathbf{x}_a)$$

- ∅ i punti \mathbf{x}_a rappresentano rispetto a \mathbf{x}_0 il cosiddetto **vicinaggio di stima**;
- ∅ i coefficienti l_a sono i **pesi** della combinazione lineare.



Errore della stima **Correttezza ed accuratezza della stima**

Differenza nel punto x_0 tra valore vero e valore stimato:

$$e = z(x_0) - z^*(x_0) = z(x_0) - \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n z(x_a)$$

Correttezza della stima

La stima è **corretta** se la **media degli errori** di stima è **nulla**.

$$E[e] = E\left[z(x_0) - \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n z(x_a) \right] = 0$$

Accuratezza della stima

La **stima** è tanto **più accurata** quanto **più bassa** è la dispersione degli errori ovvero della **varianza di stima**:

$$s_s^2 = D^2[e] = 2 \times \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n g(x_a - x_0) - \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n \frac{1}{n} \sum_{b=1}^n g(x_a - x_b)$$

Modelli deterministici

- ✓ I pesi I_a della combinazione lineare sono funzioni matematiche date.
- ✓ I **valori stimati** sono quindi calcolati a partire dai dati misurati sulla base di precise leggi matematiche che **non tengono conto della legge di autocorrelazione spaziale (variogramma)**.
- ✓ I modelli più comunemente utilizzati sono:
 - ∅ **Poligoni di influenza (Nearest Neighbour Analysis – NNR)**
 - ∅ **Media mobile**
 - ∅ **Inverso delle distanze (Inverse Distance Weighted – IDW)**
 - ∅ Regressioni Polinomiali
 - ∅ Spline
- ✓ Il risultato fornito dai modelli deterministici è unicamente una **mappa delle previsioni**.
- ✓ E' possibile comunque determinare l'**accuratezza della stima** calcolando la **varianza di stima** in base al variogramma.

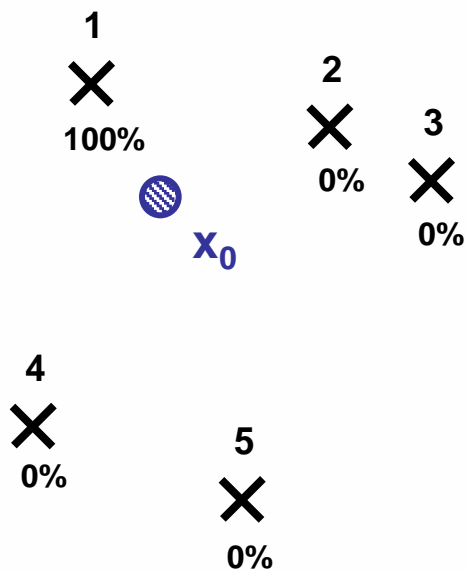
Poligoni di influenza (NNR)

Il valore stimato è pari al valore del punto più vicino all'interno del vicinaggio di stima.

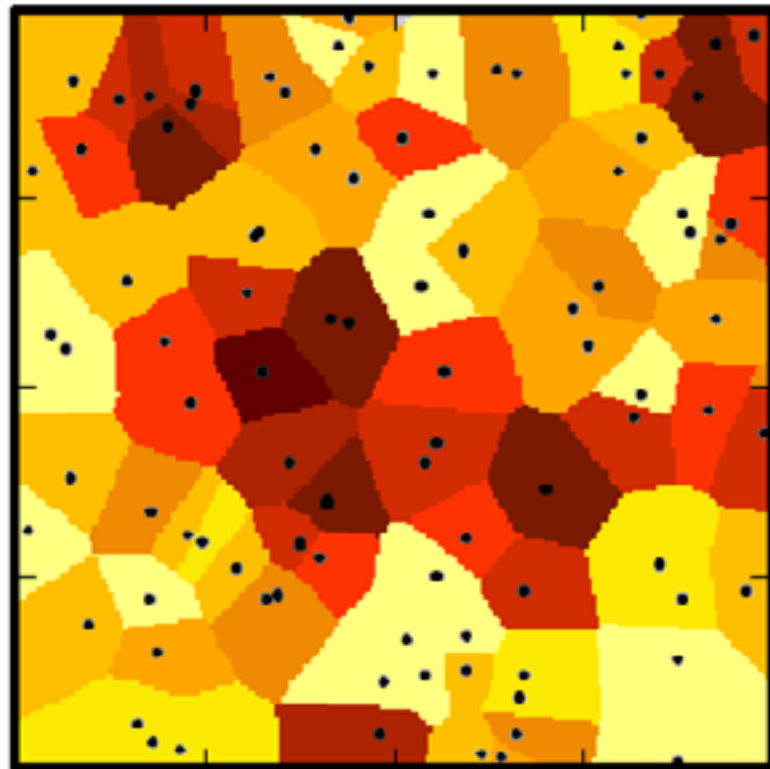
$$z^*(x_0) = z_1$$

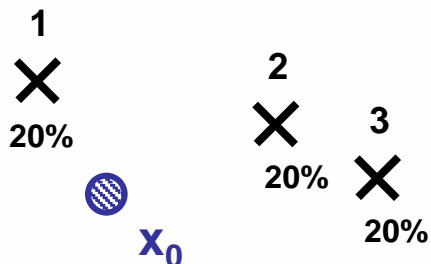
$$I_1 = 100\% = 1$$

$$I_{i \neq 1} = 0\% = 0$$



L'influenza è quindi limitata ad un solo dato ovvero al punto più vicino. Si trascurano gli altri contributi.





Il valore stimato è pari alla media dei valori dei punti all'interno del vicinaggio. I pesi sono uguali e dipendono dal numero di punti considerati.

$$z^*(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n}$$

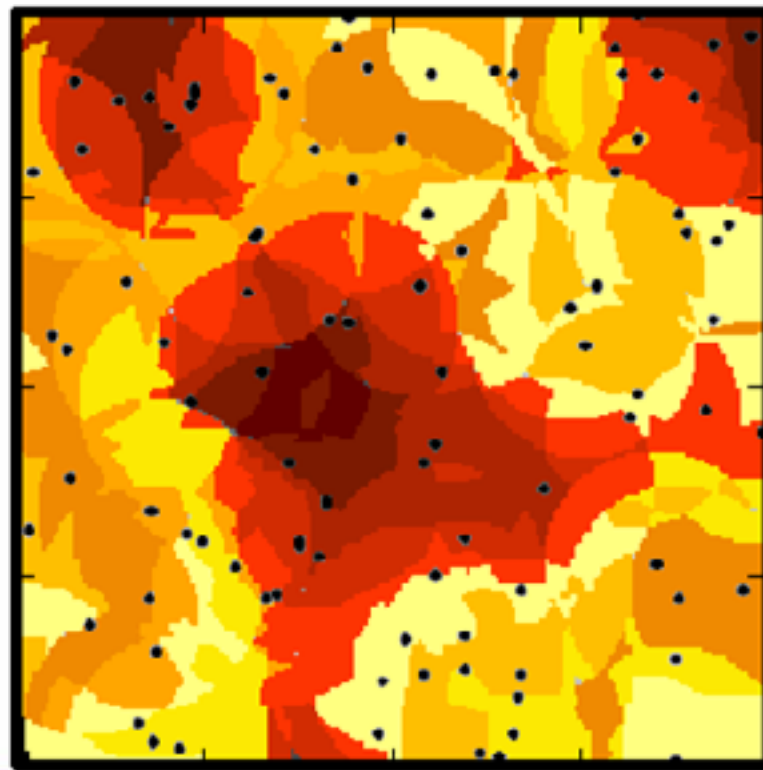
$$I_i = 1/n$$

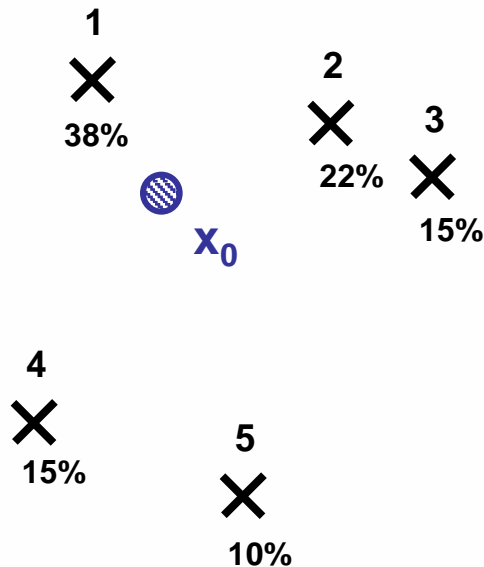
$$\rho$$

$$I_i = 1/5 = 20\%$$

Media mobile

L'influenza sulla stima (pesi) non dipende né dalla distanza del punto x_0 rispetto ai punti all'interno del vicinaggio, né dai valori assunti dalla variabile nei punti stessi.





I pesi l_i sono inversamente proporzionali alla distanza dell' i -esimo punto del vicinaggio rispetto al punto x_0 .

$$z^*(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \frac{z_i}{j(d_i)}}{\sum_{i=1}^n a_i \frac{1}{j(d_i)}} \quad \text{D} \quad l_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{j(d_i)}}$$

$$j(d_i) = d \quad \text{D} \quad \text{Inverso della distanza}$$

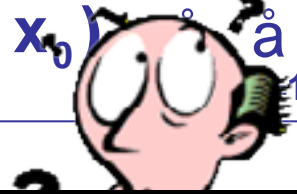
Inverso delle distanze (IDW)

$$j(d_i) = d^2 \quad \text{D} \quad \text{Inverso del quadrato della distanza}$$

L'influenza sulla stima è data dalla distanza del punto x_0 rispetto ai punti all'interno del vicinaggio e non dai valori assunti dalla variabile nei punti stessi.

Il modello da scegliere è quello che minimizza la
varianza di stima

$$s_s^2 = D^2[e] = 2 \times \sum_{a=1}^n \frac{1}{a} \times g(x_a - x_0) + 2 \times \sum_{a=1}^n \frac{1}{a} \times \frac{1}{b} \times g(x_a - x_b)$$

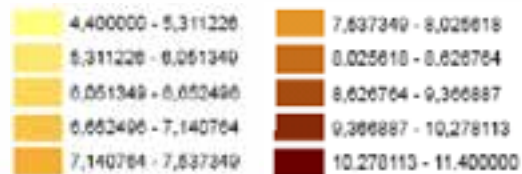


Modello	s_s^2
Poligoni di influenza (NNR)	3,24
Media Mobile	3,01
Inverso delle distanze (IDW)	2,83
Inverso del quadrato delle distanze (IDW)	2,81

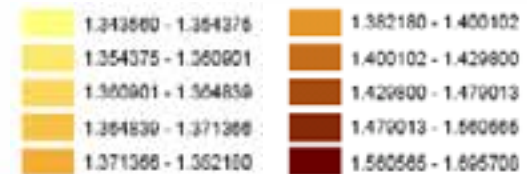
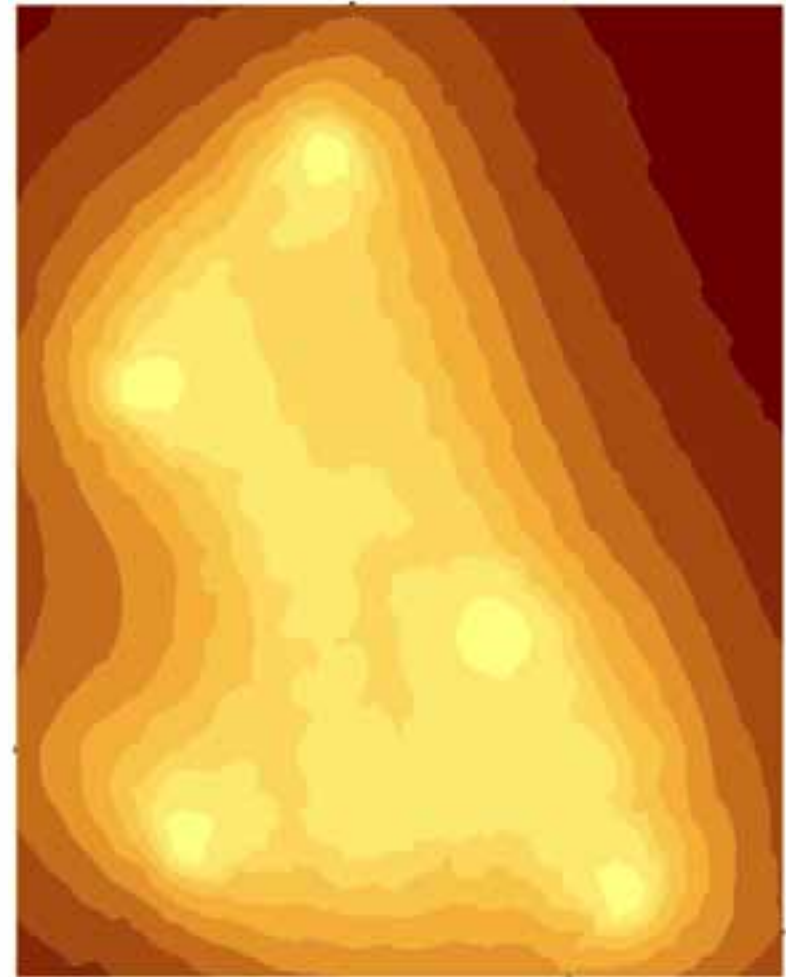
Modelli statistici

- ✓ I pesi l_a della combinazione lineare sono determinati in modo da minimizzare la varianza di stima s_s^2 .
 - ✓ I **valori stimati** quindi **tengono conto della legge di autocorrelazione spaziale (variogramma)**.
 - ✓ I modelli di stima statistici sono genericamente indicati come **Kriging** ed in particolare ne esistono diverse applicazioni:
 - ∅ **Kriging Semplice**
 - ∅ **Kriging Ordinario**
 - ∅ **Universal Kriging**
 - ∅ **CoKriging**
- } **▷ geostatistica univariata**
- } **▷ geostatistica multivariata**
- ✓ Il risultato fornito dai modelli deterministici è una **mappa delle previsioni** insieme ad una **mappa delle incertezze**.
 - ✓ La mappa delle incertezze mostra la **varianza di stima** determinata in base al variogramma.

Foc - Mappa delle previsioni



Foc - Mappa delle incertezze



Quale modello scegliere? Modelli deterministici

Vantaggi

- ✓ Semplicità di utilizzo
- ✓ Possono essere utilizzati anche con pochi dati misurati
- ✓ Non richiedono ipotesi sulla distribuzione spaziale dei dati
- ✓ Non dipendono dal modello scelto per il variogramma

Svantaggi

- ✓ Non tengono conto della variabilità spaziale
- ✓ Non forniscono una mappa delle incertezze
- ✓ Spesso non tengono conto dei valori assunti dalla variabile nei punti di misura

Modelli statistici

Vantaggi

- ✓ Tengono conto della variabilità spaziale del dato
- ✓ Forniscono una mappa delle incertezze associate alla stima puntuale del dato
- ✓ Danno stime più precise con un numero discreto di misure

Svantaggi

- ✓ Sono più complessi
- ✓ Richiedono ipotesi sulla distribuzione spaziale dei dati (stazionarietà, trend, ecc.)
- ✓ Dipendono dal modello scelto per il variogramma
- ✓ Hanno poco potere previsionale se si dispone di pochi dati

Esperienze applicative

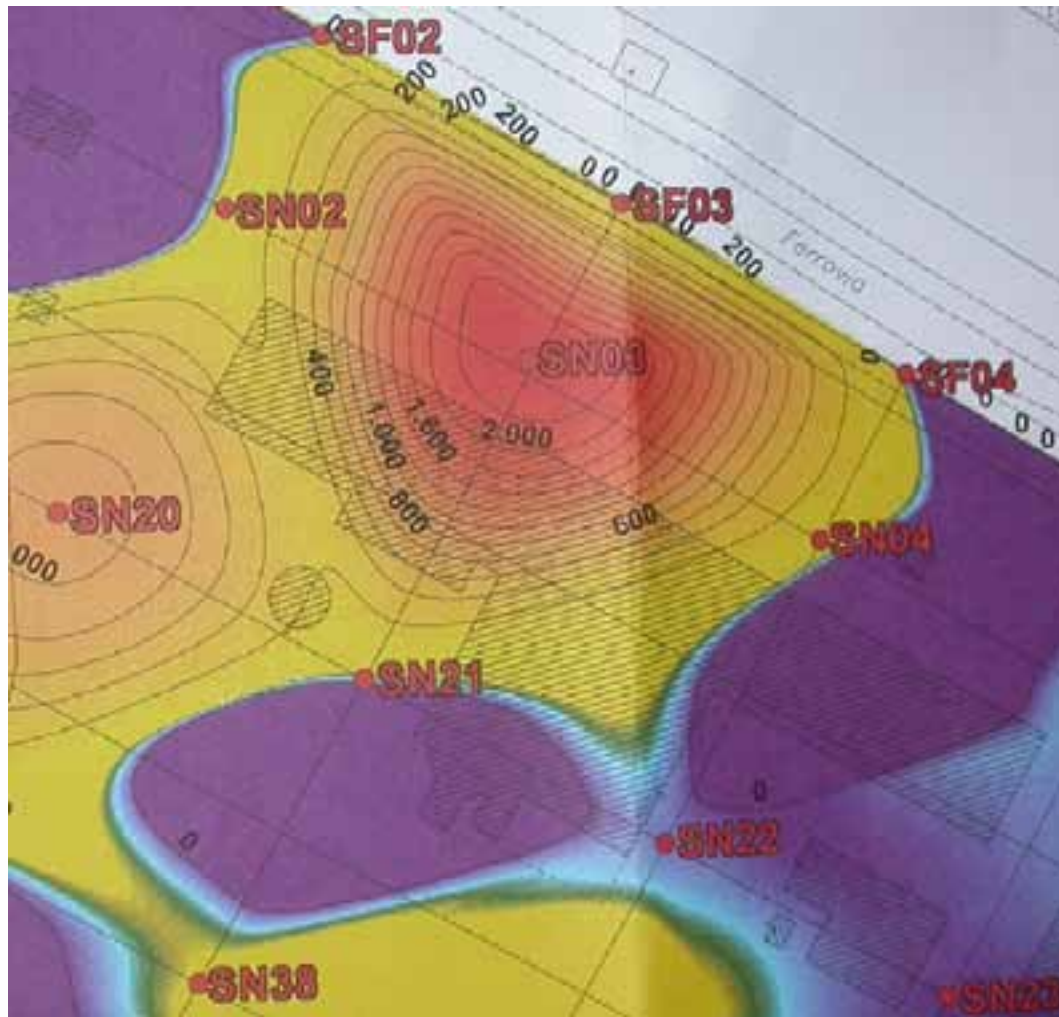
Nell'ambito della bonifica dei siti contaminati la geostatistica viene applicata soprattutto per:

- ✓ Carta delle isopieze
- ✓ Carte di isoconcentrazione (soprattutto per la falda)

In genere i risultati ottenuti risultano carenti in quanto:

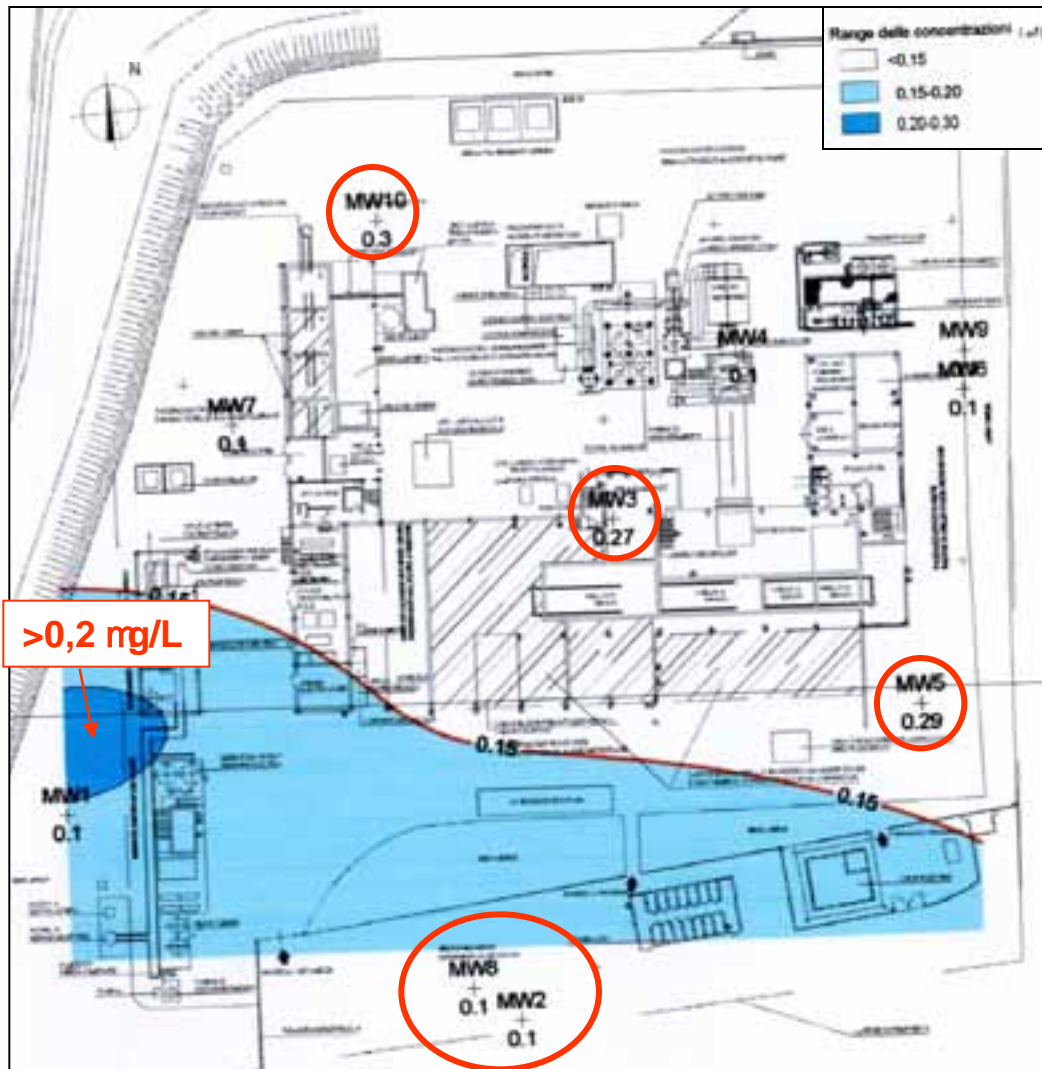
- ✓ La geostatistica viene spesso applicata con pochi dati a disposizione.
- ✓ Raramente viene indicato il modello di stima e di interpolazione utilizzato.
- ✓ Spesso non vengono indicati i punti utilizzati per l'interpolazione e/o i valori che la variabile assume in tali punti, né il dominio di studio.
- ✓ A volte vengono utilizzate condizioni al contorno nell'area (punti fittizi) che non rispecchiano dati reali misurati.
- ✓ Raramente vengono applicati più modelli di stima allo stesso set di dati ed effettuato il confronto fra le varianze di stima.
- ✓ Quando vengono utilizzati modelli statistici (kriging), non viene riportata la determinazione del variogramma sperimentale e del variogramma modello utilizzato, né viene prodotta la mappa delle incertezze.

Carta di isoconcentrazione nei suoli



- ✓ **Modello utilizzato: Kriging**
- ✓ **Al confine del sito (dominio di studio) sono stati introdotti dei punti fittizi (SF_n) ai quali è stata assegnata una concentrazione arbitraria non misurata.**
- ✓ **La concentrazione nei punti fittizi è stata posta a volte pari al valore del punto più vicino e a volte pari a zero.**
- ✓ **Le aree in viola indicano le zone a concentrazione inferiore a zero!**
- ✓ **Variogramma?**
- ✓ **Incertezza della stima?**

Carta di isoconcentrazione in falda



Esempi di errori frequenti (3)

- ✓ Qual è il dominio di studio?
- ✓ Perché i piezometri MW8 e MW2 non sono stati considerati nell'interpolazione?
- ✓ Le curve di isoconcentrazione non rispecchiano i dati misurati!

Alcune considerazioni.....

- ✓ La geostatistica è uno strumento utile e potente e viene utilizzata spesso nel campo dei siti contaminati.
- ✓ L'esperienza nella valutazione degli elaborati progettuali relativi ai siti contaminati di interesse nazionale purtroppo mostra che il livello di utilizzo di questo strumento è ancora carente in quanto:
 - ∅ spesso ci si limita ad una mera applicazione di un software senza adeguati controlli e valutazioni dei risultati;
 - ∅ alcuni modelli (es. poligoni di influenza) sono ritenuti più conservativi di altri, ma alla fine possono sottostimare la situazione reale del sito;
 - ∅ spesso si vogliono usare modelli complessi (es. kriging) non applicabili ai dati disponibili o con limitati set di dati.
- ✓ Occorre soprattutto non limitarsi solo a fornire delle “mappe”, ma indicare tutte le valutazioni che le hanno prodotte oltre all'incertezza dei risultati.

Caratterizzazione dei Percorsi

- Identificazione dei percorsi/matrici ambientali di trasporto dalla sorgente contaminata:
 - **ARIA**
 - **TERRENI SUPERFICIALI**
 - **TERRENI PROFONDI**
 - **ACQUE SOTTERRANEE**
 - **ACQUE SUPERFICIALI**
- Identificazione delle caratteristiche (geologiche, idrogeologiche, ecc.) sito-specifiche che possono determinare la migrazione degli inquinanti

Uso del sito – Identificazione dei Recettori



Industriale



Lavoratori



Residenziale



Ricreativo



Bambini + Adulti

Tipologie di Recettori

Per quanto riguarda i bersagli della contaminazione, ai fini dell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del DLgs 152/06, questi sono esclusivamente umani.

I ricettori sono differenziati in funzione:

- **della loro localizzazione**: infatti si devono prendere in considerazione nella analisi tutti i recettori umani compresi nell'area logica di influenza del sito potenzialmente contaminato. In tale ambito, si definiscono bersagli on-site quelli posti in corrispondenza della sorgente di contaminazione, e bersagli off-site quelli posti ad una certa distanza da questa.

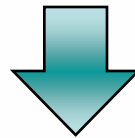
- **della destinazione d'uso del suolo**; nel presente documento, le tipologie di uso del suolo, sono differenziate in:

- o Residenziale, a cui corrispondono bersagli umani sia adulti che bambini;
- o Ricreativo, a cui corrispondono bersagli umani sia adulti che bambini;
- o Industriale/Commerciale, a cui corrispondono bersagli esclusivamente adulti.

In assenza di dati di esposizione sito specifici, per **BAMBINI** si intende individui aventi una età compresa tra 0 - 6 anni.

Caratterizzazione dei Recettori

- Analisi dell'uso del sito e del suo intorno
- Ricostruzione degli scenari di esposizione:
 - Scenari attuali
 - Scenari potenziali
- Identificazione dei recettori esposti



Le condizioni (parametri) di esposizione dipendono dall'uso del sito: *le condizioni di esposizione di un recettore addetto ad una attività lavorativa (commerciale o industriale) sono diverse da quelle di un recettore residenziale (bambino o adulto).*

Scenari di Esposizione

- **SCENARI ATTUALI:** determinati dalla presenza e/o dalla migrazione nel sito di sostanze inquinanti verso **recettori presenti (*baseline risk assessment*)**
- **SCENARI POTENZIALI:** determinati dalla presenza e/o dalla migrazione nel sito di sostanze inquinanti verso **recettori potenziali considerando l'uso del sito dopo la bonifica**

Scenari di Esposizione

- Uno scenario di esposizione è **Residenziale** quando al suo interno sono presenti delle abitazioni che sono o potranno essere abitate. In questo territorio i residenti sono in frequente contatto con gli inquinanti presenti, l'assunzione di sostanze inquinanti è giornaliera e a lungo termine con possibilità quindi di generare elevati rischi.
- Nello scenario **Commerciale/Industriale** i recettori esposti al maggior rischio di contaminazione sono i lavoratori presenti nel sito, i quali vengono in contatto con la contaminazione con frequenza praticamente giornaliera. Nello svolgimento di attività fisiche impegnative alcune vie di esposizione risulteranno preferenziali per i lavoratori.
- Per **Ricreativo** si intende definire uno scenario in cui i recettori si trovano sul sito per limitati (ma continuativi) periodi di tempo. Tale scenario è caratterizzato dalla presenza di attività (ludiche, sportive, pesca, caccia, ecc.) che i recettori svolgono al di fuori del contesto residenziale o lavorativo. Dal momento che possono essere incluse attività molto differenti tra loro, è necessaria una precisa descrizione sito-specifica al fine di definire i parametri di esposizione che possono avere una certa variabilità.

Valutazione di Scenari Futuri

Da Criteri Metodologici (rev.2):

“In particolare, se le due destinazioni d’uso del sito (attuale e futura) non risultano coincidenti, è opportuno effettuare una Analisi di Rischio per ognuna di esse e quindi selezionare il risultato maggiormente cautelativo in termini di rischio. In generale, non essendo possibile prevedere il tipo di attività associabile in futuro al sito, l’Analisi di Rischio deve essere eseguita rispetto alla situazione attuale, fermo restando che è sempre necessario prevedere la conduzione di una valutazione di rischio integrativa al momento dell’attuazione del cambiamento di destinazione e/o di utilizzo del sito.

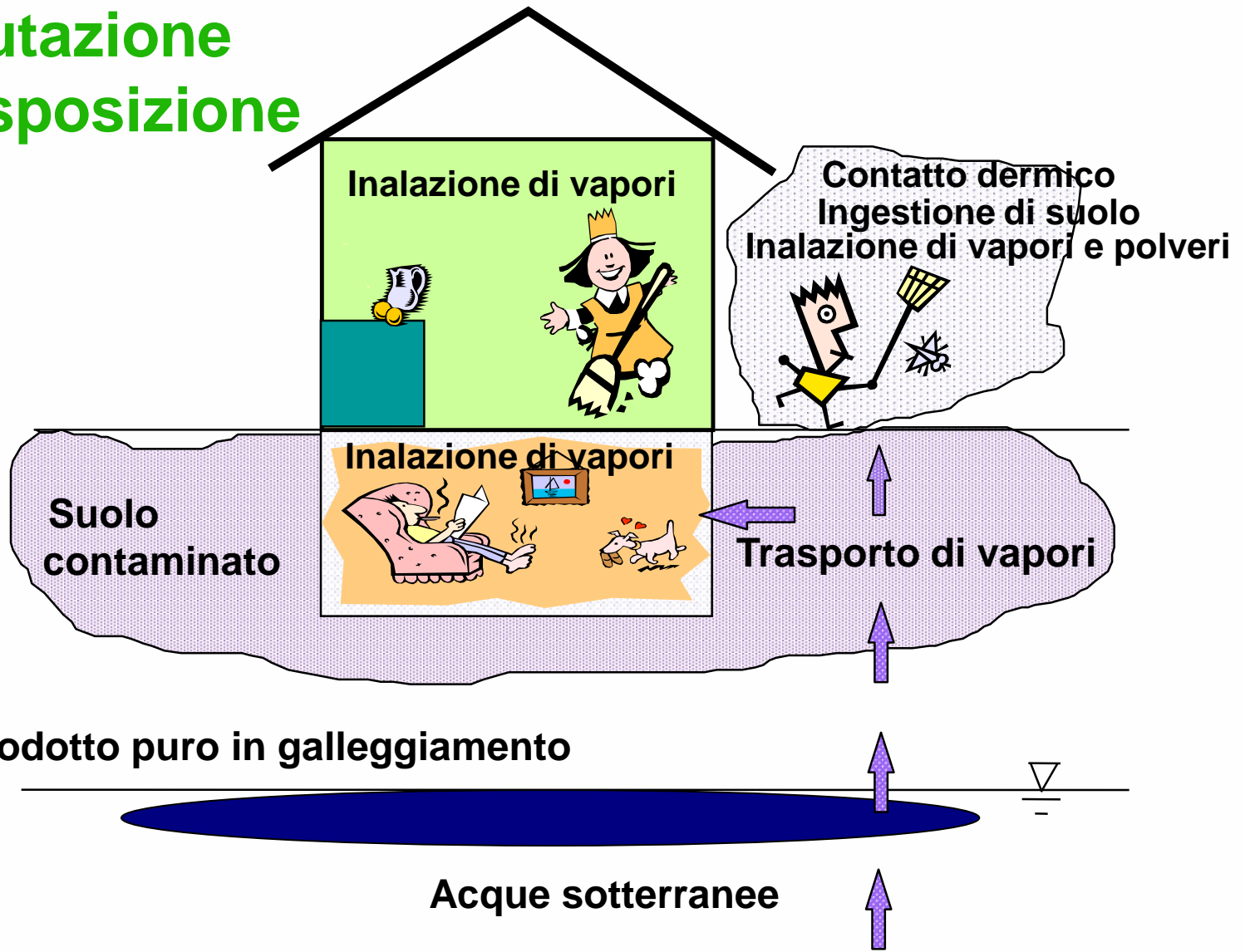
Delle risultanze relative alla/e Analisi di Rischio condotte dovrebbe essere mantenuta traccia negli strumenti di pianificazione urbanistica.”

Casi di modifica del MCS

- **Pavimentazioni:** La validità delle risultanze dell'Analisi di Rischio nel caso di "aree pavimentate" è strettamente connessa alla efficienza/efficacia delle pavimentazioni presenti nell'interrompere i percorsi diretti (ingestione e contatto dermico con il suolo). Tali pavimentazioni dovranno essere oggetto di costante manutenzione e di controlli periodici da parte dell'Ente di Controllo per l'accertamento di eventuali fenomeni visibili di degrado (ad es: fessurazione). Qualora, a seguito di esigenze produttive o urbanistiche, le pavimentazioni vengano rimosse, dovrà essere condotta una nuova AdR che tenga conto dei percorsi di esposizione diretti. Dovrà essere inoltre tenuta traccia all'interno degli strumenti urbanistici delle risultanze dell'AdR effettuata e dell'ubicazione delle pavimentazioni.
- **Modifica uso del sito:** Qualsiasi realizzazione edilizia e/o modifica di destinazione d'uso effettuata all'interno dell'area oggetto dell'intervento dovrà contenere una revisione dell'Analisi di Rischio sito-specifica che consenta di stimare il rischio sanitario ed ambientale associato a tutte le vie di esposizione attivate e/o attivabili. Sulla base delle risultanze di tali analisi saranno eventualmente prescritte, in sede di rilascio delle autorizzazioni richieste, le opportune limitazioni d'uso.

L'AdR rappresenta una "fotografia" del sito nelle condizioni attuali (quelle corrispondenti ai dati di caratterizzazione utilizzati), pertanto qualsiasi modifica di uno degli elementi del MCS (sorgenti, percorsi, bersagli) implica la riformulazione dell'Analisi di Rischio stessa.

Valutazione dell'Esposizione



Definizione di Esposizione

- Definizione:** L'Esposizione rappresenta la **dose** (massa per unità di peso corporeo) **giornaliera di contaminante** che entra in contatto con il recettore esposto alla contaminazione **nell'arco dell'intero periodo di esposizione**

E = CDI (Cronic Daily Intake)

- Unità di misura:** $[mg_{\text{contaminante}} / (Kg_{\text{peso corporeo}} * \text{giorno})]$

effetti cronici

$$E = \frac{C' \cdot CR' \cdot EF' \cdot ED}{BW' \cdot AT}$$

Concentrazione al punto di esposizione (POE)

Portata effettiva di esposizione (EM)

Principio di cautela: RME

Reasonable Maximum Exposure (RME)

massima esposizione ragionevolmente possibile:

- tiene conto delle incertezze nella stima dell'esposizione a lungo termine
- tiene conto della disponibilità, delle incertezze e variabilità dei dati
- anche la stima delle concentrazioni rappresentative segue il principio RME

Approccio RME  **E = MDI (Maximum Daily Intake)**

Concentrazioni nei Punti di Esposizione

Per stimare l'esposizione occorre conoscere (tramite misure dirette o stime attraverso applicazione di modelli) la concentrazione dei contaminati nel punto di esposizione/contatto (POE):

- Stima della concentrazione di inquinante per la valutazione ragionevolmente conservativa del livello di esposizione di un recettore, per ogni punto e mezzo di esposizione nel periodo di esposizione calcolato/assegnato
- Si usano modelli di 'Fate and Transport' per stimare la concentrazione dell'inquinante nel punto di esposizione qualora non sia direttamente misurabile e per stimare le concentrazioni attese dell'inquinante nello spazio e nel tempo

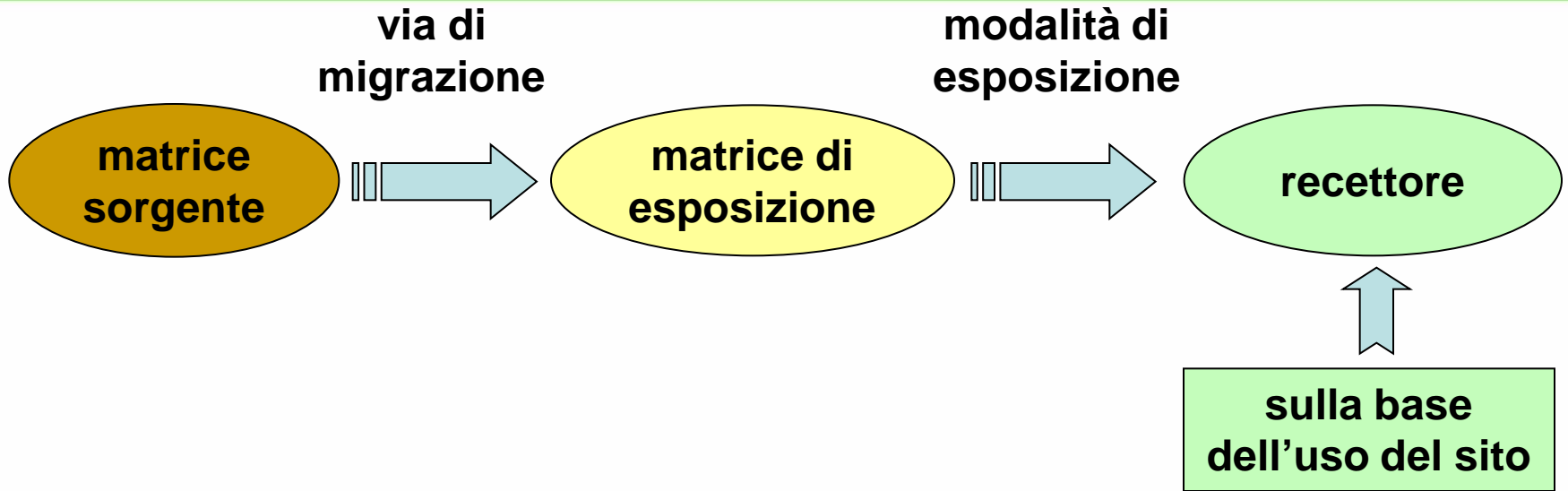
**Stima della Concentrazione
rappresentativa alla
sorgente (C_{sorgente})**



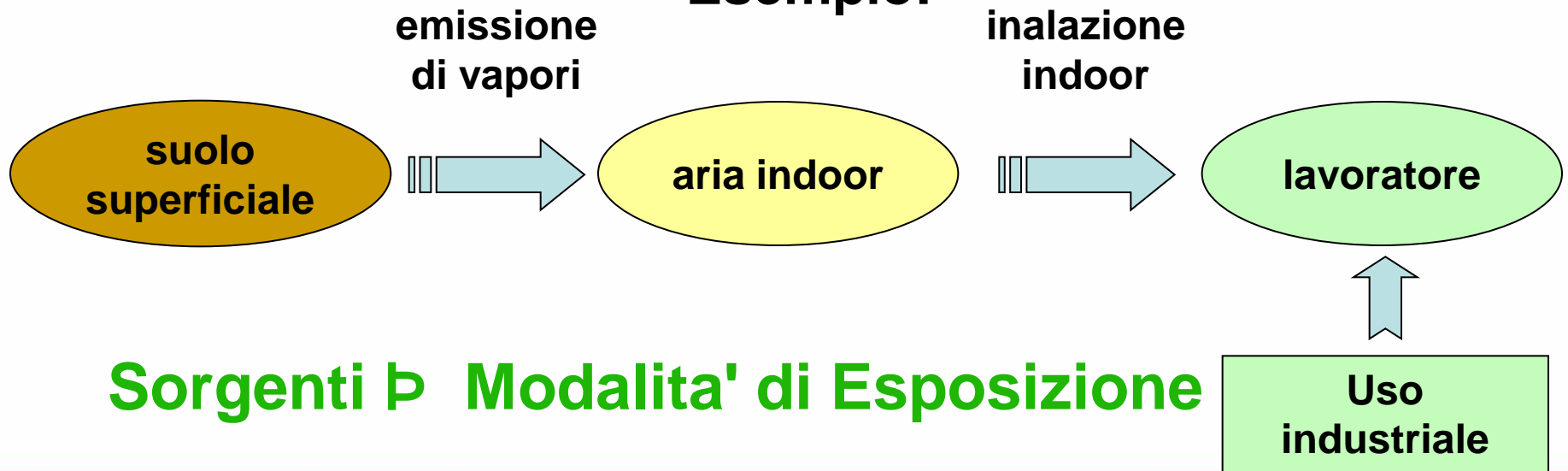
**Stima della Concentrazione
rappresentativa al POE
(C_{POE})**

Stima della Concentrazione al POE - Percorsi

- Percorsi diretti: il recettore è direttamente a contatto con la sorgente di contaminazione ($C_{POE} = C_{sorgente}$):
 - Ingestione di suolo
 - Contatto dermico con il suolo
- Percorsi indiretti: il recettore non è direttamente a contatto con la sorgente di contaminazione:
 - Inalazione di vapori e polveri in ambienti chiusi e aperti (trasporto da suolo e falda ad aria)
 - *Consumo di acqua di falda contaminata (trasporto da suolo a falda)*
 - *Uso di acque superficiali contaminate (trasporto da falda ad acque superficiali)*
 - *Consumo di vegetali coltivati su suoli contaminati (trasporto da suolo a vegetali)*
- Nel caso di percorsi indiretti la stima della concentrazione al punto di esposizione può essere effettuata attraverso:
 - Misure dirette di concentrazione (es.in aria outdoor o indoor)
 - Stime ottenute mediante l'utilizzo di modelli di F&T



Esempio:



Sorgenti ➤ Modalità di Esposizione

Modelli di destino e trasporto (F&T models)

Le vie di migrazione sono rappresentate dai meccanismi attraverso cui il contaminante si trasferisce dal comparto ambientale sorgente al comparto ambientale ove ha luogo l'esposizione (POE)

- In generale, le principali vie di migrazione sono:
 - Emissione di particolato da suolo superficiale contaminato (outdoor)
 - Volatilizzazione dal terreno contaminato superficiale (outdoor)
 - Volatilizzazione dal terreno contaminato profondo in ambienti aperti (outdoor)
 - Volatilizzazione dal terreno contaminato profondo in ambienti confinati (indoor)
 - Volatilizzazione dall'acquifero superficiale contaminato in ambienti aperti (outdoor)
 - Volatilizzazione dall'acquifero superficiale in ambienti confinati (indoor)
 - Lisciviazione e trasporto in falda
 - Presenza di prodotto libero in falda (LNAPL)

Portata effettiva di Esposizione (EM)

$$EM = \frac{CR' \cdot EF' \cdot ED}{BW' \cdot AT}$$

Parametri di Esposizione

- **CR = Tasso di contatto** ρ *Quantità di matrice ambientale che entra in contatto con il recettore (es. [g/giorno] di suolo ingeriti, [m³/giorno] di aria inalata);*
- **EF = Frequenza di esposizione** [giorni/anno] ρ *Numero di giorni all'anno in cui il recettore è esposto alla contaminazione*
- **BW = Peso corporeo del recettore** [Kg]
- **ED = Durata di esposizione** [anni] ρ *Numero di anni in cui si stima il recettore sia esposto alla contaminazione*
- **AT = Tempo di mediazione** [giorni] ρ *Periodo in cui viene mediata l'esposizione*

ü AT = ED

ρ sostanze tossiche

ü AT = Durata della vita

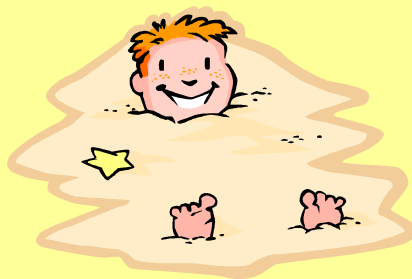
ρ sostanze cancerogene

Modalita' di Esposizione

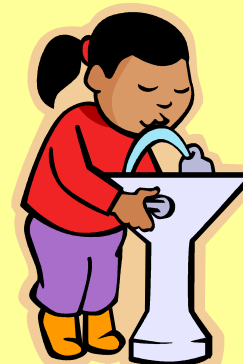
- **Ingestione di suolo**



- **Contatto dermico con il suolo**



- **Ingestione di acqua potabile**



ESPOSIZIONE

- **Inalazione aria outdoor**
- **Inalazione aria indoor**



- **Ingestione accidentale di acqua superficiale (nuotando)**
- **Contatto dermico con acqua superficiale (nuotando)**



FATTORI DI ESPOSIZIONE (EF)	Simbolo	Unità di Misura	Residenziale		Ricreativo		Com/Ind
			Adulto	Bambino	Adulto	Bambino	Adulto
Fattori comuni a tutte le modalità di esposizione							
Peso corporeo	BW	kg	70	15	70	15	70
Tempo medio di esposizione per le sostanze cancerogene	ATc	anni	70	70	70	70	70
Tempo medio di esposizione per le sostanze non cancerogene	ATn	anni	ED	ED	ED	ED	ED
Inalazione di Aria Outdoor (AO)							
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350	350	250
Frequenza giornaliera di esposizione outdoor	EFgo	ore/giorno	24	24	3	3	8
Inalazione outdoor	Bo	m ³ /ora	0,9 (a)	0,7 (a)	3,2	1,9	2,5 (b)
Frazione di particelle di suolo nella polvere	Fsd	adim.	1	1	1	1	1
Inalazione di Aria Indoor (AI)							
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	---	---	25
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	---	---	250
Frequenza giornaliera di esposizione indoor	EFgi	ore/giorno	24	24	---	---	8
Inalazione indoor	Bi	m ³ /ora	0,9	0,7	---	---	0,9 (b)
Frazione indoor di polvere	Fi	adim.	1	1	---	---	1
Contatto dermico con Suolo (SS)							
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350	350	250
Superficie di pelle esposta	SA	cm ²	5700	2800	5700	2800	3300
Fattore di aderenza dermica del suolo	AF	mg/(cm ² giorno)	0,07	0,2	0,07	0,2	0,2
Ingestione di Suolo (SS)							
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350	350	250
Frazione di suolo ingerita	FI	adim.	1	1	1	1	1
Tasso di ingestione di suolo	IR	mg/giorno	100	200	100	200	50

(a) In caso di intensa attività fisica, in ambienti residenziali outdoor, si consiglia l'utilizzo di un valore maggiormente conservativo, pari a 1,5 m³/ora per gli adulti, e di 1,0 m³/ora per i bambini.

(b) Il tasso di inalazione pari a 2,5 m³/ora è da utilizzare nel caso di dura attività fisica; mentre, nel caso di attività moderata e sedentaria è più opportuno utilizzare un valore rispettivamente pari a 1,5 e 0,9 m³/ora.

Parametri di esposizione (APAT, 2008)