

GIT – Geology and Information Technology

I Riunione del Gruppo di Geologia Informatica Sezione della Società Geologica Italiana

GEOSTATISTICA: COMPrensIONE DEI PROCESSI ED INCERTEZZA SPAZIALE



San Leo (PU), 31 maggio – 1 giugno 2006

- ❑ **STUDIO ESPLORATIVO DEI DATI**
- ❑ **OLTRE IL KRIGING: INCERTEZZA SPAZIALE**
- ❑ **INFORMAZIONE SECONDARIA E CODIFICA DELLE INFORMAZIONI**
- ❑ **INFORMAZIONE DI TIPO ESPERTO**

Sebastiano Trevisani – Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

Incerteza spaziale: tra eterogeneità e frammentarietà

Il problema di base:

Ricostruire entro un dato dominio dimensionale la distribuzione spaziale (spazio-temporale) completa di una determinata proprietà (o entità) fisico-chimica

Compito difficile:

- 1) Eterogeneità caratterizzante la distribuzione spaziale
- 2) Informazione disponibile frammentaria ed eterogenea

Incerteza spaziale:

Più scenari sono compatibili con le informazioni disponibili

Quantificazione e gestione dell'incerteza:

- 1) Tale compito non può prescindere da un'analisi attenta e multidisciplinare dei fenomeni analizzati
- 2) Uso integrato di diverse tipologie di informazione

Il punto di vista geostatistico

Molto spesso, la distribuzione spaziale della proprietà studiata presenta una qualche “struttura” (in particolare la continuità spaziale)

Concettualizzando la distribuzione spaziale della proprietà studiata come risultato di un processo stocastico possiamo utilizzare ciò che vi è di strutturato nei dati per quantificare e gestire l'incertezza spaziale: ovvero si può estendere l'informazione spazialmente

“INFORMAZIONI DI TIPO ESPERTO”



**ANALISI ESPLORATIVA DEI DATI
STUDIO DELLA CONTINUITÀ
SPAZIALE**

**SCELTE OPERATIVE E
APPLICABILITÀ DELLE IPOTESI**

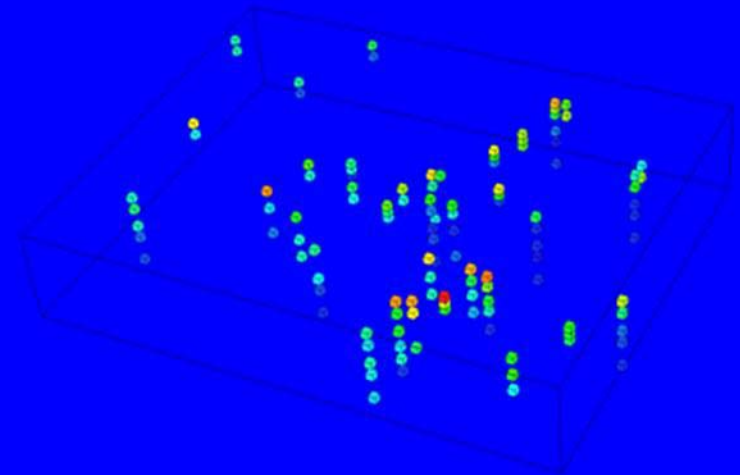
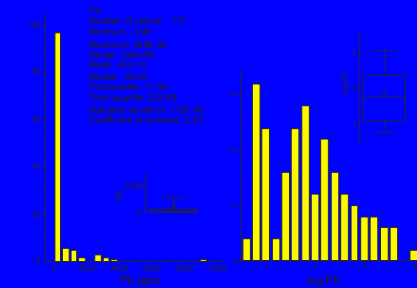
INFERENZA

**QUANTIFICAZIONE E GESTIONE
DELL'INCERTEZZA**

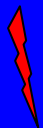
Analisi esplorativa dei dati

Analisi esplorativa:

- reports statistici (boxplots,istogrammi, misure centralità e dispersione, scatterplot ecc...)
- Analisi della geometria di campionamento (statistiche dei dati vicini, visualizzazione densità di campionamento)
- Mappe a classi di valori
- Analisi con finestre mobili
- Relazioni tra distribuzione spaziale dei dati ed altri "tematismi cartografici"
- Studio della continuità (nuvola del variogramma, variogrammi ed altri indici di continuità sperimentali, analisi del trend)



Anche le conoscenze sulle metodologie di acquisizione dati possono essere incluse nell'insieme delle conoscenze esperte

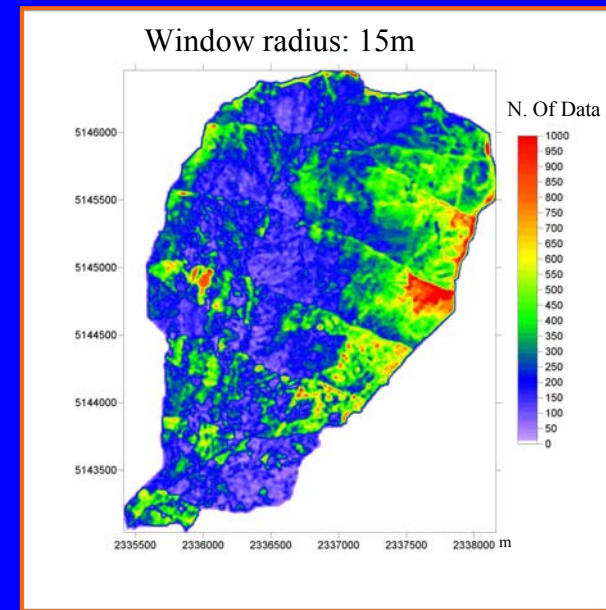
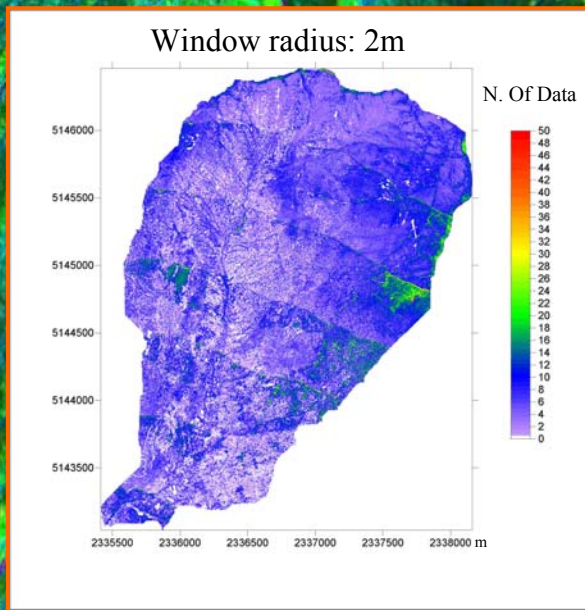
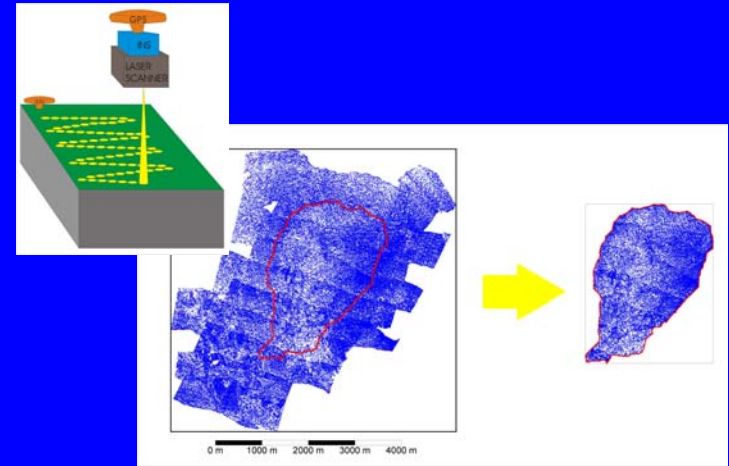


Le maggiori interazioni tra conoscenze esperte e dati avvengono qui

Analisi esplorativa dei dati

Analyze data spacing spatially
(moving windows statistics)

- To choose the correct search radius during interpolation
- To detect area of poor coverage
- To detect possible artifacts



Oltre il kriging: incertezza spaziale

BLUE: best linear unbiased estimator

$$Z^*(\mathbf{u}) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} Z(\mathbf{u}_{\alpha}) \quad \text{con} \quad \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} f_k(\mathbf{u}_{\alpha}) = f_k(\mathbf{u}) \quad k = 0, \dots, K$$

$$m(\mathbf{u}') = \sum_{k=0}^K \mathbf{a}_k(\mathbf{u}') f_k(\mathbf{u}') \quad \text{con} \quad \mathbf{a}_k(\mathbf{u}') \approx \mathbf{a}_k \quad \forall \mathbf{u}' \in \mathbf{W}(\mathbf{u})$$

$$\begin{aligned} \text{Var}\left\{\sum_{\alpha=0}^n \lambda_{\alpha} Z(\mathbf{u}_{\alpha})\right\} &= \text{Var}\left\{\sum_{\alpha=0}^n \lambda_{\alpha} R(\mathbf{u}_{\alpha})\right\} = \sum_{\alpha=0}^n \sum_{\beta=0}^n \lambda_{\alpha} \lambda_{\beta} C_R(\mathbf{u}_{\alpha} - \mathbf{u}_{\beta}) = \\ &= \sum_{\alpha=0}^n \sum_{\beta=0}^n \lambda_{\alpha} \lambda_{\beta} K(\mathbf{u}_{\alpha} - \mathbf{u}_{\beta}) \quad \text{sotto la condizione che:} \quad \sum_{\alpha=0}^n \lambda_{\alpha} f_k(\mathbf{u}_{\alpha}) = 0 \quad \text{con } k = 0, \dots, K \end{aligned}$$

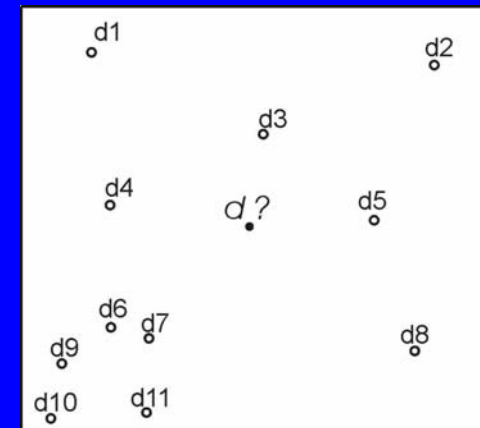
$$\begin{cases} \sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta} K(\mathbf{u}_{\alpha} - \mathbf{u}_{\beta}) + \sum_{k=0}^K \mu_k(\mathbf{u}) f_k(\mathbf{u}_{\alpha}) = K(\mathbf{u}_{\alpha} - \mathbf{u}) \\ \sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta} f_k(\mathbf{u}_{\beta}) = f_k(\mathbf{u}) \quad k = 0, \dots, K \end{cases} \quad \alpha = 1, \dots, n$$

$$\sigma^2(\mathbf{u}) = K(0) - \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} K(\mathbf{u}_{\alpha} - \mathbf{u}) - \sum_{k=0}^K \mu_k(\mathbf{u}) f_k(\mathbf{u})$$

$$Z^*(\mathbf{u}) = \sum_{\alpha=1}^n d_{\alpha} \sum_{l=0}^L C_l(\mathbf{u}_{\alpha} - \mathbf{u}) + m^*(\mathbf{u})$$

Criterio di pesatura:

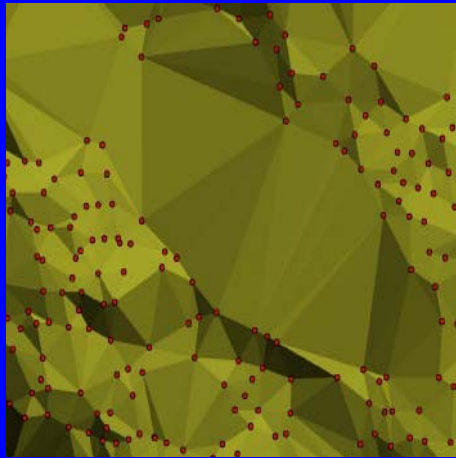
- Distanza statistica
- Clustering



Alcuni optional:

- Varianza di stima
- Cambio di supporto
- Kriging fattoriale, filtraggi

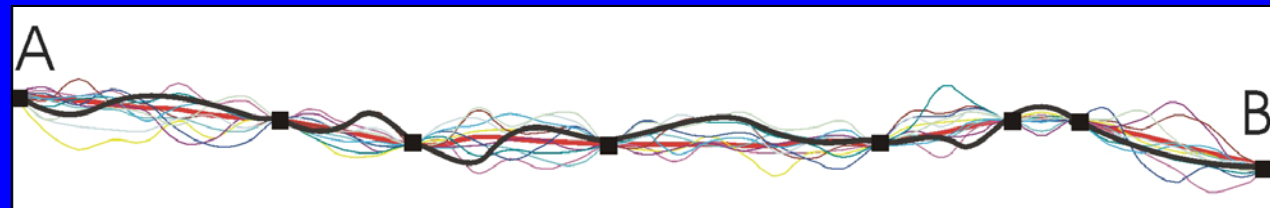
Oltre il kriging: incertezza spaziale



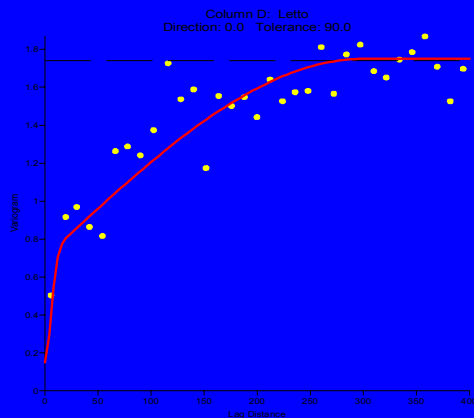
EFFETTO SMOOTHING NON OMOGENEO

**IMPOSSIBILITA' DI VALUTARE P.D.F O C.D.F
CONDIZIONATE CONGIUNTE**

**IMPOSSIBILITÀ DI ANALIZZARE L'INCERTEZZA
SPAZIALE IN SENSO STRETTO**



**INFERENZA DEI
PARAMETRI DEL
MODELLO STOCASTICO**



**UTILIZZO DEL
MODELLO
STOCASTICO**



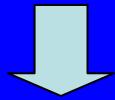
**P.D.F CONDIZIONATE
LOCALI**

**P.D.F CONDIZIONATE
CONGIUNTE**

**FUNZIONI DI
TRASFERIMENTO,
ANALISI DEGLI
SCENARI**

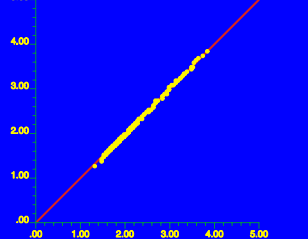
Oltre il kriging: incertezza spaziale

LA GENERAZIONE DELLE
SIMULAZIONI E' POSTA COME UN
PROBLEMA DI OTTIMIZZAZIONE

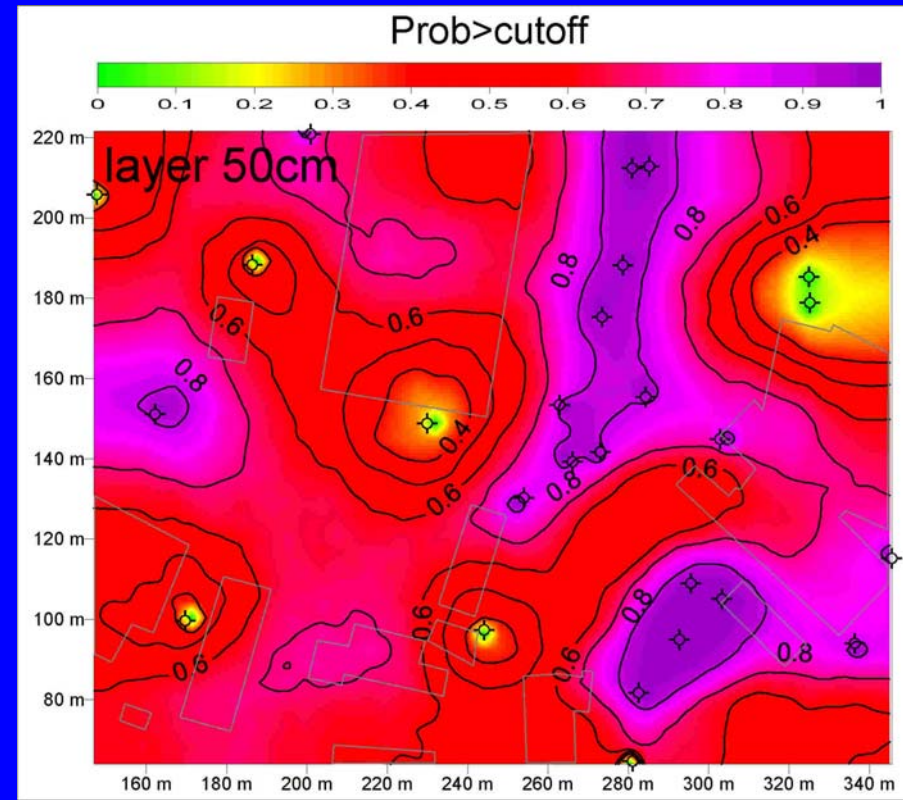
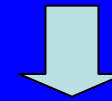
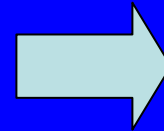
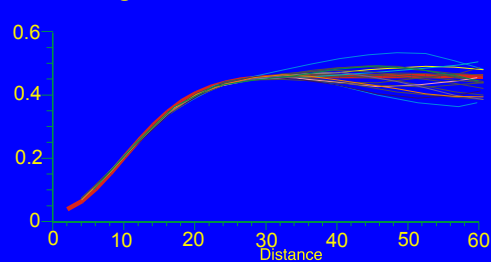


COMPONENTI DELLA
FUNZIONE OBIETTIVO:
- VARIOGRAMMA
- VARIOGRAMMI INDICATIVI
- MODELLO DI
DISTRIBUZIONE

Valori simulati vs modello

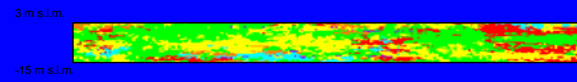
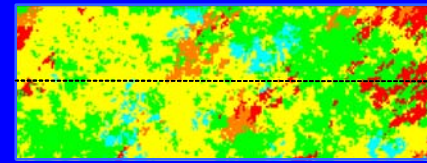
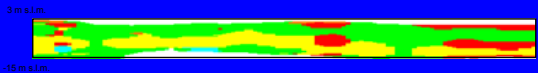
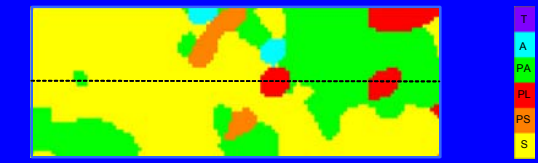
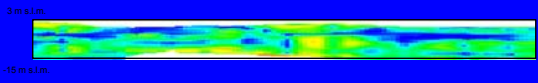
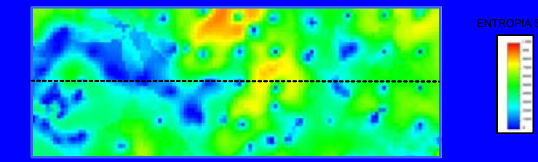
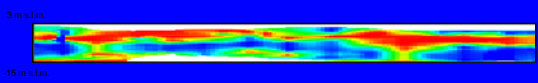
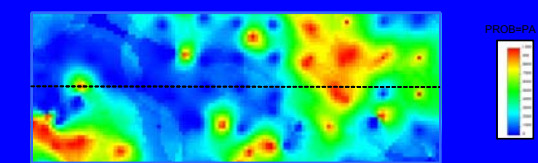
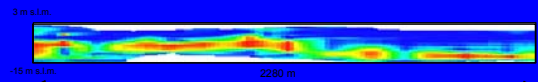
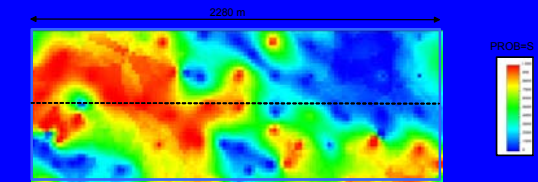
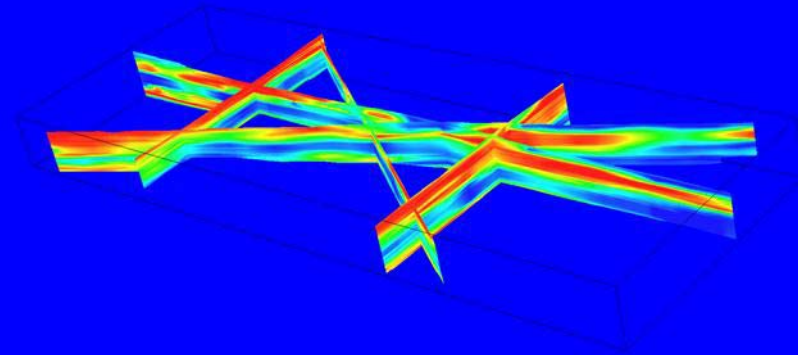


Variogrammi simulati vs modello

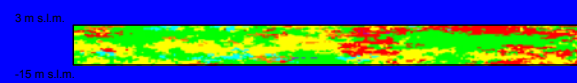
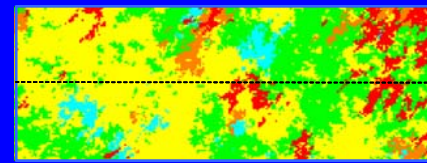


Possibile calcolo di c.d.f condizionate congiunte per parcelle di interesse

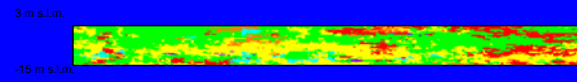
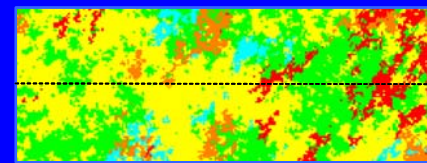
Oltre il kriging: incertezza spaziale



SIS 1



SIS 2



SIS 3



$$Z(\mathbf{u}) = R(\mathbf{u}) + m(\mathbf{u})$$

Il dualismo trend (deterministico) residuo (aleatorio) permette di utilizzare l'informazione secondaria seguendo due strade:

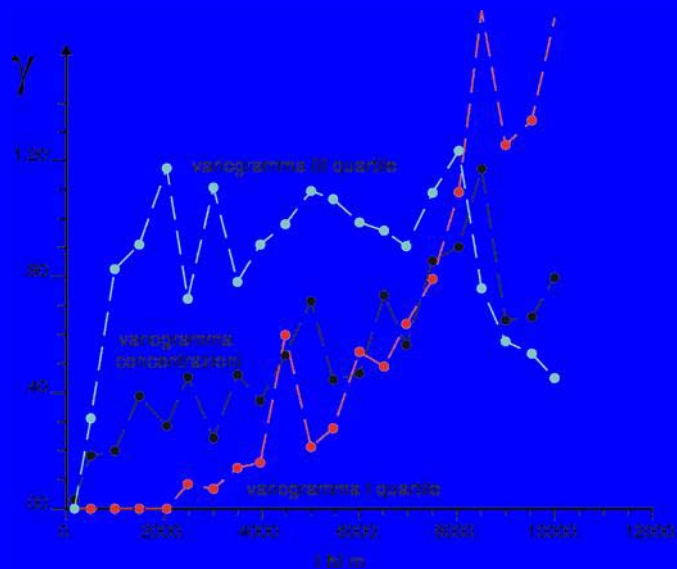
- sfruttando la cross-correlazione spaziale esistente tra la componente aleatoria della proprietà di interesse (variabile primaria) e le variabili secondarie: cokriging e forme semplificate
 - utilizzando l'informazione secondaria per costruire un modello di deriva: kriging con external drift e kriging con medie locali a priori

Utilizzo dell'informazione secondaria e codifica delle informazioni

V.A. INDICATRICE

$$I(\mathbf{u}; s_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } S(\mathbf{u}) = s_k \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad k=1, \dots, K$$

$$I(\mathbf{u}; z) = \begin{cases} 1 & \text{se } Z(\mathbf{u}) \leq z \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad \forall z$$



FUZZY.....

CODIFICA INDICATRICE

$$E\{I(\mathbf{u}; s_k)\} = \text{Prob}\{S(\mathbf{u})=s_k\}=i(\mathbf{u};s_k)$$

$$E\{I(\mathbf{u}; z)\} = \text{Prob}\{Z(\mathbf{u}) \leq z\}=F(\mathbf{u}; z)=i(\mathbf{u};z)$$

LA CODIFICA INDICATRICE DELLE INFORMAZIONI PERMETTE INTERESSANTI APPLICAZIONI (MA ATTENZIONE ALLA NON CONVESSITÀ):

- UTILIZZO DELL'INFORMAZIONE SOFT
- TRATTAMENTO DATI DI TIPO CATEGORIALE
- VALUTAZIONE DEL MODELLO DI INCERTEZZA LOCALE SECONDO METODI NON PARAMETRICI (IK)

Informazione di tipo esperto

- ❑ SCELTA DEI DOMINI SPAZIOTEMPORALI
- ❑ SCELTE NELLA CODIFICA DELLE INFORMAZIONI
- ❑ MODELLI DI VARIOGRAMMA
- ❑ TREND
- ❑ ALGORITMI (e loro parametri)

Confronto della distribuzione spazio-temporale della proprietà fisico-chimica di interesse con i processi che intervengono nel fenomeno analizzato: in parte ciò avviene analizzando diversi tematismi cartografici (quindi analisi per mezzo di sistemi informativi geografici)

Informazioni esperte: opportunità e pericoli.....