

GEOSTATISTICA E SERIE TEMPORALI

esempi di trattamento dei dati ambientali



INDICE

Analisi preliminare e grafica dei dati

Esempio: La Cueva del Agua

Analisi di serie temporali

Esempio: La Cueva de las Ventanas

La geostatistica

Esempi: La Cueva del Agua, il Sistema Covadura



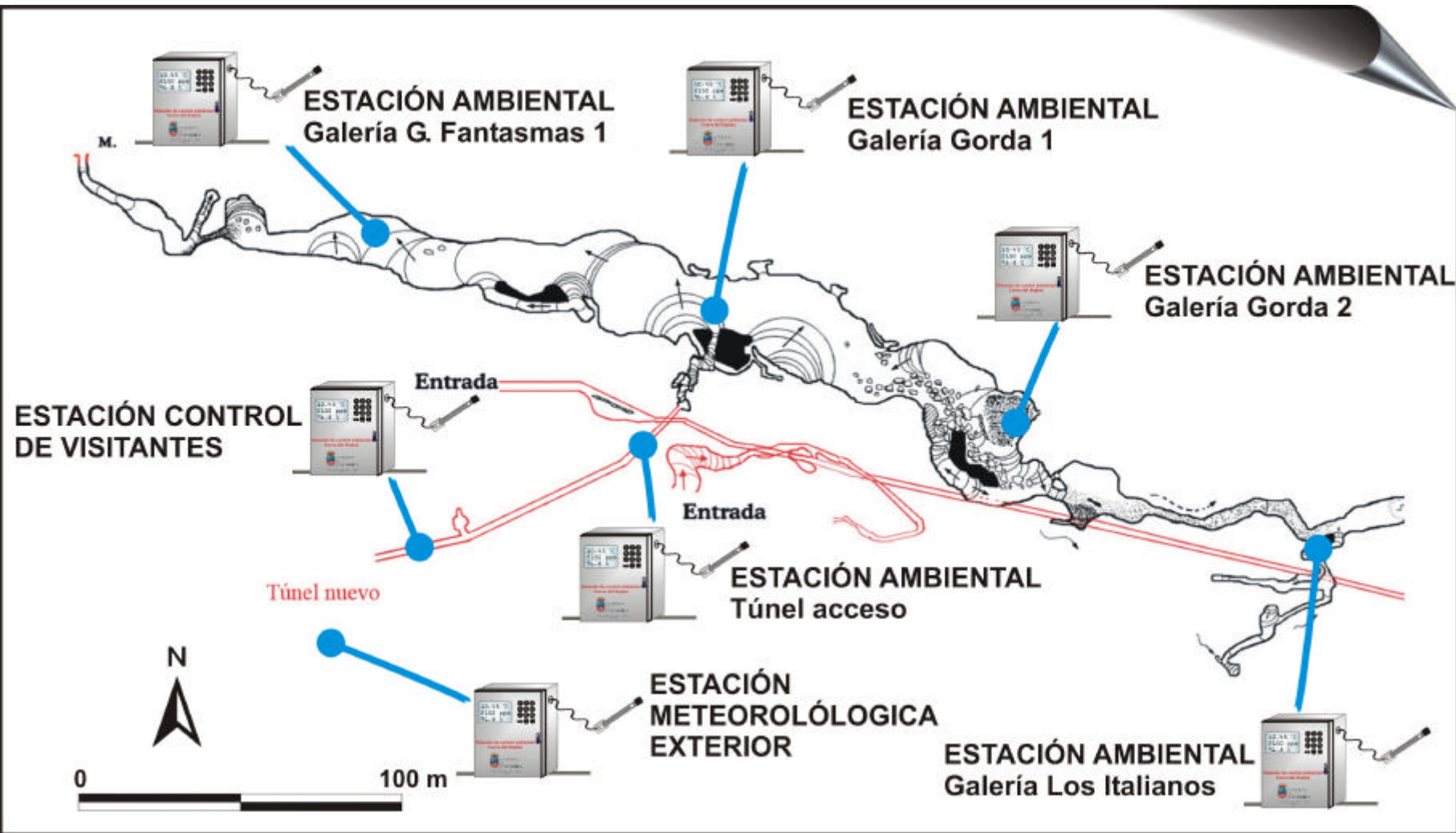
Tecniche statistiche: servono per sintetizzare e valorizzare le informazioni ambientali in modo da renderle utilizzabili dai gestori di grotte e dagli organi di protezione ambientale.



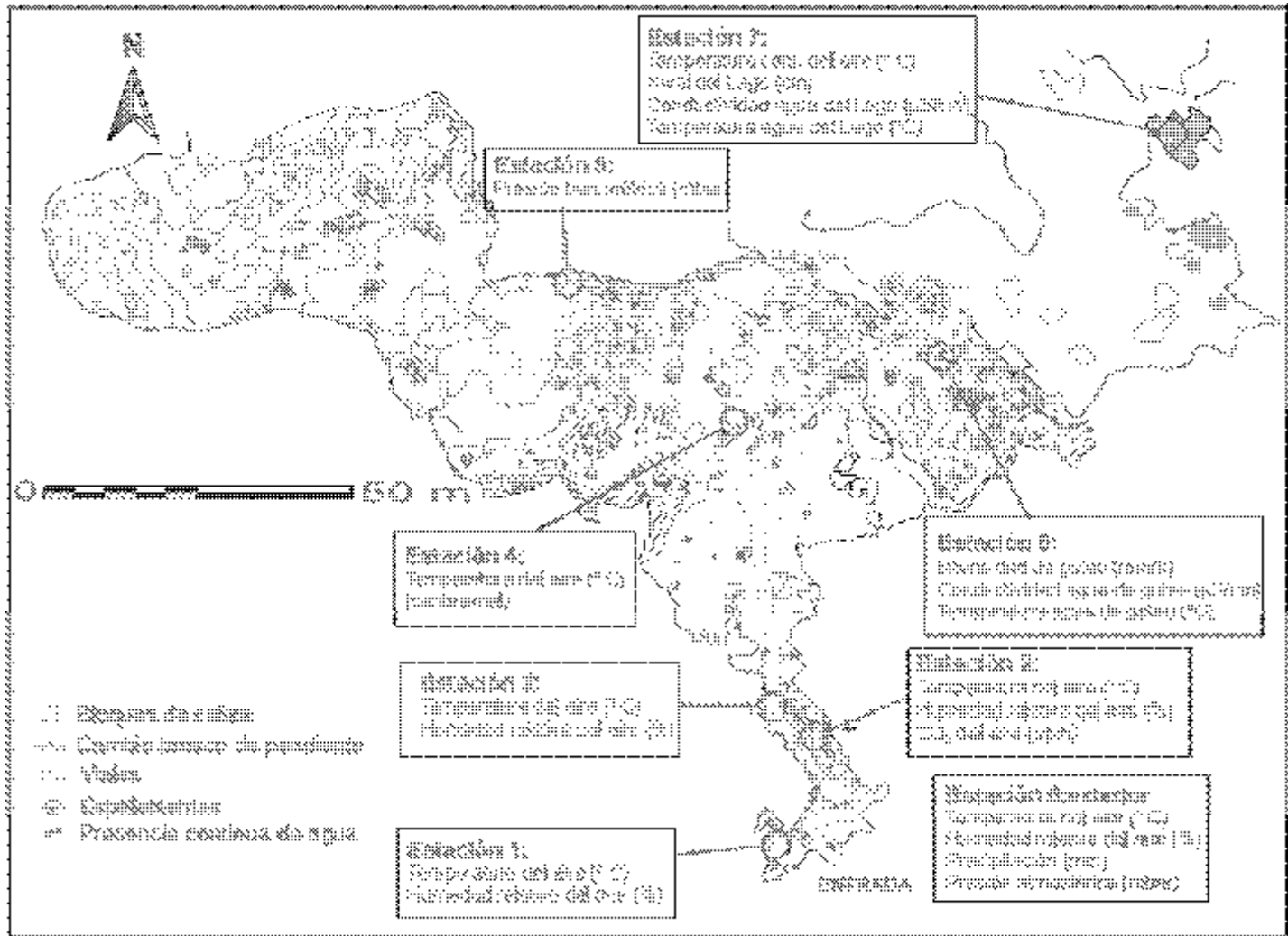
ANALISI PRELIMINARE

- E' il primo passo di qualsiasi analisi di dati.
- “Go beyond the data” ovvero familiarizzare con l'insieme dei dati raccolti.
- Rappresentare le serie di dati attraverso figure e diagrammi anziché analizzarli in formato tabulare.
- Identificare le osservazioni “sospette”.
- Calcolare le funzioni statistiche descrittive come la media, la varianza ecc.: riassumere i dati.
- Dati geografici: controllare la posizione.
- Caratterizzare la funzione di distribuzione ed applicare una trasformazione dei dati in caso non abbiano una distribuzione normale.

RAPPRESENTAZIONE SPAZIALE E ANALISI GRAFICA TEMPORALE



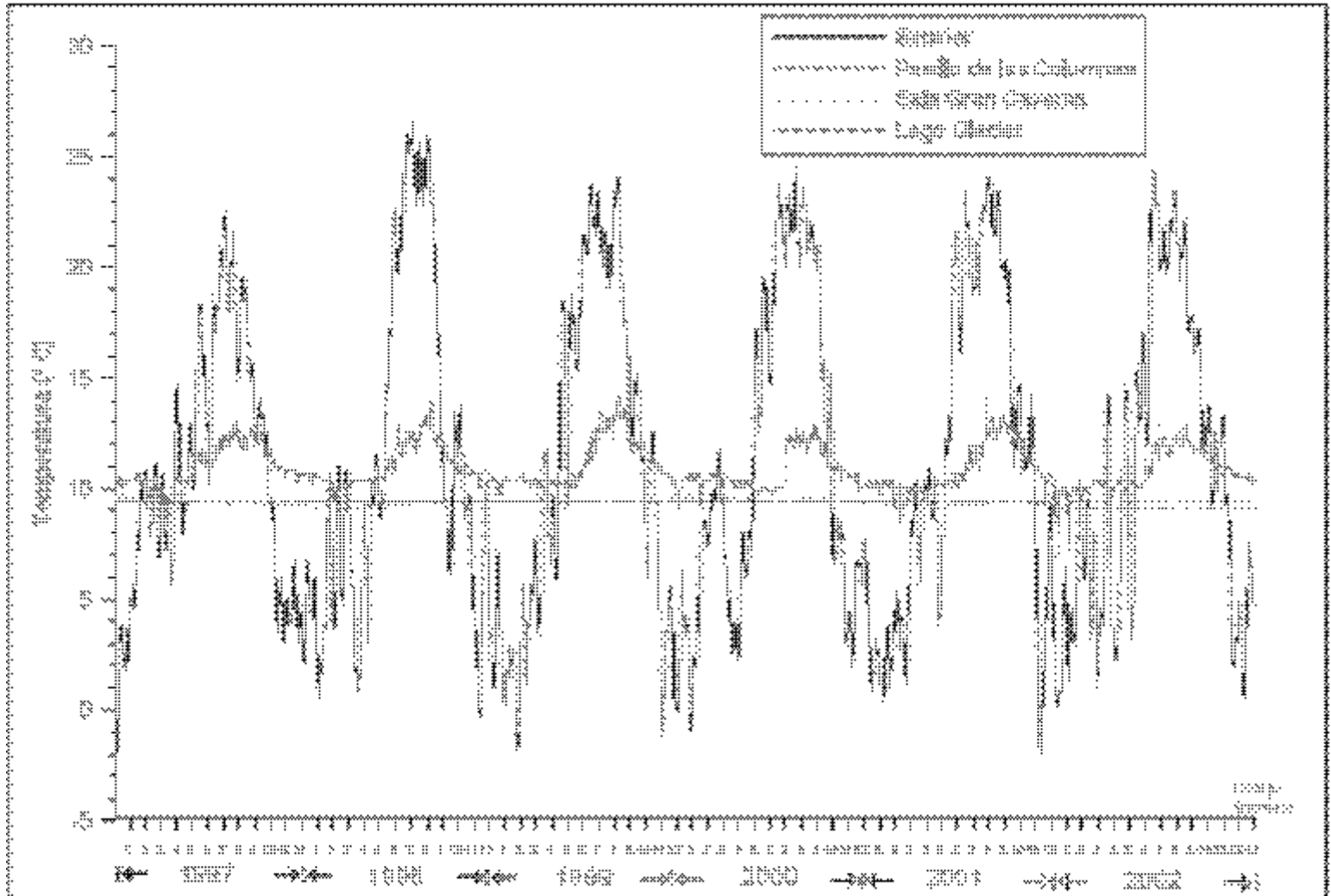
RAPPRESENTAZIONE SPAZIALE E ANALISI GRAFICA TEMPORALE



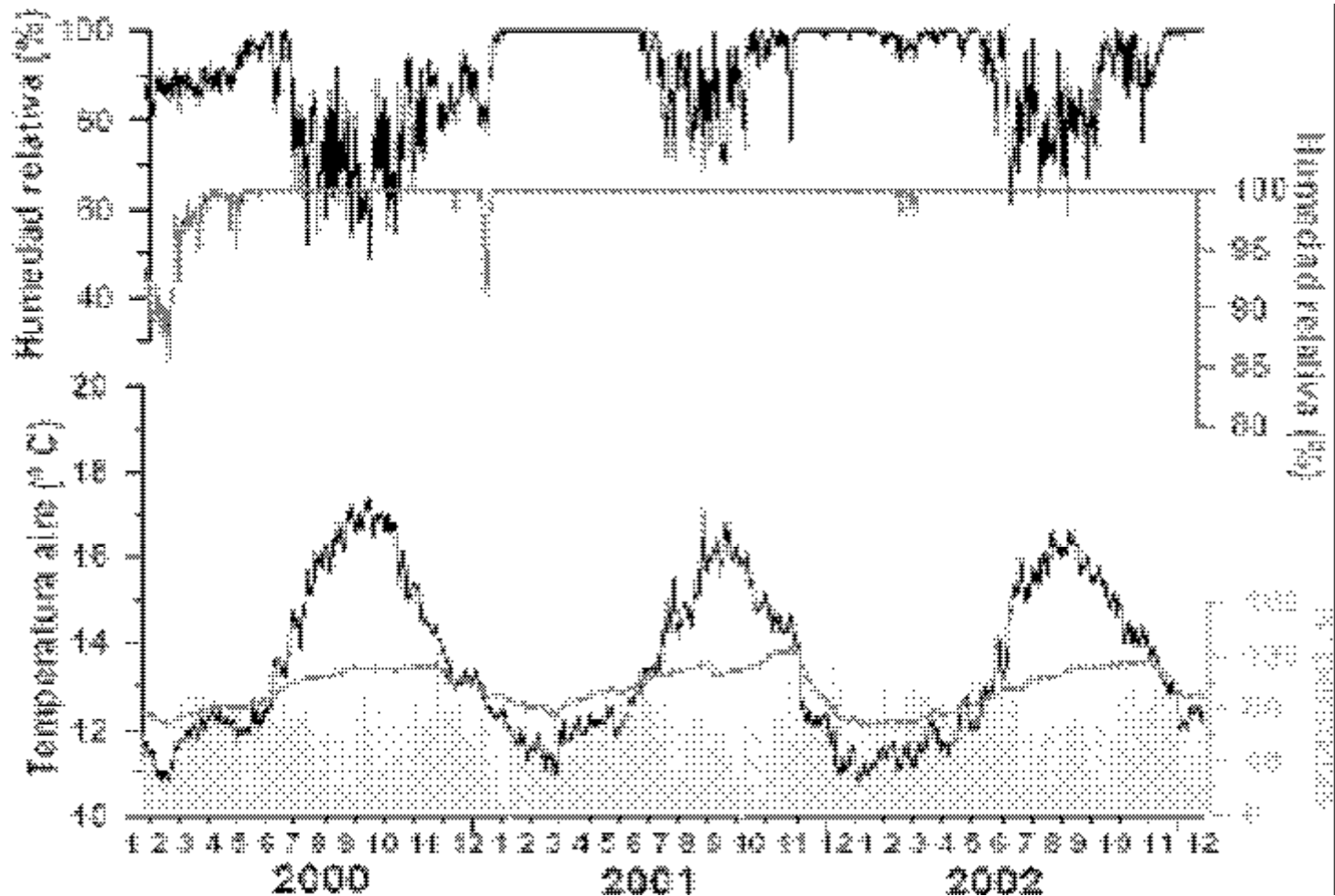
RAPPRESENTAZIONE SPAZIALE E ANALISI GRAFICA TEMPORALE

Variable	Estación	Zona	Años de registro						
			1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Temperatura aire (°C)	0	Exterior							
	1	Entrada							
	2	Pasillo							
	3	Pasillo							
	4	G.Caverna							
	7	L.Glaciár							
Humedad relativa (%)	0	Exterior							
	1	Entrada							
	2	Pasillo							
	3	Pasillo							
Presión (mbar)	0	Exterior							
	5	G.Caverna							
Lluvia (mm)	0	Exterior							
Goteo (m/h)	6	Endriagos							
Temp agua goteo (°C)	6	Endriagos							
C.E. agua goteo (μS/cm)	6	Endriagos							
Nivel Lago (cm)	7	L.Glaciár							
Temp agua Lago (°C)	7	L.Glaciár							
C.E. agua Lago (μS/cm)	7	L.Glaciár							

RAPPRESENTAZIONE SPAZIALE E ANALISI GRAFICA TEMPORALE

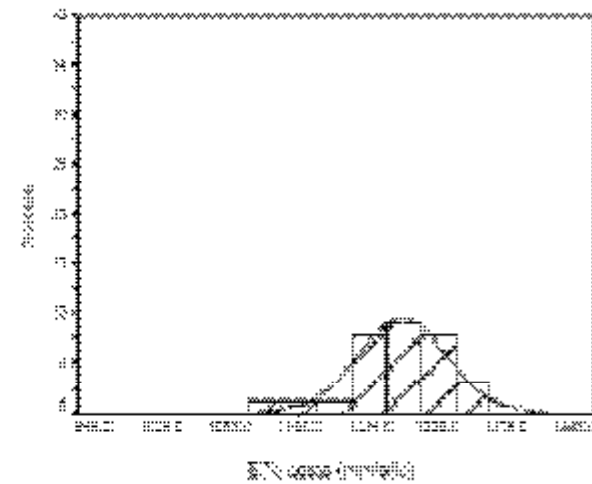
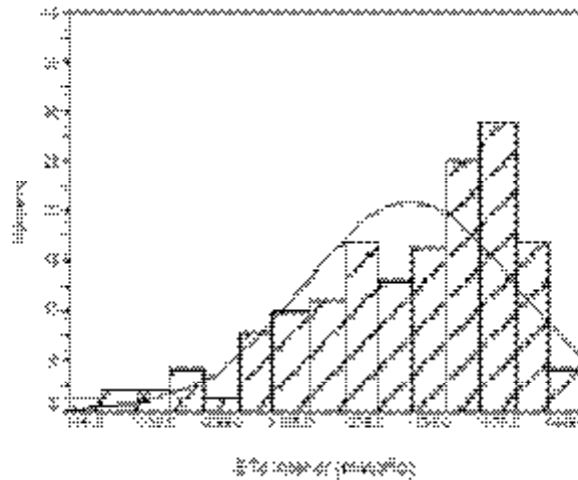
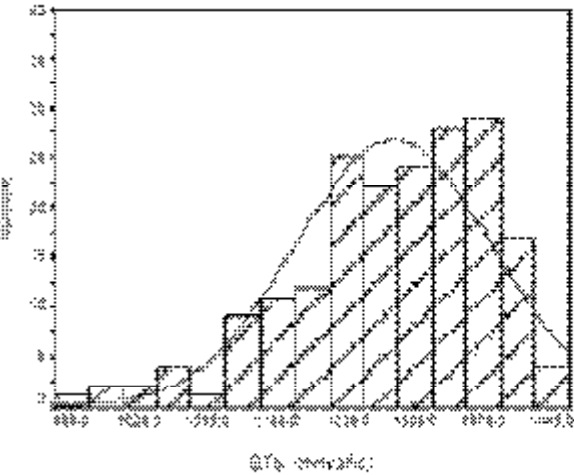


RAPPRESENTAZIONE SPAZIALE E ANALISI GRAFICA TEMPORALE



Come rappresentare la variazione dei dati?

L'ISTOGRAMMA



CHE COSA CAPIAMO DALL'ISTOGRAMMA?

- Possiamo stimare la funzione di densità dei dati.
- Il tipo di distribuzione: normale, logaritmica, ecc.
- Vedere se la distribuzione è modale o multi-modale.
- Rilevare la presenza di valori estremi o outliers.
- Valutare la variabilità del fenomeno.

Fig. 10.1.1.1

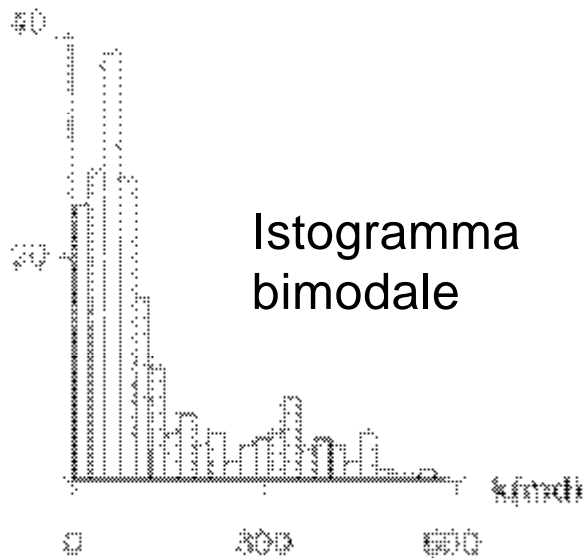
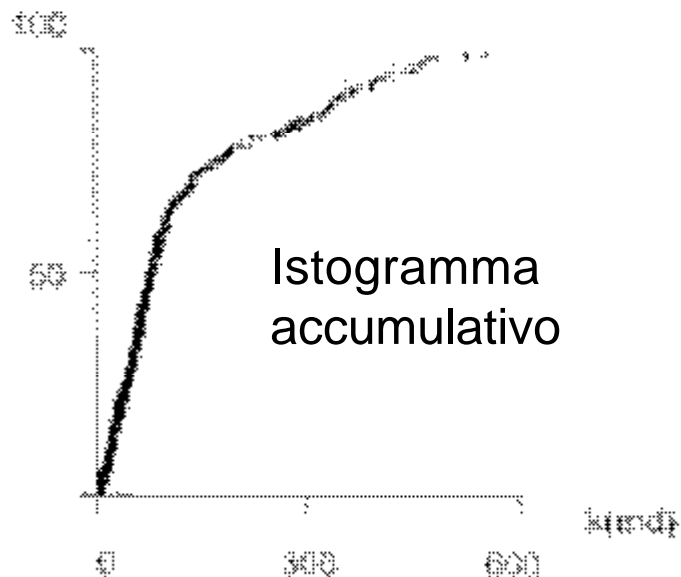
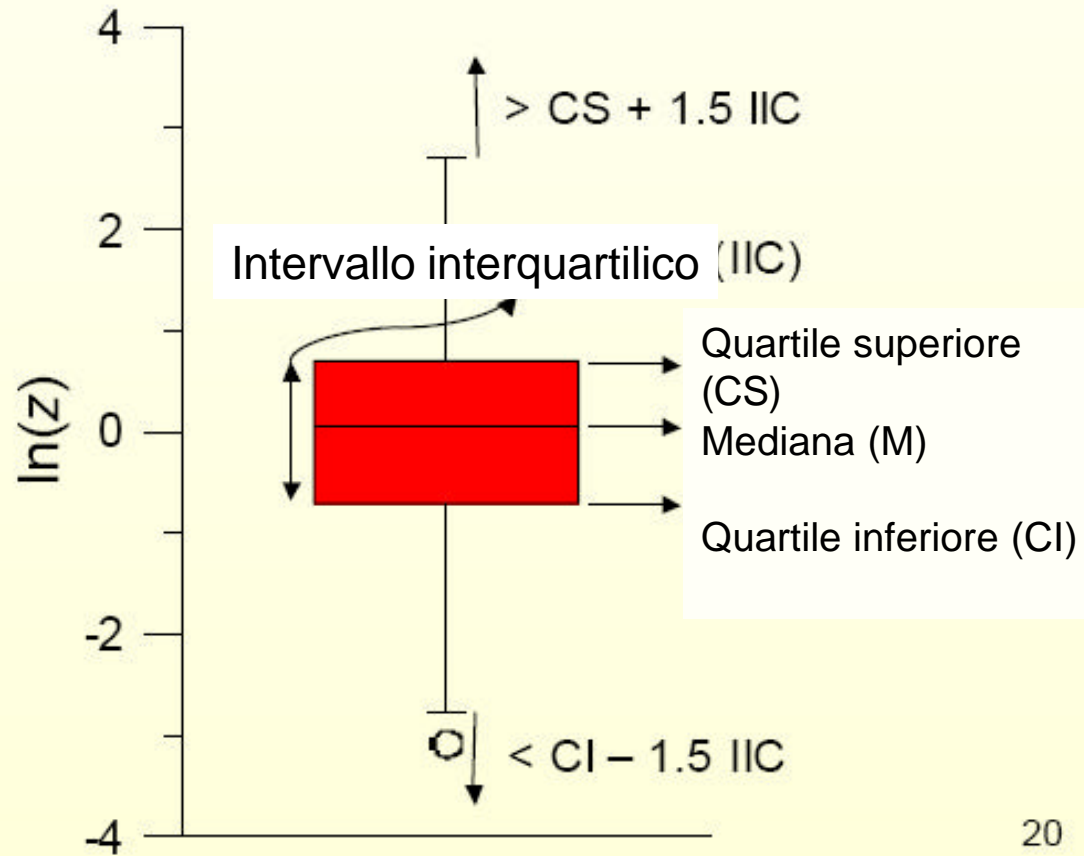
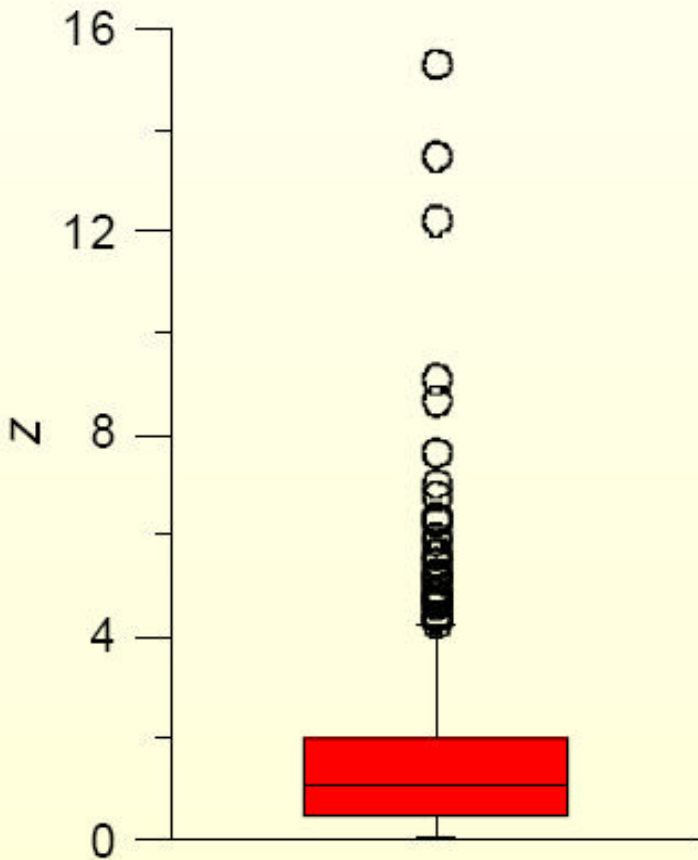


Fig. 10.1.1.2

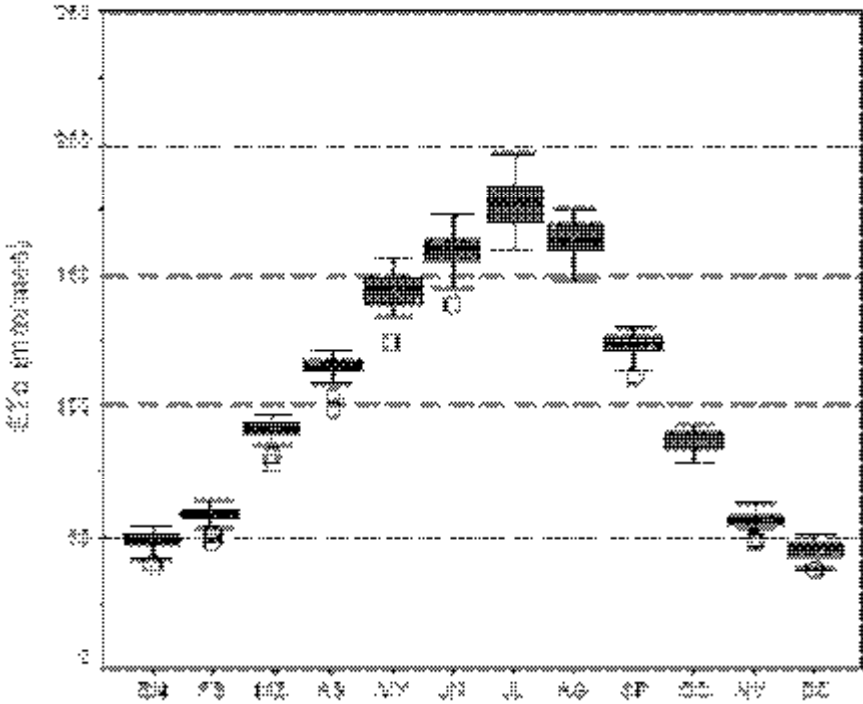
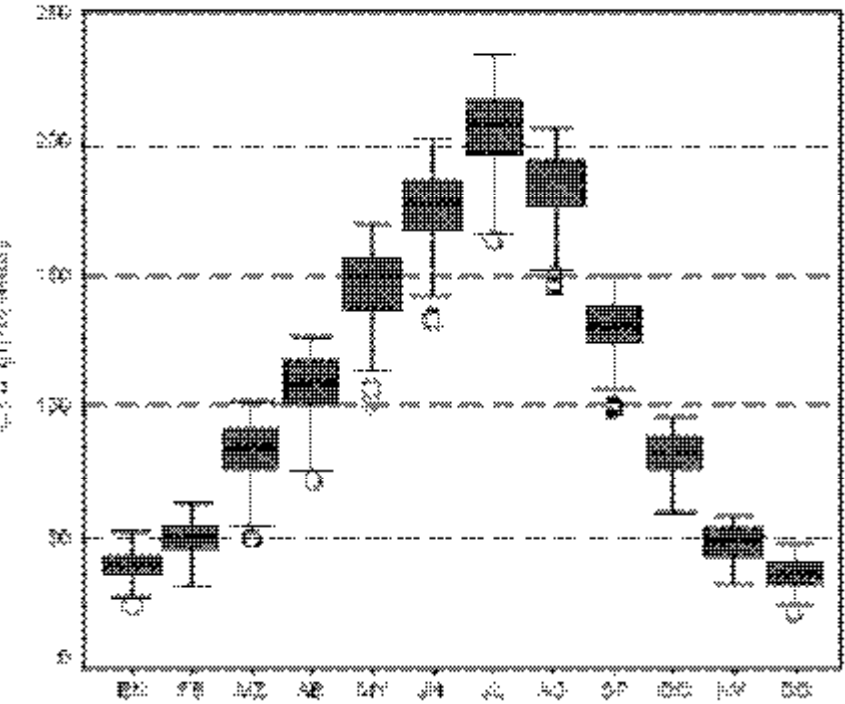


STATISTICA DESCRITTIVA

Diagrammi a “scatole e baffi” (“Box & Whisker plots”)



Esempio di comparazione di questo tipo di dati nel tempo:
 evaporazione misurata nell'arco di un anno in una stazione continentale confrontata con
 quella misurata in una stazione costiera.
 Si vede immediatamente come la variabilità dei dati sia molto maggiore nella stazione
 continentale.



La MEDIA ARITMETICA:
È sensibile ai valori estremi

$$\mu = E[Z(\mathbf{u})] \quad m = \frac{1}{n} \sum_{\alpha=1}^n z(\mathbf{u}_{\alpha})$$

La MODA:
Non è sensibile alla
presenza di valori estremi

È il valore che appare con
frequenza maggiore

La MEDIANA:
È sensibile ai valori estremi
e all'assenza di dati nella
parte centrale della
distribuzione.

È il valore centrale quando i dati si
ordinano in ordine crescente. Il 50% dei
valori è inferiore, il 50% superiore.

MISURE DI DISPERSIONE

La VARIANZA:

$$\sigma^2 = \text{var} [Z(u)]$$

$$= E[(Z(u) - E[Z(u)])^2]$$

$$= E[(Z(u) - \mu)^2]$$

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n (z(u_a) - m)^2 = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n (z(u_a))^2 - m^2$$

- Quantifica la dispersione attorno alla media.
- È in unità di misura al quadrato.
- È additiva.
- È molto sensibile alla presenza di valori estremi.
- La sua radice quadrata è la Deviazione standard, s.

Bisogna però correggere la formula anteriore perché non è possibile campionare l'intera popolazione, ma il campione di cui disponiamo è composto da un numero limitato di osservazioni.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{\alpha=1}^n (z(u_{\alpha}) - m)^2$$

STIMA DI VARIANZA

$$s^2(m) = s^2/n$$

$$E[(m - \mu)^2]$$

ERRORE STANDARD

$$s(m) = \sqrt{s^2/n}$$

È la deviazione tipica di medie di campioni su n osservazioni

Quanto più grande è il campione, tanta più fiducia possiamo dare ad m

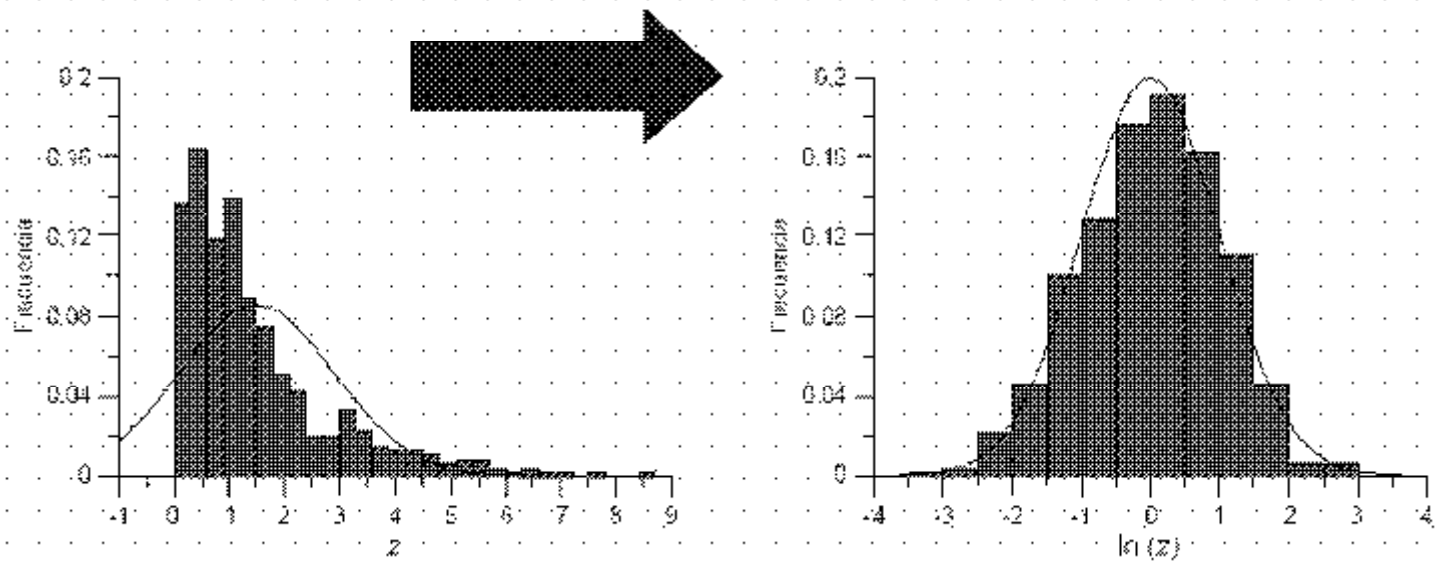
COEFFICIENTE DI VARIAZIONE:

$$CV = 100 \frac{s}{m} \%$$

- Esprime la dispersione in termini relativi.
- Ad esempio quando un valore è stato misurato in due zone differenti con valori simili di s ma diversi di m .
- È una misura dell'asimmetria delle distribuzioni.
- È un indicatore preliminare di possibili problemi nel momento in cui si intendano fare stime locali:

<100 %	→	Nessun problema
100-200 %	→	Difficoltà con i valori estremi
>200 %	→	Grandi difficoltà con i valori estremi

TRASFORMAZIONE LOGARITMICA

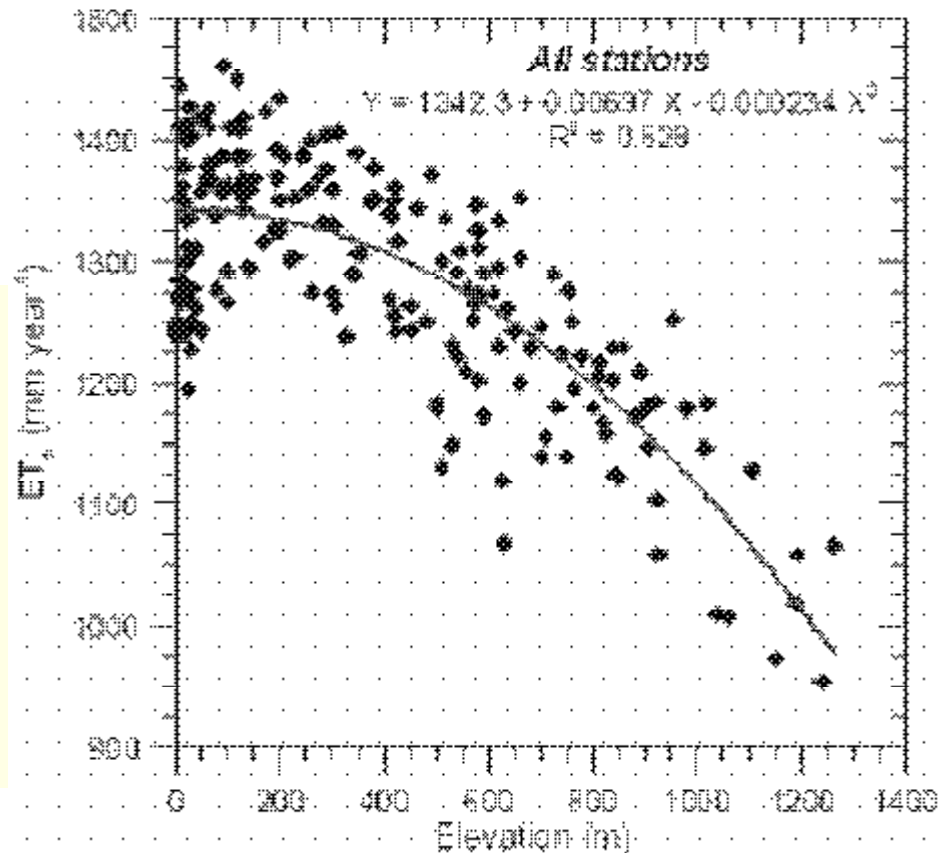


DESCRIZIONE DI DUE VARIABILI

Quando si dispone di osservazioni di due variabili nello stesso punto si possono fare :

GRAFICI DI DISPERSIONE

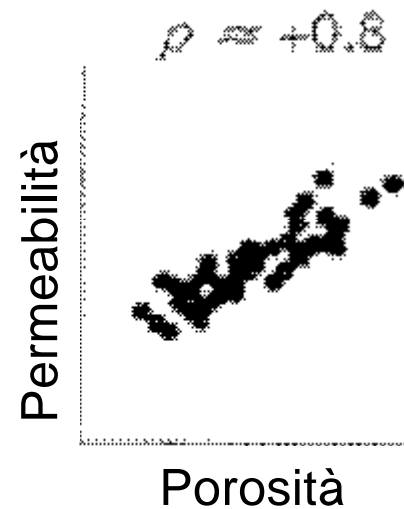
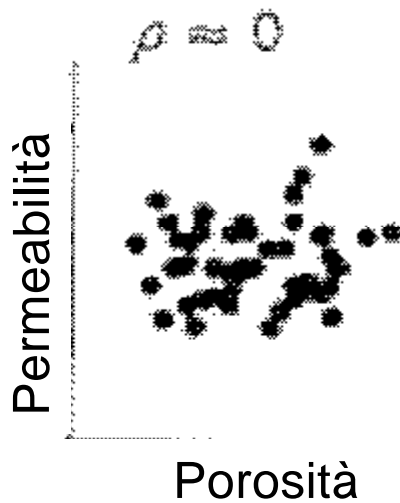
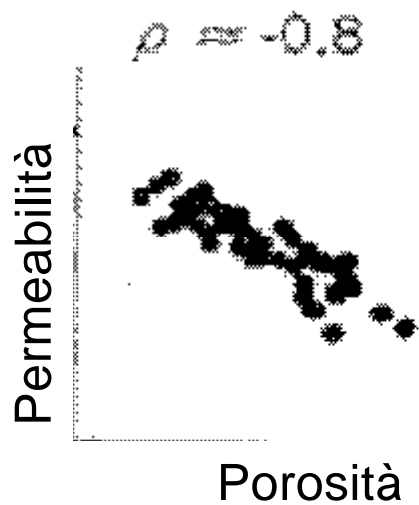
Come in questo esempio, ci possono indicare la correlazione tra due variabili: l'altitudine e la evapotraspirazione.



DESCRIZIONE DI DUE VARIABILI

Coefficiente di correlazione

$$\rho = \frac{s_{xy}}{\sqrt{s_x^2 s_y^2}}, \quad -1 \leq \rho \leq 1$$





INDICE

Analisi preliminare e grafica dei dati

Esempio: La Cueva del Agua

Analisi di serie temporali

Esempio: La Cueva de las Ventanas

La geostatistica

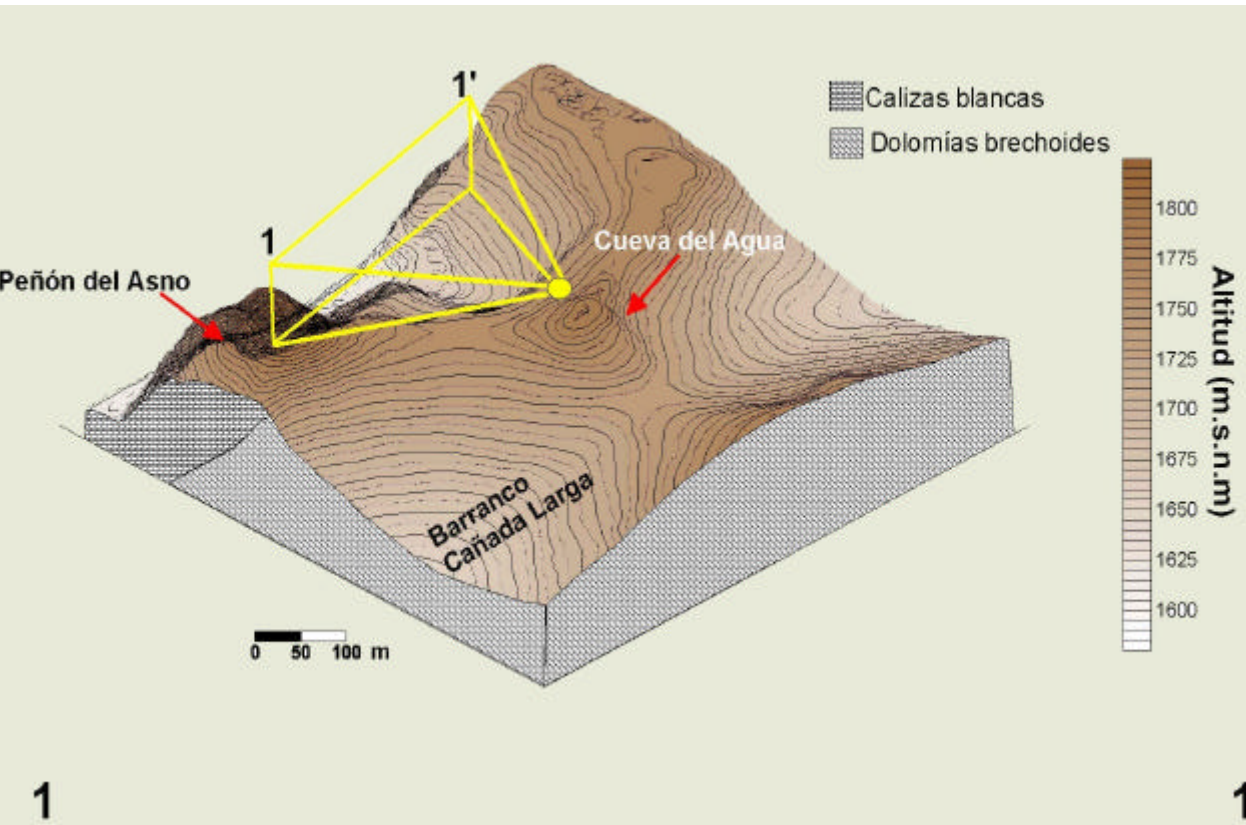
Esempi: La Cueva del Agua, il Sistema Covadura



ESEMPIO: Analisi grafica dei processi di infiltrazione nella zona vadosa della Cueva del Agua (Granada, España).

INFILTRAZIONE

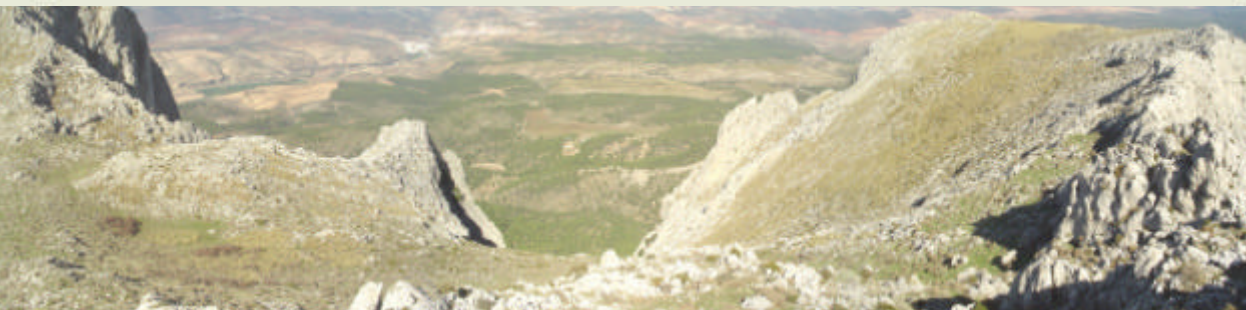
CUEVA DEL AGUA



- Assenza di scorrimento
- Rocce calcaree affioranti
- Grandi dislivelli
- Importanti fratturazioni e diaclasi

1

1'



- 952 mm/anno
- Novembre: 177 mm
- Marzo: 105 mm
- Pioggia utile: 67 %



Sala de los Endriagos

M.González-Ríos ©

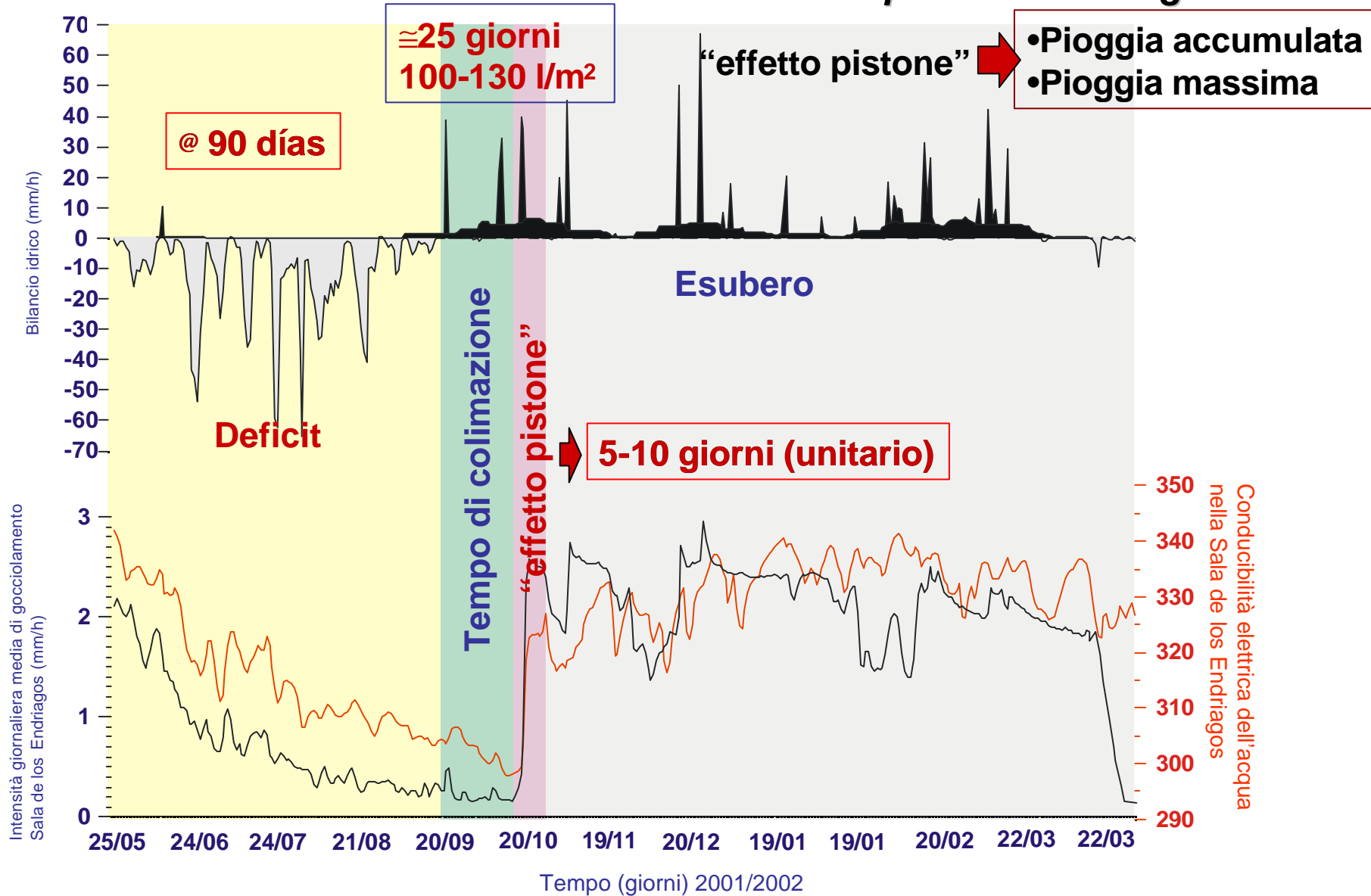


Controllo dell'intensità di gocciolamento



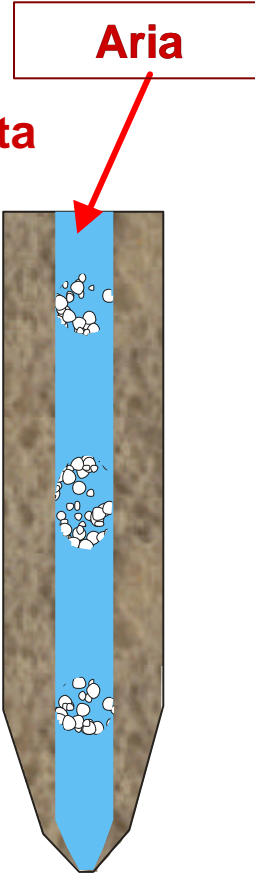
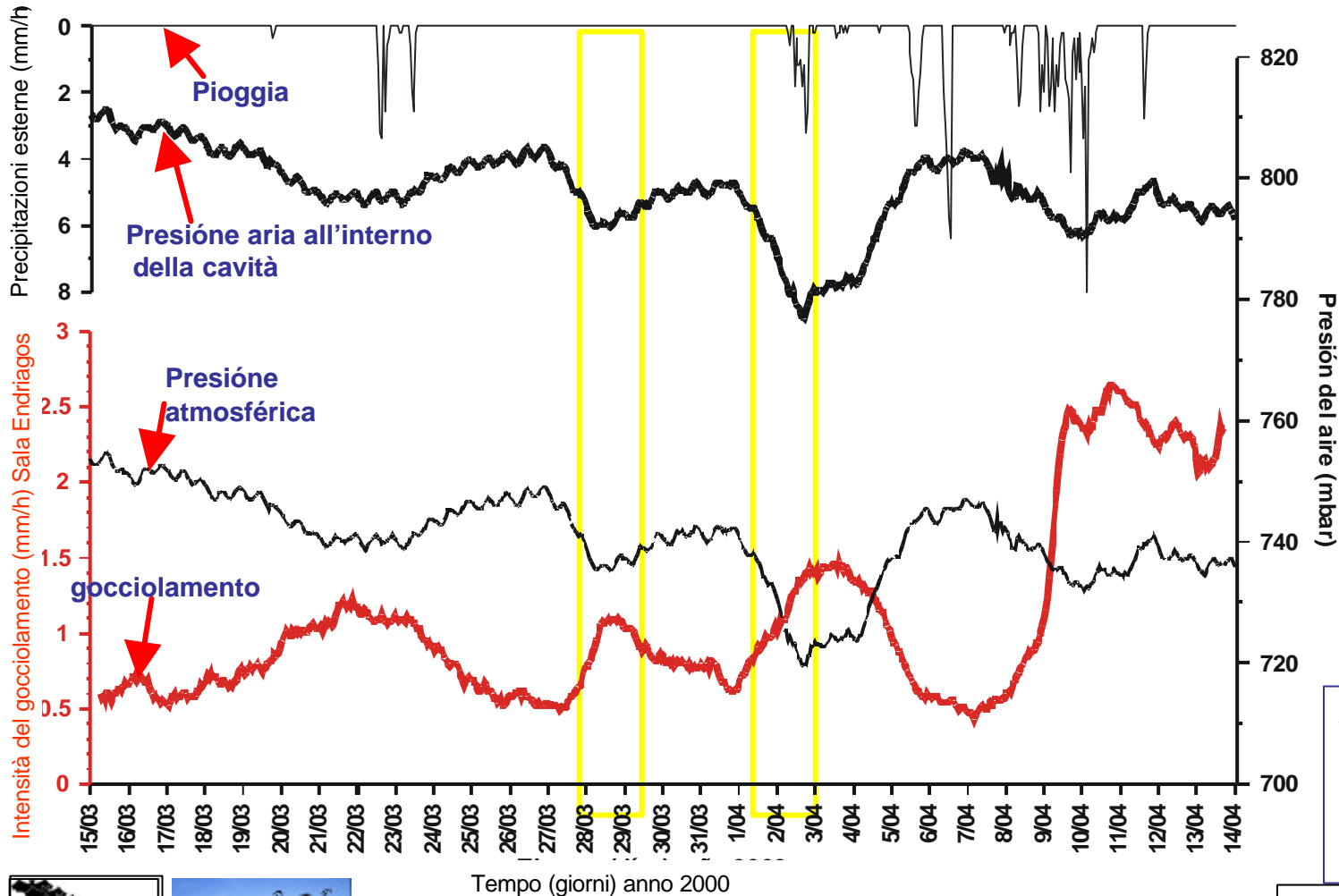
Lago Glaciar

Infiltrazione: Comportamento stagionale



Infiltrazione: Microvariazioni dell' intensità di gocciolamento correlate a variazioni della pressione atmosferica

Quando la pressione atmosferica diminuisce il gocciolamento aumenta

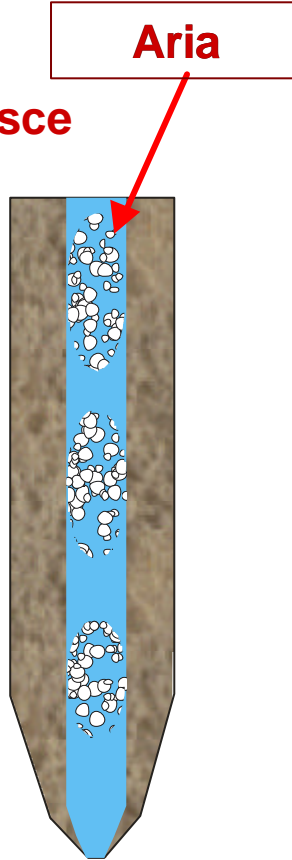
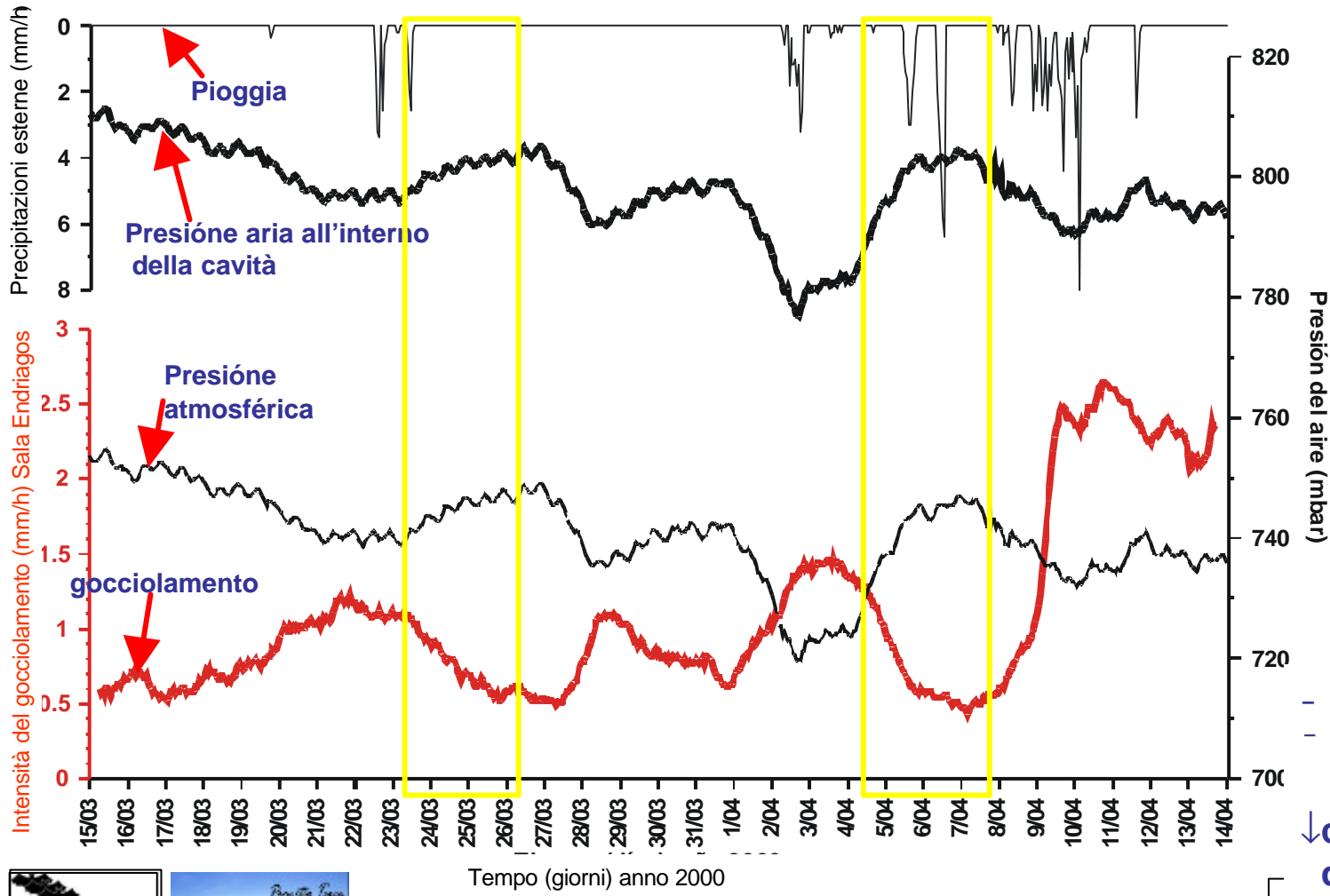


- ↓ presión aire
- presión fluido poros
- columna agua

Autore:
Geol. Angel Fernandez Cortes

Infiltrazione: Microvariazioni dell' intensità di gocciolamento correlate a variazioni della pressione atmosferica

Quando la pressione atmosferica aumenta, il gocciolamento diminuisce



- pressione aria
 - pressione fluido
 nei pori
 ↓ colonna
 d'acqua

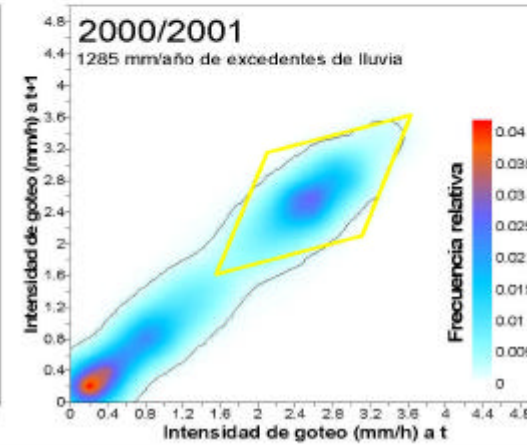
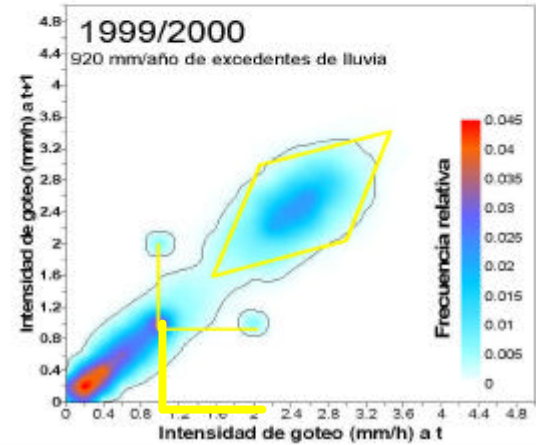
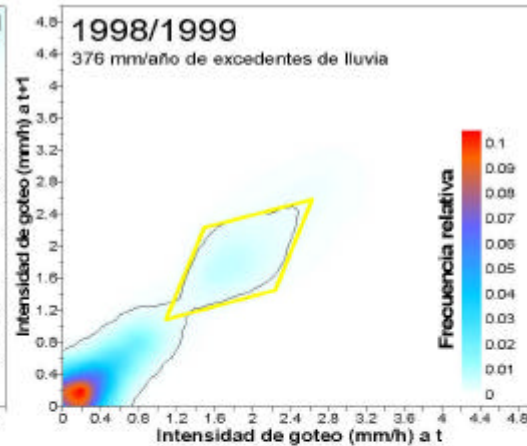
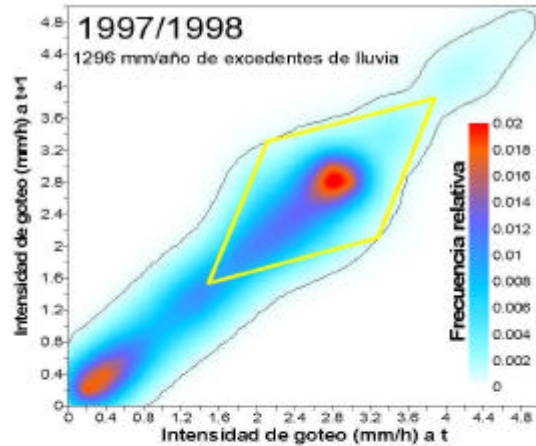
AUTORE:
 Geol. Angel Fernandez Cortes

Cueva del Agua

Non c'è linearità temporale

Diagrammi di fase

Gocciolamento a $t \neq$ Gocciolamento a $t+1$



Anche se teoricamente le due serie di valori si dovrebbero correlare molto bene ed il grafico dovrebbe quindi essere una retta, vista la relativa stabilità dell'intensità di gocciolamento di questa grotta, vediamo che questo non avviene e supponiamo quindi che le variazioni dell'intensità di gocciolamento non siano dovute solamente alle precipitazioni ma anche ad altri fattori.

In particolare le forme a L rivelano l'effetto della pressione sull'intensità del gocciolamento.

Precisione della misura dell'intensità di gocciolamento = ± 0.2 mm/h



INDICE

Anlisi preliminare e grafica dei dati

Esempio: La Cueva del Agua

Analisi di serie temporali

Esempio: La Cueva de las Ventanas

La geostatistica

Esempi: La Cueva del Agua, il Sistema Covadura



ANALISI CORRELATIVA

Funzioni di autocorrelazione

Funzioni di correlazione incrociata

ANALISI SPETTRALE

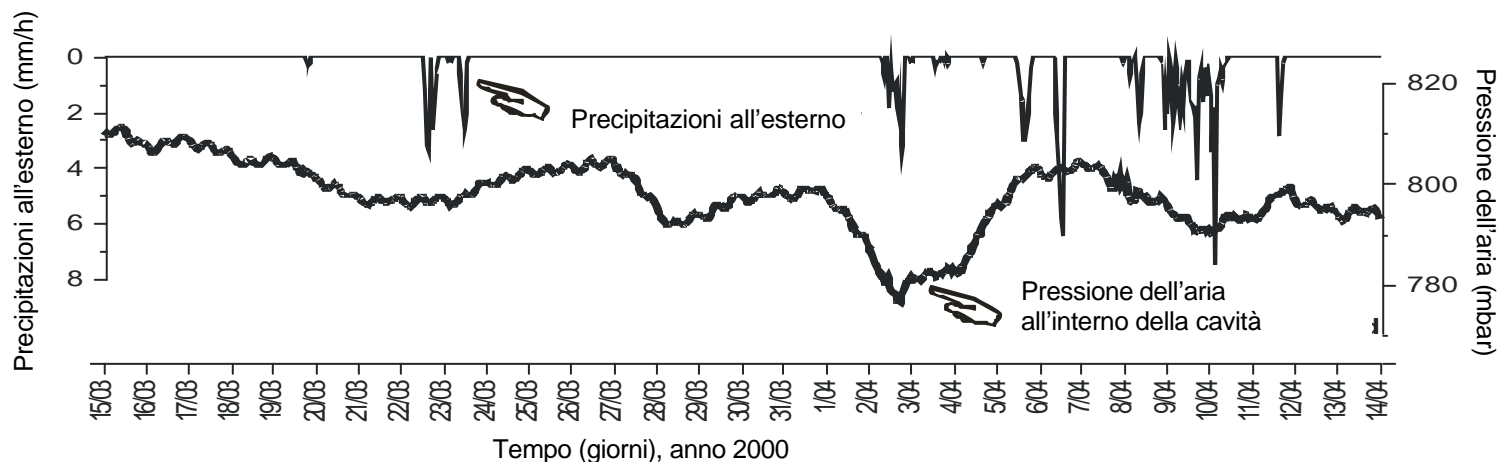
Funzione di densità spettrale

Funzione di spettro incrociato (funzione di ampiezza incrociata e funzione di fase)

Funzioni di coerenza e superamento

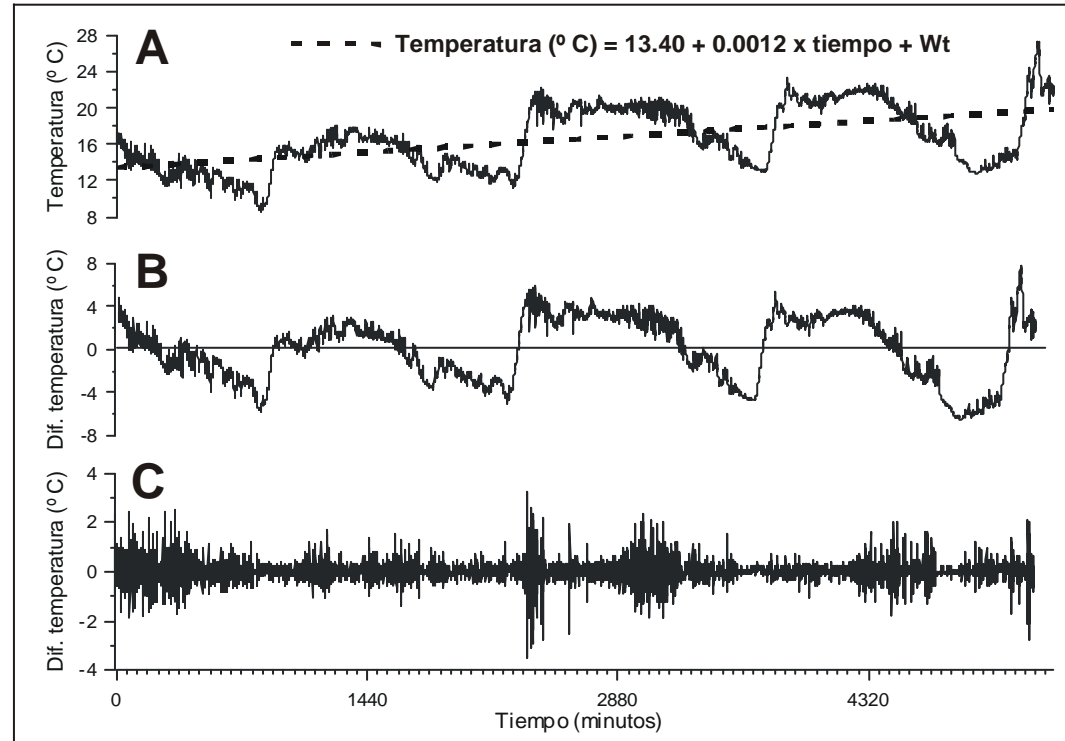
DEFINIZIONI:

Una serie temporale (ST) di una variabile aleatoria, per esempio una sequenza nel tempo, x_1, x_2, x_3, \dots , dove x_1 è il valore della variabile nel primo istante della serie temporale, x_2 è il valore della variabile al secondo istante della serie temporale e così via.



L'acquisizione nel tempo di una variabile aleatoria, definisce un processo stocastico che in una dimensione temporale presenta correlazioni e un determinato tipo di comportamento. Ogni registro temporale di una variabile aleatoria rappresenta una cronaca o serie temporale, caratterizzata da una frequenza di misurazione e una ampiezza campionatoria determinata.

La ST può essere descritta con una funzione deterministica, o con un modello stocastico (insieme di relazioni)



ST STAZIONARIA

I suoi valori sono indipendenti rispetto al tempo (non presentano trend di nessun tipo ne periodicità). Le proprietà statistiche (media, varianza,...) non variano nel tempo.

Esistono 2 tipi di ST stazionarie:

di 1° grado: stazionarie rispetto alla media

di 2° grado: stazionarie rispetto alla varianza (covarianza)

ANALISI CORRELATIVA E SPETTRALE

1. Nell'ANALISI SEMPLICE si fa corrispondere la variabile d'entrata ad una funzione aleatoria pura e attraverso l'analisi della funzione di uscita si identifica il sistema come modulatore del segnale d'uscita. Questo tipo di analisi si fa grazie a due strumenti: il CORRELOGRAMMA e lo SPETTRO DI DENSITÀ DELLA VARIANZA.
2. L'ANALISI INCROCIATA si basa sulla relazione causa – effetto (funzione di entrata e funzione di uscita). Per esempio la relazione tra temperatura esterna e temperatura all'interno della cavità. Gli strumenti che si utilizzano sono: il CORRELOGRAMMA INCROCIATO, LE FUNZIONI DI AMPIEZZA INCROCIATE, INCREMENTO, COERENZA, FASE e altre.

ANALISI SEMPLICE

m = ? tempo = 0
(n° spostamenti)

fecha	hora	T exterior	fecha	hora	T exterior
01/01/2002	0:00	7,6	01/01/2002	0:00	7,6
01/01/2002	1:00	7,5	01/01/2002	1:00	7,5
01/01/2002	2:00	7,4	01/01/2002	2:00	7,4
01/01/2002	3:00	7,4	01/01/2002	3:00	7,4
01/01/2002	4:00	7,5	01/01/2002	4:00	7,5
01/01/2002	5:00	8,6	01/01/2002	5:00	8,6
01/01/2002	6:00	8,7	01/01/2002	6:00	8,7
01/01/2002	7:00	8,8	01/01/2002	7:00	8,8
01/01/2002	8:00	7,7	01/01/2002	8:00	7,7
01/01/2002	9:00	11,2	01/01/2002	9:00	11,2
01/01/2002	10:00	12,7	01/01/2002	10:00	12,7
01/01/2002	11:00	10,9	01/01/2002	11:00	10,9
01/01/2002	12:00	7,6	01/01/2002	12:00	7,6
01/01/2002	13:00	8,8	01/01/2002	13:00	8,8
01/01/2002	14:00	8,6	01/01/2002	14:00	8,6
01/01/2002	15:00	8,7	01/01/2002	15:00	8,7
01/01/2002	16:00	7,4	01/01/2002	16:00	7,4

ANALISI SEMPLICE

m = ? tempo = 0
(n° spostamenti)

m = ? tempo = 1
(n° spostamenti)

fecha	hora	T exterior	fecha	hora	T exterior
01/01/2002	0:00	7,6			
01/01/2002	1:00	7,5	01/01/2002	0:00	7,6
01/01/2002	2:00	7,4	01/01/2002	1:00	7,5
01/01/2002	3:00	7,4	01/01/2002	2:00	7,4
01/01/2002	4:00	7,5	01/01/2002	3:00	7,4
01/01/2002	5:00	8,6	01/01/2002	4:00	7,5
01/01/2002	6:00	8,7	01/01/2002	5:00	8,6
01/01/2002	7:00	8,8	01/01/2002	6:00	8,7
01/01/2002	8:00	7,7	01/01/2002	7:00	8,8
01/01/2002	9:00	11,2	01/01/2002	8:00	7,7
01/01/2002	10:00	12,7	01/01/2002	9:00	11,2
01/01/2002	11:00	10,9	01/01/2002	10:00	12,7
01/01/2002	12:00	7,6	01/01/2002	11:00	10,9
01/01/2002	13:00	8,8	01/01/2002	12:00	7,6
01/01/2002	14:00	8,6	01/01/2002	13:00	8,8
01/01/2002	15:00	8,7	01/01/2002	14:00	8,6
01/01/2002	16:00	7,4	01/01/2002	15:00	8,7
			01/01/2002	16:00	7,4

ANALISI SEMPLICE

m = ? tempo = 0
(n° spostamenti)

m = ? tempo = 1
(n° spostamenti)

m = ? tempo = 2
(n° spostamenti)

fecha	hora	T exterior	fecha	hora	T extrior
01/01/2002	0:00	7,6			
01/01/2002	1:00	7,5			
01/01/2002	2:00	7,4	01/01/2002	0:00	7,6
01/01/2002	3:00	7,4	01/01/2002	1:00	7,5
01/01/2002	4:00	7,5	01/01/2002	2:00	7,4
01/01/2002	5:00	8,6	01/01/2002	3:00	7,4
01/01/2002	6:00	8,7	01/01/2002	4:00	7,5
01/01/2002	7:00	8,8	01/01/2002	5:00	8,6
01/01/2002	8:00	7,7	01/01/2002	6:00	8,7
01/01/2002	9:00	11,2	01/01/2002	7:00	8,8
01/01/2002	10:00	12,7	01/01/2002	8:00	7,7
01/01/2002	11:00	10,9	01/01/2002	9:00	11,2
01/01/2002	12:00	7,6	01/01/2002	10:00	12,7
01/01/2002	13:00	8,8	01/01/2002	11:00	10,9
01/01/2002	14:00	8,6	01/01/2002	12:00	7,6
01/01/2002	15:00	8,7	01/01/2002	13:00	8,8
01/01/2002	16:00	7,4	01/01/2002	14:00	8,6
			01/01/2002	15:00	8,7
			01/01/2002	16:00	7,4

ANALISI INCROCIATA

m = ? tempo = 0
(n° spostamenti)

fecha	hora	T exterior	T Sala1
01/01/2002	0:00	7,6	10,1
01/01/2002	1:00	7,5	10,1
01/01/2002	2:00	7,4	10,1
01/01/2002	3:00	7,4	10,1
01/01/2002	4:00	7,5	10,1
01/01/2002	5:00	8,6	10,1
01/01/2002	6:00	8,7	10,1
01/01/2002	7:00	8,8	10,1
01/01/2002	8:00	7,7	10,0
01/01/2002	9:00	11,2	9,8
01/01/2002	10:00	12,7	10,0
01/01/2002	11:00	10,9	10,0
01/01/2002	12:00	7,6	10,1
01/01/2002	13:00	8,8	10,0
01/01/2002	14:00	8,6	10,0
01/01/2002	15:00	8,7	10,0
01/01/2002	16:00	7,4	10,0

ANALISI INCROCIATA

m = ? tempo = 0
(n° spostamenti)

m = ? tempo = 1
(n° spostamenti)

fecha	hora	T exterior	T Sala1
01/01/2002	0:00		
01/01/2002	1:00	7,6	10,1
01/01/2002	2:00	7,5	10,1
01/01/2002	3:00	7,4	10,1
01/01/2002	4:00	7,4	10,1
01/01/2002	5:00	7,5	10,1
01/01/2002	6:00	8,6	10,1
01/01/2002	7:00	8,7	10,1
01/01/2002	8:00	8,8	10,1
01/01/2002	9:00	7,7	10,0
01/01/2002	10:00	11,2	9,8
01/01/2002	11:00	12,7	10,0
01/01/2002	12:00	10,9	10,0
01/01/2002	13:00	7,6	10,1
01/01/2002	14:00	8,8	10,0
01/01/2002	15:00	8,6	10,0
01/01/2002	16:00	8,7	10,0
		7,4	10,0

ANALISI INCROCIATA

m = ? tempo = 0
(n° spostamenti)

m = ? tempo = 1
(n° spostamenti)

m = ? tempo = 2
(n° spostamenti)

fecha	hora	T exterior	T Sala1
01/01/2002	0:00		
01/01/2002	1:00		
01/01/2002	2:00	7,6	10,1
01/01/2002	3:00	7,5	10,1
01/01/2002	4:00	7,4	10,1
01/01/2002	5:00	7,4	10,1
01/01/2002	6:00	7,5	10,1
01/01/2002	7:00	8,6	10,1
01/01/2002	8:00	8,7	10,1
01/01/2002	9:00	8,8	10,1
01/01/2002	10:00	7,7	10,0
01/01/2002	11:00	11,2	9,8
01/01/2002	12:00	12,7	10,0
01/01/2002	13:00	10,9	10,0
01/01/2002	14:00	7,6	10,1
01/01/2002	15:00	8,8	10,0
01/01/2002	16:00	8,6	10,0
		8,7	10,0
		7,4	10,0

ANALISI CORRELATIVA

Si basa sulle relazioni temporali: presente e passato (correlazioni tra valori), o futuro (modelli di previsione)

FUNZIONE DI AUTOCORRELAZIONE

Si tratta di un'analisi semplice o univariante nel dominio temporale. La funzione di autocorrelazione calcola i coefficienti di correlazione r_k (correlazione della serie di dati con se stessa) ottenuti attraverso spostamenti successivi ognuno di un'unità di tempo (k), usando le espressioni:

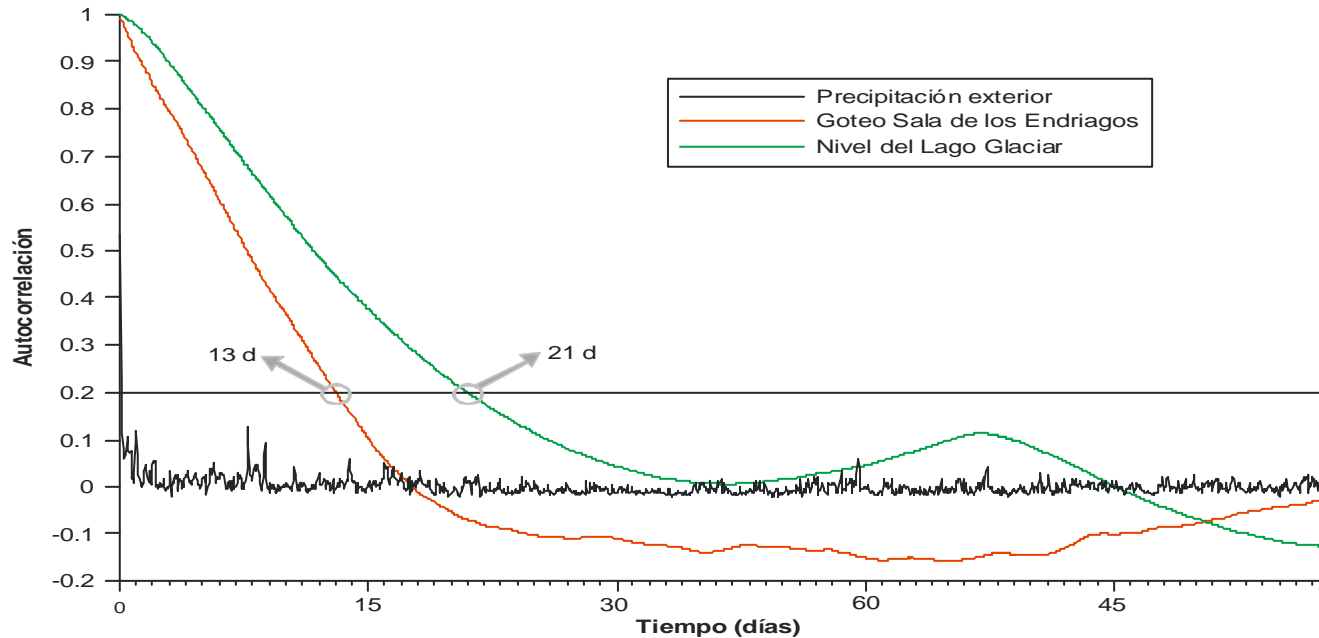
$$r_k = \frac{C_k}{C_0} \quad y \quad C_k = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x}) \quad \text{para } k = 1, 2, 3, \dots, m$$

Dove C_0 è la covarianza, C_k la autocovarianza, x_t i valori discreti della serie, \bar{x} la media aritmetica, m ha il nome di troncatura o periodo di troncatura e corrisponde al numero di spostamenti della serie. Perché la funzione di autocorrelazione abbia valore statistico, il valore di m deve essere inferiore a un terzo degli elementi del periodo considerato ($m < n/3$), dove n è la lunghezza del registro (Magin, 1984). Nonostante questo, la scelta del valore m si deve basare sui risultati ottenuti con l'analisi spettrale, poiché il suo valore è strettamente legato all'ampiezza della banda spettrale che definisce lo spettro.

ANALISI CORRELATIVA

Funzione si autocorrelazione

Strumenti: autocorrelogramma o correlogramma semplice



Effetto memoria: Magin (1984) lo definì come il valore k (tempo) corrispondente all'intervallo di rk compreso tra 0.1 – 0.2, il quale si può ottenere attraverso la lettura diretta del correlogramma semplice. Per questo, un correlogramma che decresce lentamente, mette in luce un effetto memoria e un potere di regolazione del sistema elevati.

Funzione di correlazione incrociata

Strumenti: Correlogramma incrociato

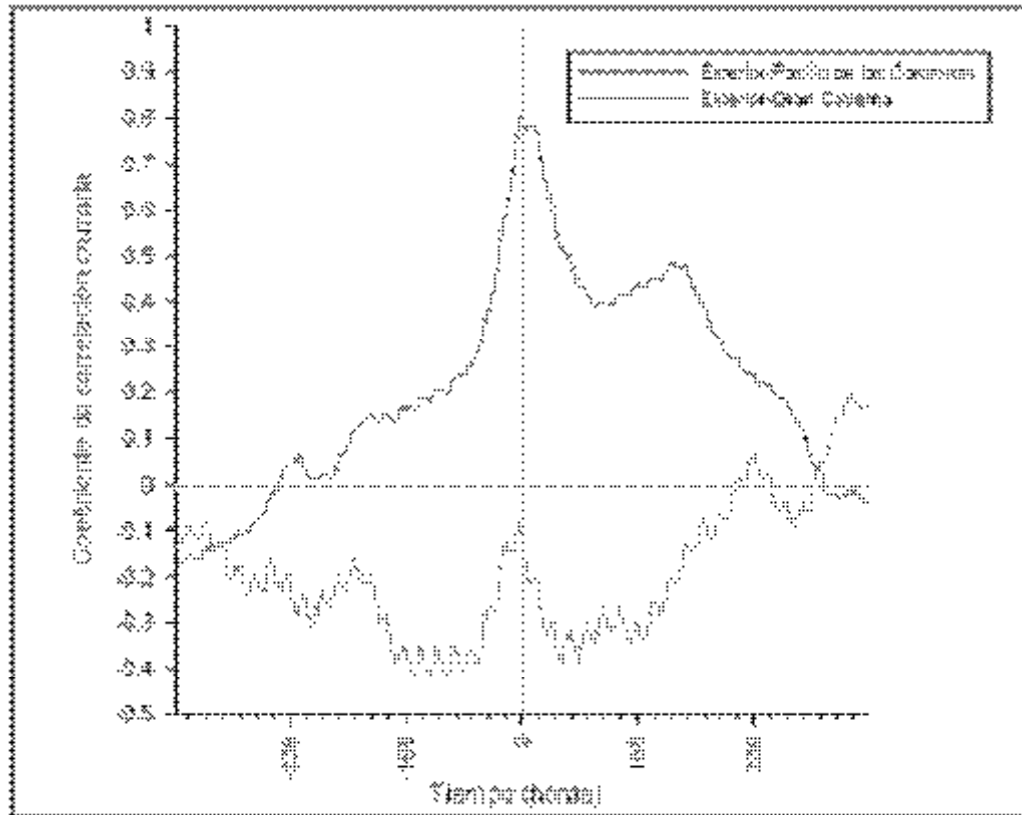
Bivariante e definita dalla funzione di intercorrelazione tra due serie finite, considerando la prima di esse (x_1, x_2, \dots, x_n) come causa della seconda (y_1, y_2, \dots, y_n) . La funzione di correlazione incrociata non è simetrica perchè solo una delle serie (causa, entrata o input), influisce sull'altra (effetto, uscita o output), perciò, per poterla definire è necessario calcolare i coefficienti di correlazione sia per valori positivi sia negativi di k , da $-m$ a $+m$ applicando le seguenti espressioni:

$$r_{+k} = r_{xy}(k) = \frac{C_{xy}(k)}{S_x S_y} \quad \text{con} \quad C_{xy} = \frac{1}{n} \sum_1^{n-k} (x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y}) \quad y \quad k = 0, 1, 2, \dots, m$$

$$r_{-k} = r_{yx}(k) = \frac{C_{yx}(k)}{S_x S_y} \quad \text{con} \quad C_{yx} = \frac{1}{n} \sum_1^{n-k} (y_t - \bar{y})(x_{t+k} - \bar{x}) \quad y \quad k = -m, \dots, -2, -1, 0$$

$$\textit{essendo} \quad S_x^2 = \frac{1}{n} \sum_1^n (x_t - \bar{x})^2 \quad y \quad S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_1^n (y_t - \bar{y})^2$$

Dove C_{xy} e C_{yx} sono le funzioni di covarianza incrociata delle variabili x e y , S_x e S_y i valori della varianza di ogni variabile, \bar{x} , \bar{y} le medie aritmetiche e k l'intervallo di tempo tra ogni istante di tempo t .



Riflette la risposta impulsiva di un sistema di fronte ad un impulso o alterazione unitaria. Per esempio la risposta della temperatura dell'aria di una cavità alla presenza umana al suo interno e al conseguente incremento termico.

ANALISI SPETTRALE

L'analisi correlativa permette di caratterizzare la decrescita della dipendenza temporale di una serie di dati nell'intervallo di tempo t . Tuttavia, quando il grado di correlazione tra due valori vicini è elevato (parametri fisici dell'aria di una cavità), la sua interpretazione risulta difficile ed è perciò necessario ricorrere alla parte frequenziale dell'analisi che studia le periodicità della variabile.

L'analisi spettrale delle serie temporali si fonda sulla discretizzazione delle periodicità e sulla valutazione della varianza associata alla frequenza che presentano le periodicità che risultano significative.

Si fa mediante la rappresentazione spettrale della funzione di autocovarianza della serie.

ST come:

$$X_t = A \cdot \text{sen} (2\pi vt + f) + \dots \quad v = 1/T$$

FUNZIONE DI DENSITÀ SPETTRALE

- Trasformazione della scala temporale di una serie stazionaria in una scala di frequenze.
- Trasformazione lineare che combina le funzioni seno e coseno a varie frequenze con ognuna delle entità della serie temporale. Il risultato sono dei grafici x-y, che rappresentano i valori della varianza della variabile in ogni frequenza.
- Le periodicità isolate con l'analisi spettrale probabilmente non saranno relazionabili tra loro.

$$g(h) = \int_{-1/2}^{1/2} e^{2\pi i v h} f(v) dv$$

$$f(v) = \sum_{h=-\infty}^{\infty} g(h) e^{-2\pi i v h}$$

La funzione della densità spettrale ci da la stessa informazione della funzione di autocorrelazione nel dominio temporale anche se, il cambiamento di scala temporale, permette di isolare le componenti periodiche dando minore evidenza alle tendenze della serie poste in basse frequenze o grandi periodi. Così, se nel dominio temporale una variazione periodica si presenta come una oscillazione, nel dominio spettrale la stessa variazione si presenta come un massimo dello spettro nella frequenza corrispondente a quel periodo.

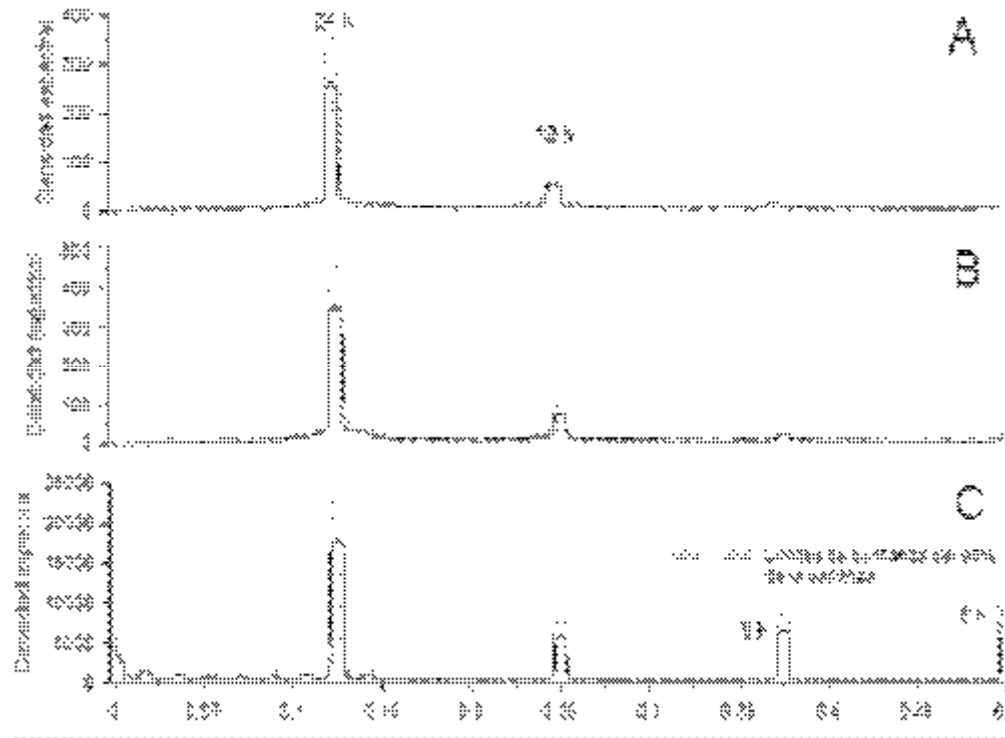
Funzione di densità spettrale

Strumenti: Spettro semplice

Tendenza generale della serie=
Basse frequenze

Fenomeni periodici=
Frequenze medie e alte

Componente aleatoria
(Rumore bianco)=
livello base basso dello spettro



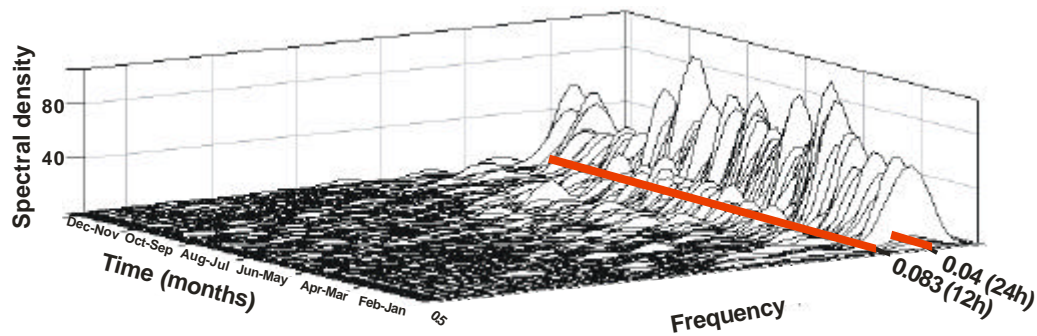
Il tempo di regolazione, corrisponde al tempo che un impulso unitario del segnale d'entrata impiega ad influenzare il sistema. Se il tempo di regolazione è piccolo, il sistema avrà scarsa inerzia o potere autoregolativo. $F_x(0)/2$, essendo $f_x=0$ il valore dello spettro del segnale d'entrata per la frequenza $\nu=0$.

TRONCAZIONE: m è fortemente legata all'ampiezza della banda nel dominio frequenziale. Un aumento di m , comporta una diminuzione dell'ampiezza della banda.

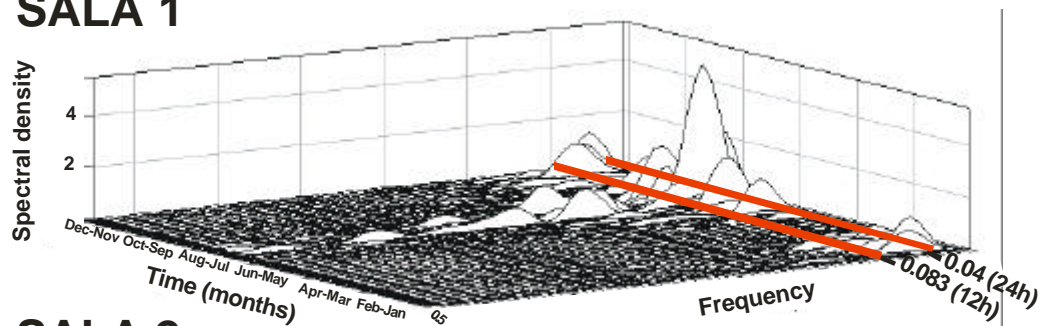
Ogni spettro è caratterizzato da forma e ampiezza di banda proprie perciò, se lo spettro presenta valori nulli per determinate frequenze, mancano le informazioni relative a quella frequenza. L'ampiezza della banda spettrale è limitata dalla frequenza di taglio (ν_c) a partire dalla quale lo spettro è nullo o trascurabile (generalmente $f_x < 1$). È inutile ogni interpretazione oltre quella frequenza.

A partire da frequenze superiori a quella di taglio, si suppone che il sistema studiato filtri qualsiasi segnale in entrata.

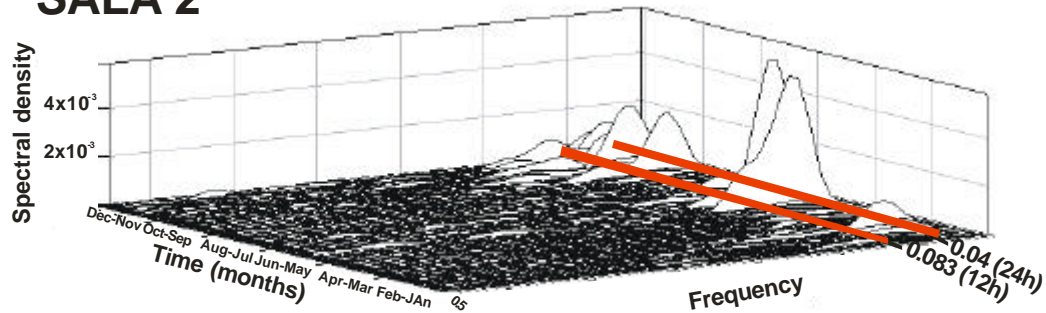
ESTERNO



SALA 1



SALA 2



FUNZIONE DI SPETTRO INCROCIATO

In un sistema lineare in cui il comportamento lineare di una variabile indipendente di entrata o input determina il comportamento nel tempo di una variabile dipendente di uscita o output, in funzione del potere regolatore o di filtro che esercita il sistema, è possibile estrapolare da una prospettiva di spettro bivalente le funzioni spettrali anteriori. Si definisce con la trasformata di Fourier:

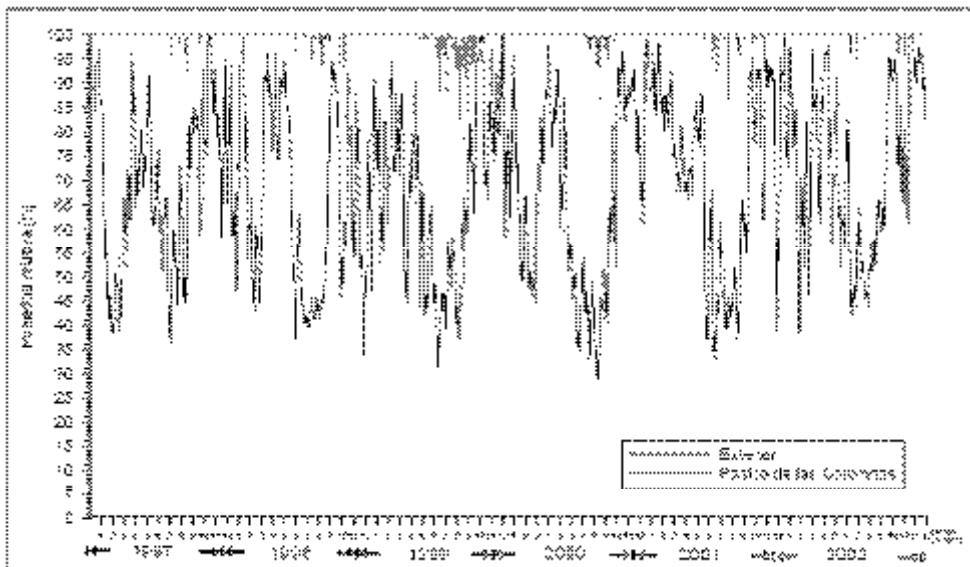
para $-1/2 \leq v \leq 1/2$.

$$f_{xy}(v) = \sum_{h=-\infty}^{\infty} \mathbf{g}_{xy}(h) e^{-2\pi i v h}$$

Una espressione alternativa più complessa dello spettro incrociato ma con componenti matematiche che abbiano senso fisico, è la seguente:

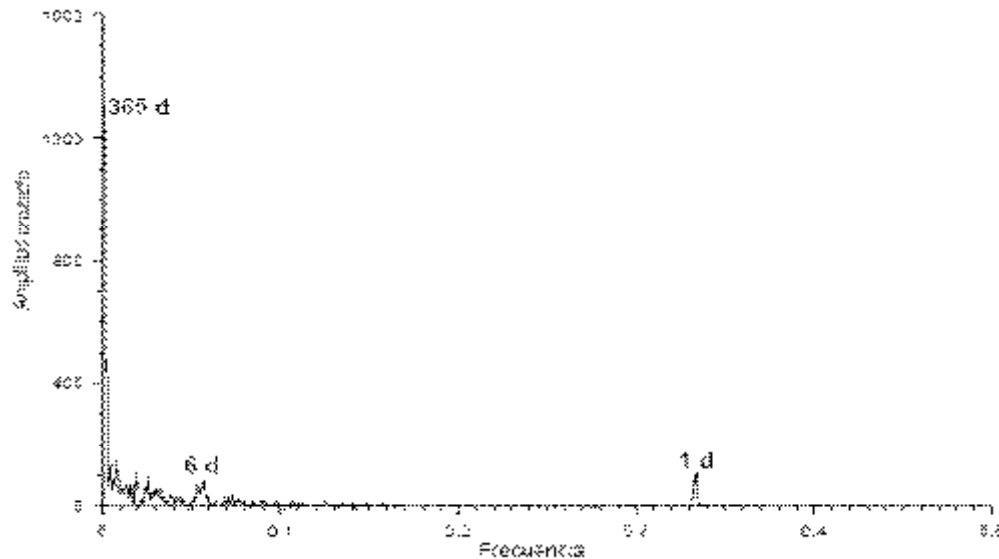
$$f_{xy}(v) = AC_{xy}(v) \cdot e^{-i\mathbf{f}_{xy}(v)} \quad AC_{xy}(v) = \sqrt{\left(c_{xy}^2(v) + q_{xy}^2(v)\right)}$$

Essendo $AC_{xy}(v)$ la funzione di ampiezza incrociata e $\mathbf{f}_{xy}(v)$ la funzione di fase.



La funzione di ampiezza incrociata mostra la durata della risposta all'impulso. Mette in evidenza l'azione di filtro che, applicata alle componenti periodiche della serie temporale d'entrata, si riscontra nella serie di uscita.

Quindi la funzione di ampiezza incrociata caratterizza il potere regolatore del sistema.



ANALISI DI SPETTRO INCROCIATO, ALTRE FUNZIONI....:

La FUNZIONE DI COERENZA ha un' applicazione diretta nella previsione di una serie di uscita yt , in funzione di una serie di uscita xt attraverso una relazione stabilita da un filtro lineare.

La funzione di coerenza è una misura dell'intensità di questa relazione tra segnale di entrata e di uscita. Infatti misura la correlazione tra due serie temporali con relazione causa – effetto ad una frequenza ν determinata.

La FUNZIONE DI FASE di un sistema caratterizzato da un filtro lineare rappresenta il tempo che deve trascorrere affinché si raggiunga il massimo grado di correlazione tra la serie di entrata e di uscita (massima linearità), dopo aver applicato un segnale di entrata al sistema.

La FUNZIONE DI INCREMENTO indica l'esistenza di un'amplificazione (valore di incrementi superiore a 1) o attenuazione (inferiore a 1), nella relazione tra la funzione di entrata e quella di uscita.

Cioè il valore che assume questa funzione per ciascuna frequenza è indicativo del potere di dissipazione di energia del nostro sistema di fronte ad ingressi o impulsi di differenti ampiezze di tempo indicate dalle frequenze corrispondenti.

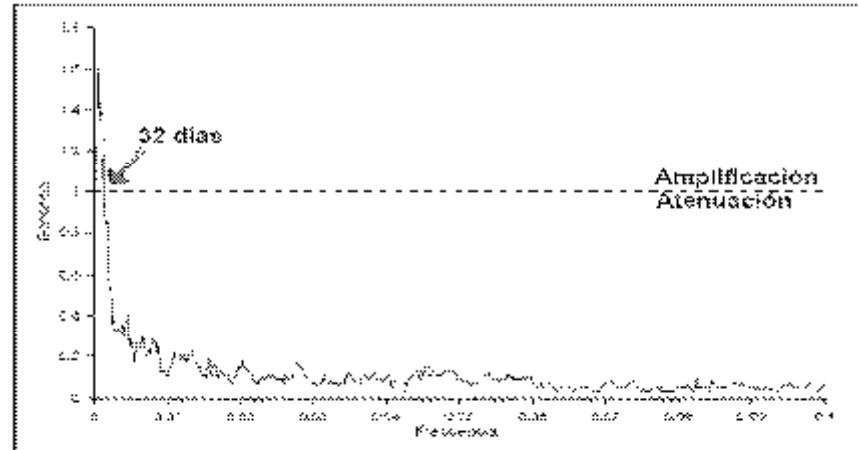


Figura IV-26. Función de ganancia media de la relación "Humedad relativa exterior - Humedad relativa Pasillo de las Columnas" durante el período 1996-2002.

Così, se nella funzione di incremento si riscontra una attenuazione alle alte frequenze (bassi periodi) e un'amplificazione alle basse frequenze (alti periodi), Si può concludere che l'effetto del segnale d'entrata sulla cavità si traduce In un effetto di accumulazione nel segnale di uscita.

DOVE TROVARE MAGGIORI INFORMAZIONI:

CLÁSSICA

- ✓ BOX, G.E.P. Y JENKINS, G.M. (1976). Time series analysis: forecasting and control. Holden Day. San Francisco. 525 p.
- ✓ D´HULST, D. (1994). Stochastos v. 3.0. (Programa y manual correspondiente). Laboratoire Souterrain du CNRS. Moulis, Saint Girons. Francia.
- ✓ HELSEL, D.R. Y HIRSCH, R.M. (1992). Statistical methods in water resources. Elsevier. Amsterdam. 522 p.
- ✓ HIPEL, K.W. Y McLEOD (1994). Time series modelling of water resources and environmental systems. Elsevier. Amsterdam. 1013 p.
- ✓ SALAS, J.D. (1993). Analysis and modeling of hydrologic time series. En: Handbook of Hydrology. McGraw Hill. New York. p: 19.1-19.72.
- ✓ YEJVJEVICH, V. (1972). Probability and statistics in Hydrology. Water Resources Pub. Littleton, Colorado. 302 p.
- ✓ YEJVJEVICH, V. (1984). Structure of daily hydrologic series. Water Resources Pub. Littleton, Colorado. 251 p.
- ...

RECENTE

- ✓ CHRISTAKOS, G. (2000). Modern spatiotemporal geostatistics. Oxford University Press. USA. 288 p.
- ✓ CHRISTAKOS, G., BOGAERT, P. y SERRE, M. (2002). Temporal GIS. Advanced functions for field-based applications. Ed. Springer. Berlin. 217 p.
- ✓ KANTZ, H. AND SCHREBER, T. (2000). Nonlinear Time Series Analysis. Cambridge University Press. Science Series 7. UK. 304 p.
- ✓ NIELSEN, D.R. AND WENDROTH, O. Spatial and temporal statistics. Ed. Catena Verlag GMBH. Germany. 398 p.
- ✓ SHUMWAY, R.H. AND STOFFER, D.S. (2000). Time series analysis and its applications. Ed. Springer. New York. 549 p.



INDICE

Analisi preliminare e grafica dei dati

Esempio: La Cueva del Agua

Analisi di serie temporali

Esempio: La Cueva de las Ventanas

La geostatistica

Esempi: La Cueva del Agua, il Sistema Covadura



ESEMPIO: Analisi grafica e di serie temporali per la caratterizzazione del microclima della Cueva de las Ventanas (Granada, España).

Cueva de las Ventanas

Comportamento microclimatico stagionale

Valori medi annuali:

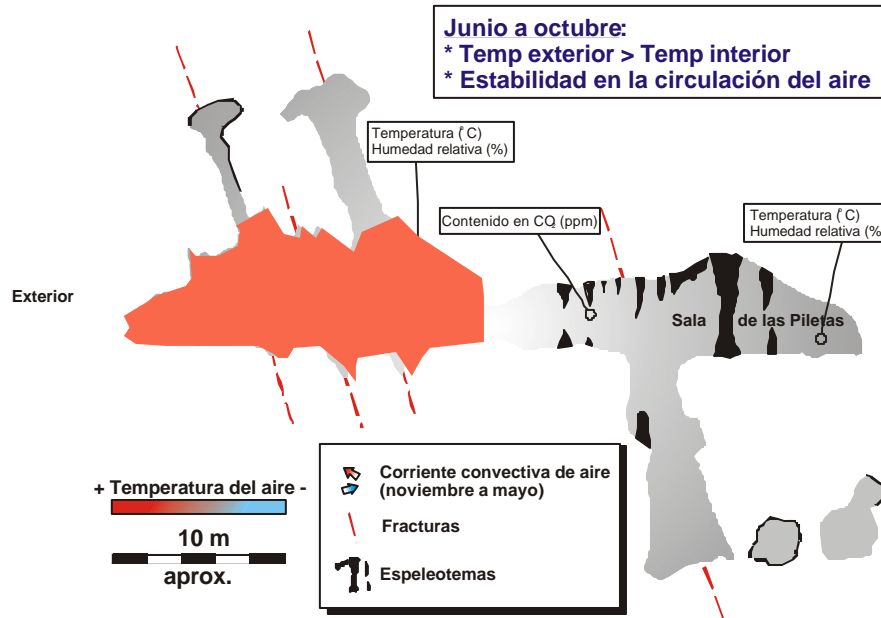
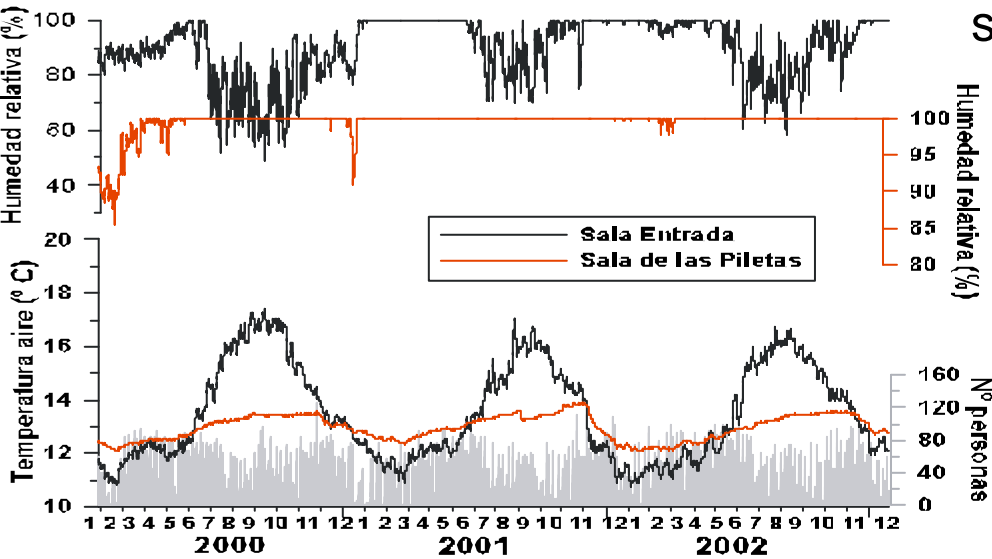
Ingresso: $13.3 \pm 0.8 \text{ }^\circ\text{C}$

$92.2 \pm 9.0 \%$

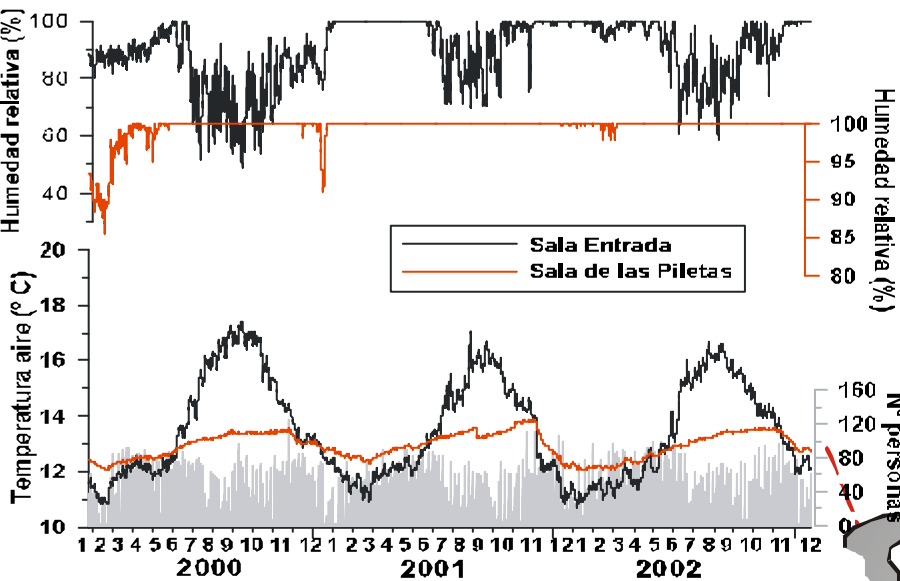
Piletas: $12.9 \pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$

$99.5 \pm 1.2 \%$

Trappola di aria fredda



Autore:
Geol. Angel Fernandez Cortes



Valori medi annuali:

Ingresso: $13.3 \pm 0.8 \text{ } ^\circ\text{C}$

$92.2 \pm 9.0 \%$

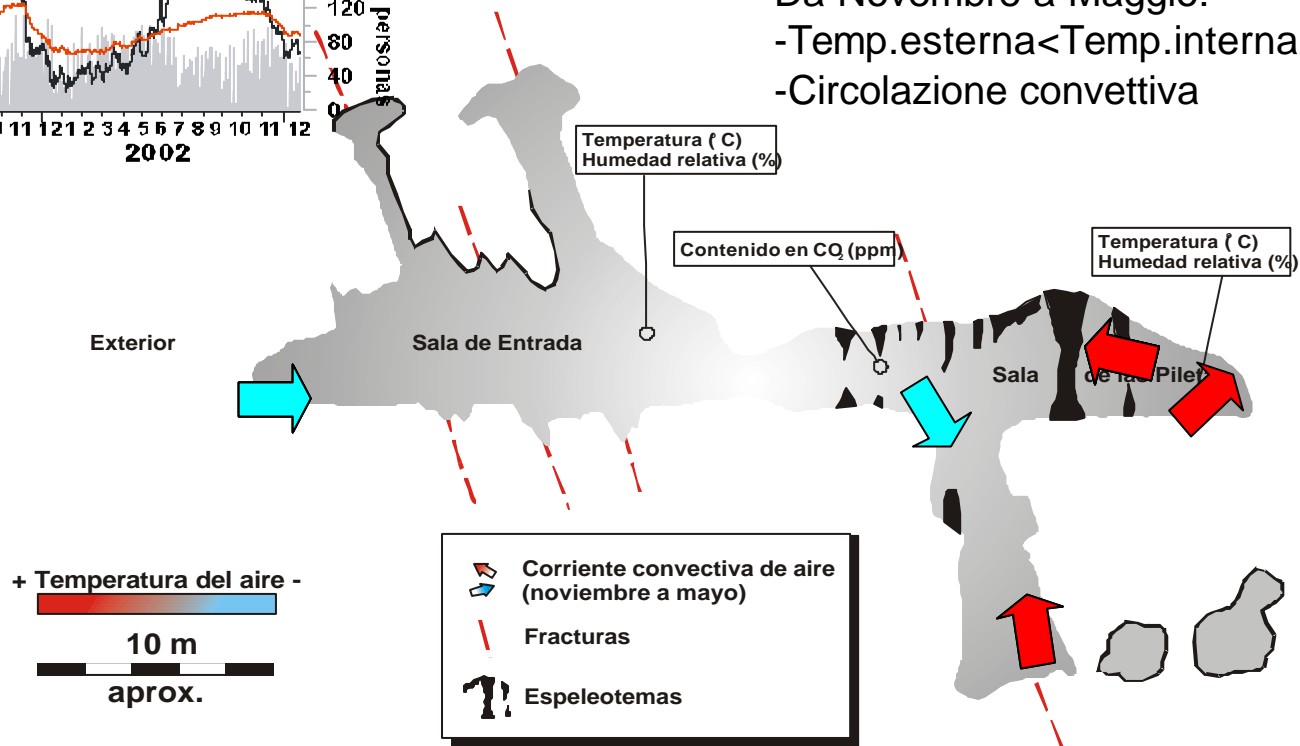
Piletas: $12.9 \pm 0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$

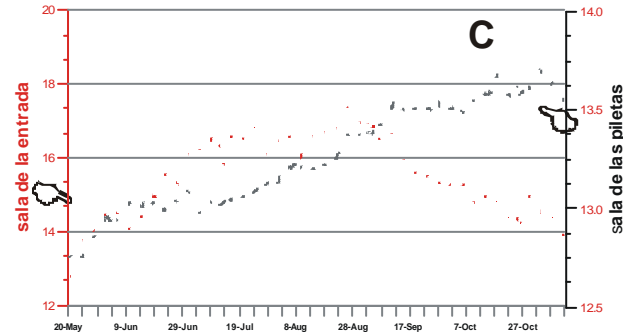
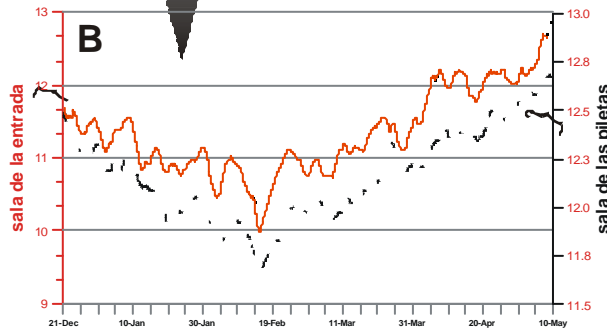
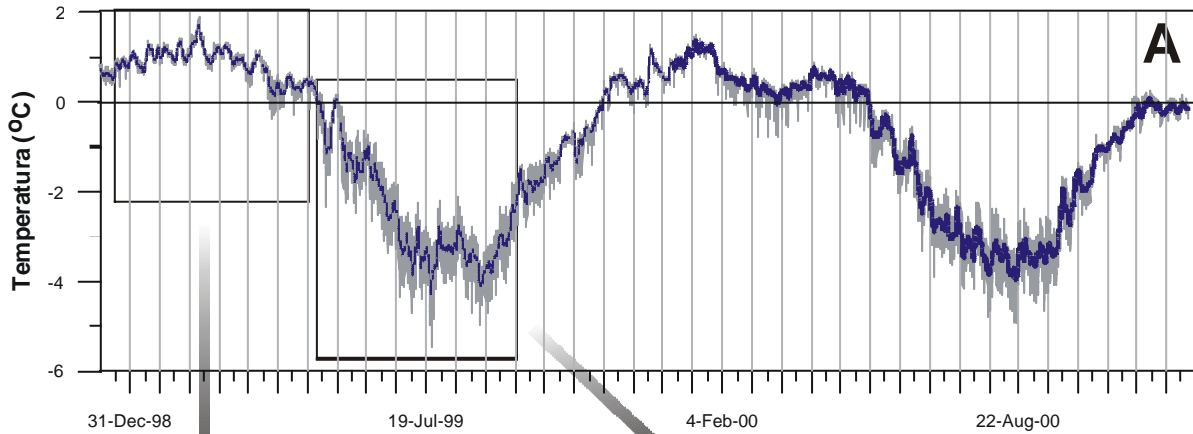
$99.5 \pm 1.2 \%$

Da Novembre a Maggio:

-Temp.esterna < Temp.interna

-Circolazione convettiva





Circolazione convettiva



Relazione microclimatica tra le sale

Trappola di freddo



Relazione microclimatica tra le sale



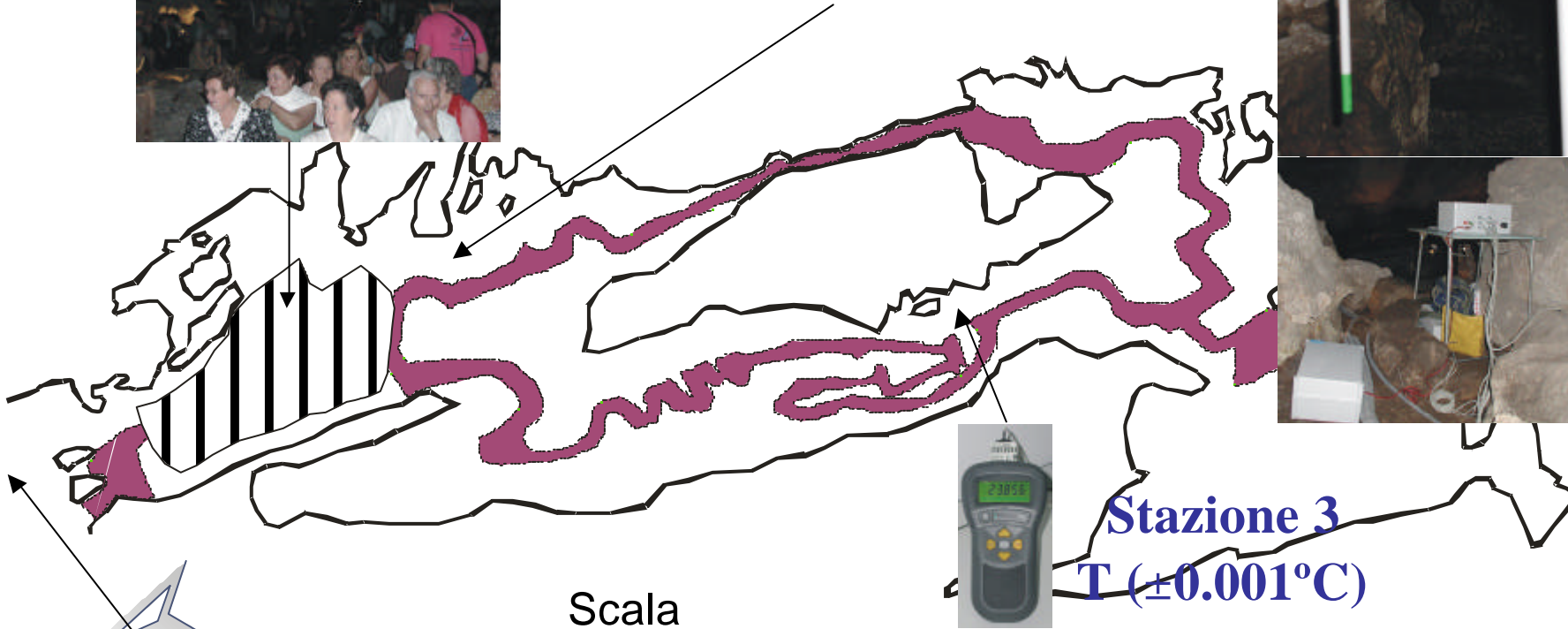
**Relazione microclimatica:
esterno – Sala Entrata**

Prova di apertura al pubblico

Cueva de las Ventanas



Stazione 2 Controllo durante la visita





Stazione 3 T (±0.001°C)



Scala

0 40 mts

 Percorso delle visite guidate

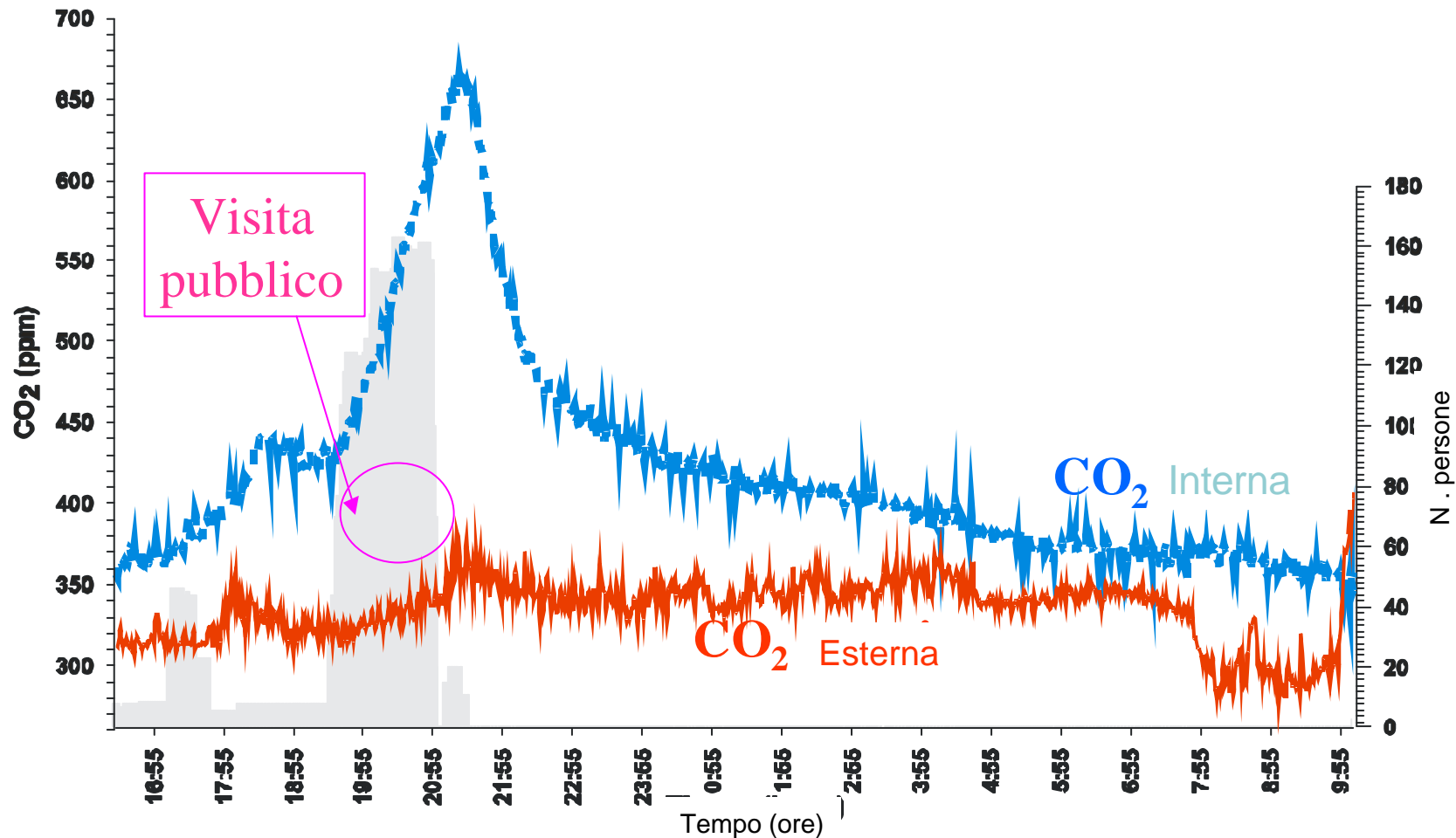
 Area dello spettacolo teatrale

Stazione 1 ESTERNA

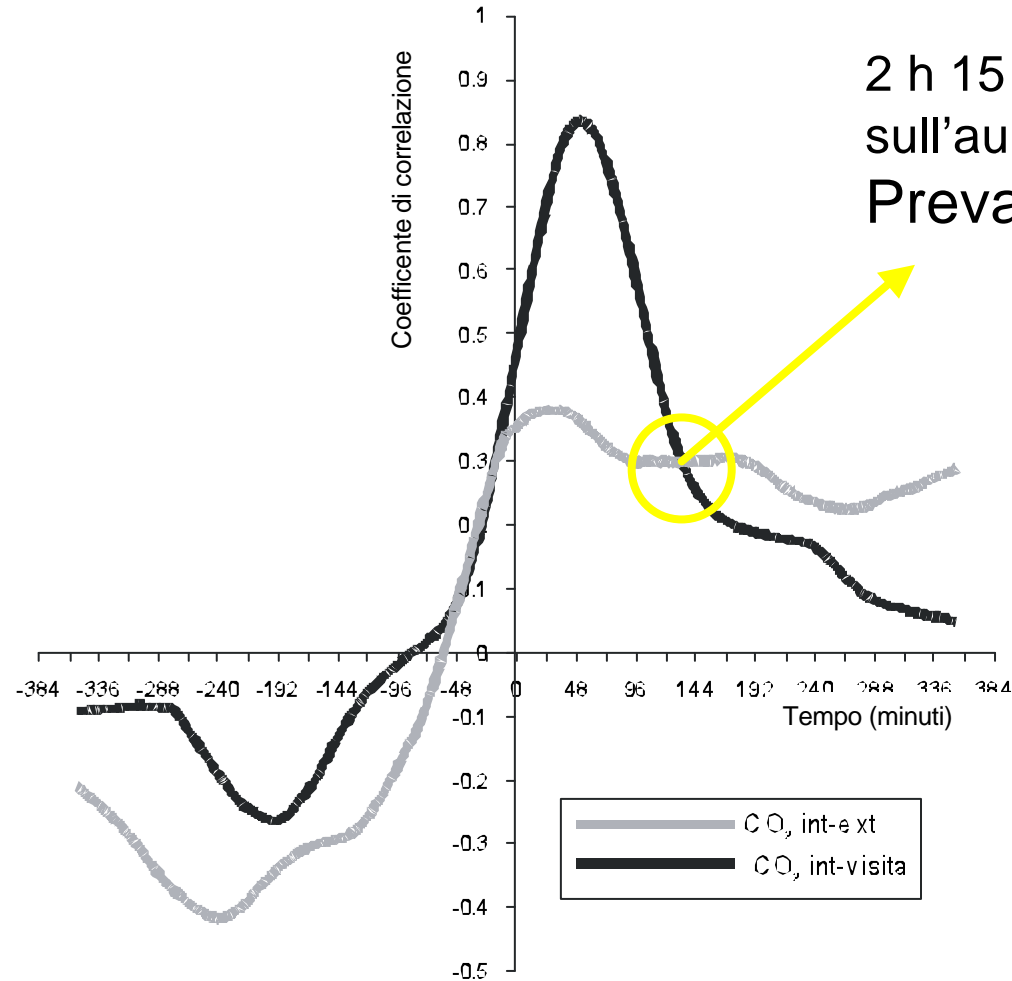


Prova di apertura al pubblico

Cueva de las Ventanas



2 h 15 min: Fine dell'influenza umana
sull'aumento di CO₂ all'interno:
Prevalgono i processi naturali.



- L'influenza della CO₂ esterna durante la visita è minima.

- Evidente l'influenza sulla concentrazione di CO₂, della presenza umana.



INDICE

Analisi preliminare e grafica dei dati

Esempio: La Cueva del Agua

Analisi di serie temporali

Esempio: La Cueva de las Ventanas

La geostatistica

Esempi: La Cueva del Agua, il Sistema Covadura



LA GEOSTATISTICA

Definizione: "Studio statistico di fenomeni naturali che si distribuiscono in modo continuo nello spazio o nel tempo".

Altre definizioni:

- Statistica applicata a dati geografici
- Statistica spaziale
- Gestione trattamento e interpretazione di dati spaziali
- Descrizione quantitativa di variabili naturali che si distribuiscono nello spazio o nello spazio e nel tempo (Chilès e Delfiner, 1999)

Geostatistica: “la applicazione della teoria delle funzioni aleatorie all’identificazione e alla stima di fenomeni naturali” (Matheron,1962).

You need not be a statistician to make good use of geostatistics, but you may need the assistance, support, guidance of a (geo?)statistician. A good engineer, ecologist, biologist, plant scientist, hydrologist, soil physicist already has a good start, because geostatistics is only good science brought up to date by the recognition that natural phenomena are subject to spatial variation. Your study of geostatistics will not displace other knowledge that you have; rather, it will extend your knowledge and make it more useful.

(William Edwards Deming)

- Rappresentazione spaziale di un fenomeno naturale (metodo di interpolazione)
- Variabili aleatorie intese come variabili regionali (Matheron, 1962)
- Fedele alla realtà: carattere strutturale di una variabile regionale
 - correlazione spaziale
 - anisotropia
 - variabilità massima in funzione dello spazio

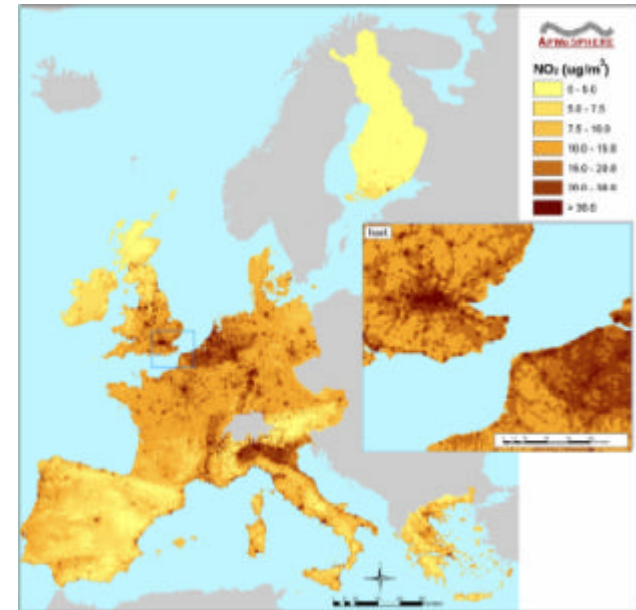
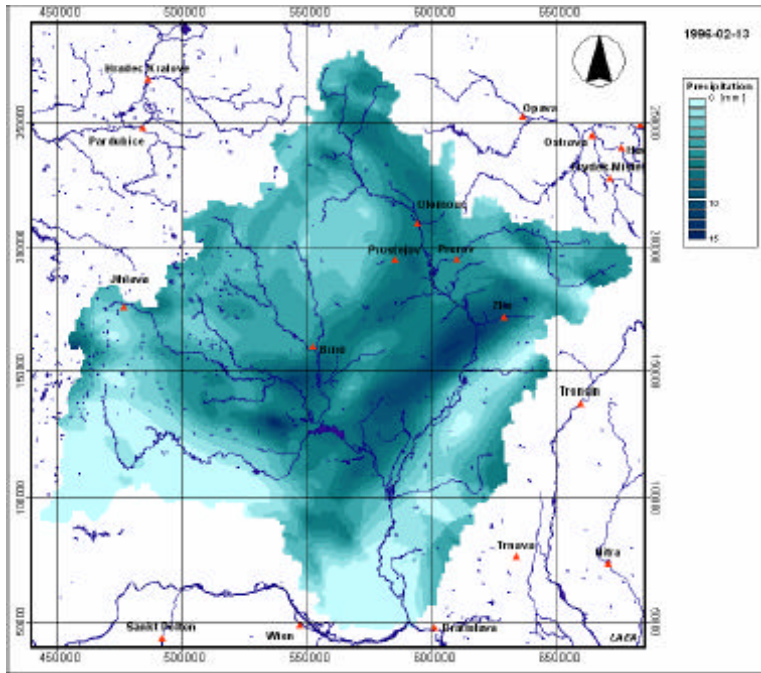


Figure 1. Nitrogen dioxide concentrations in the EU: results of universal kriging

- Rappresentazione spaziale di un fenomeno naturale (metodo di interpolazione)
- Variabili aleatorie intese come variabili regionali (Matheron, 1962)
- Fedele alla realtà: carattere strutturale di una variabile regionale
 - correlazione spaziale
 - anisotropia
 - variabilità massima in funzione dello spazio

AMBITI DI APPLICAZIONE

- Miniere
- Industria Petrolífera
- Geologia
- Meteorologia, Climatologia
- Cartografia dei suoli, Edafologia
- Idrologia e Idrogeologia
- Silvicultura
- Ecologia
- Patologia vegetale
- Epidemiologia
- Entomologia
- Bonifica di suoli contaminati
- Sanità

.....

PUNTI FONDAMENTALI DI UNO STUDIO GEOSTATISTICO.

1. Analisi preliminare dei dati
2. Analisi strutturale o variografia
3. Interpolazione o stima spaziale – kriging
4. Convalidazione del modello geostatistico

TEORIA DELLE VARIABILI REGIONALI

Le variabili spaziali solitamente non sono totalmente aleatorie ma presentano una certa struttura nella loro variabilità spaziale.

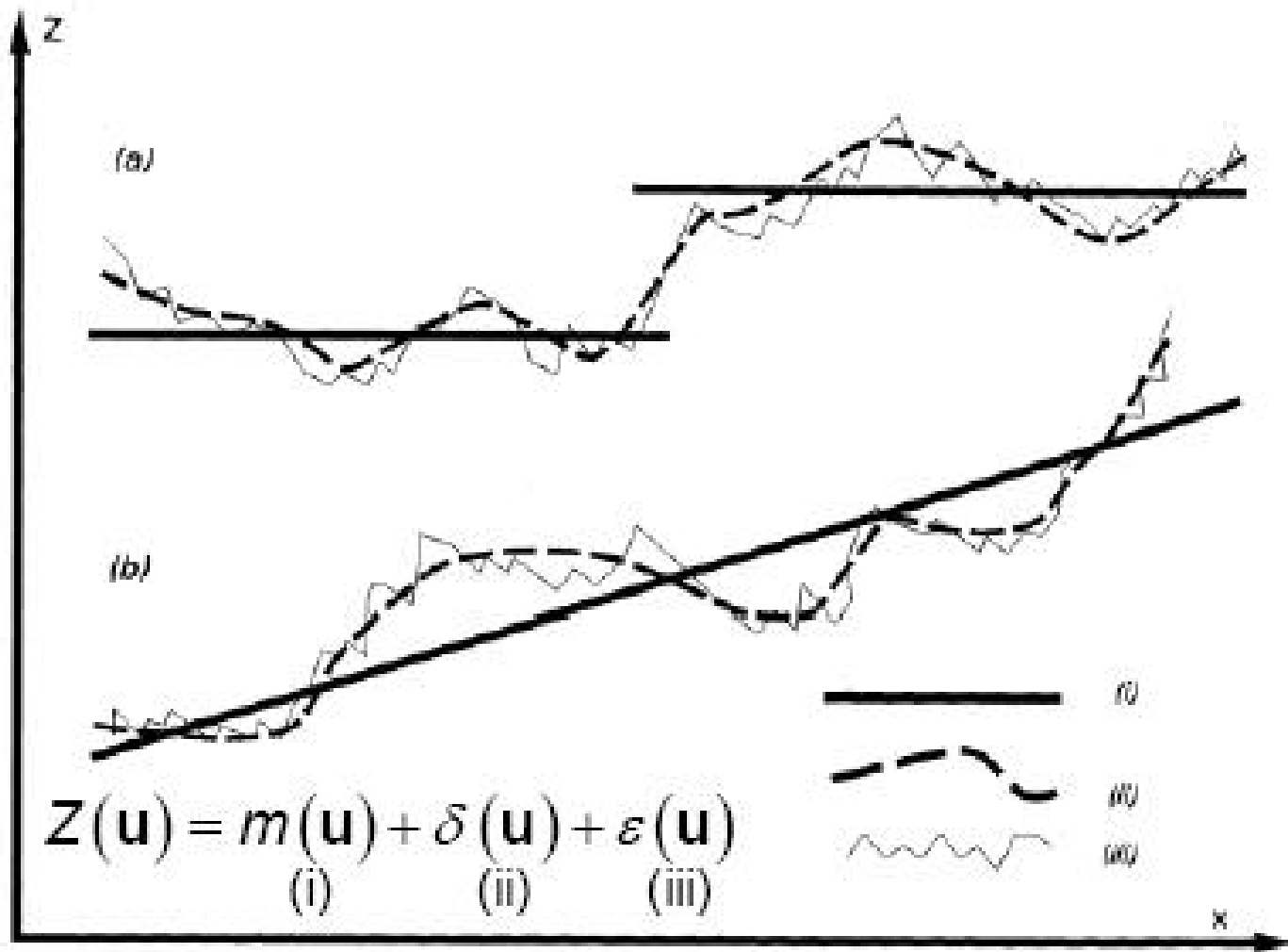
I punti vicini nello spazio/tempo assumono solitamente valori simili.

Variabile regionale (G. Matheron) = Variabile aleatoria che si distribuisce spazialmente.

Geostatistica: "Applicazione di metodi probabilistici a variabili regionali".

La teoria delle variabili regionali presuppone che si possa esprimere la variazione di qualsiasi variabile come la somma di tre componenti fondamentali:

- **COMPONENTE STRUTTURALE $\mu(\mathbf{u})$** : media costante o deriva, funzione deterministica.
- **COMPONENTE ALEATORIA SPAZIALMENTE DIPENDENTE $d(\mathbf{u})$** : stocastica, variabile localmente e spazialmente dipendente, residui di $\mu(\mathbf{u})$: la variabile regionale.
- **RUMORE DI FONDO**, spazialmente indipendente $\epsilon(\mathbf{u})$: errore aleatorio residuale con $N(0,1)$.



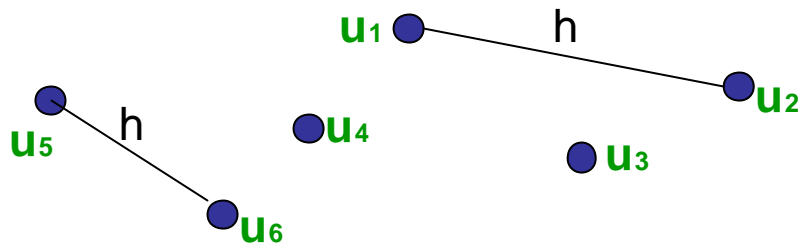
$$Z(\mathbf{u}) = \mu(\mathbf{u}) + \delta(\mathbf{u}) + \varepsilon(\mathbf{u})$$

La funzione variogramma quantifica la variabilità spaziale di un fenomeno.

Rappresenta in che modo un insieme di campioni di una variabile regionale cambia con la distanza e la direzione.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} \{z(u_{\alpha}) - z(u_{\alpha} + h)\}^2$$

- $N(h)$: numero di coppie di osservazioni separate da un vettore h .
- h : vettore di separazione, determina la distanza tra due osservazioni in una certa direzione



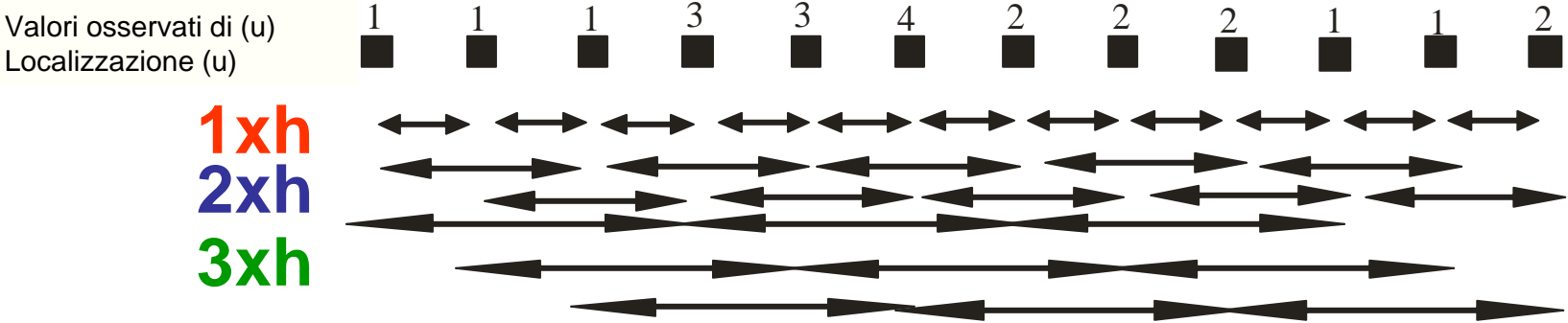
Differenza della variabile $x(u)$ tra punti separati da una distanza h .

METODO DI CALCOLO

- A. Variogramma semplice: differenze tra punti identificate da una sola variabile. (Krigage ordinario).
- B. Covariogramma: differenze tra punti identificate da più variabili (Cokrigage).
- C. Variogramma indicatore: Variabile discreta (Assenza / Presenza, 0/1) (Krigage bayesiano).
- D. Variogramma “di intervallo”: combinazione di C e di B. Dati precisi (hard data) e dati imprecisi (soft data). Per esempio per valutare la precisione di un sensore.

Costruzione del variogramma sperimentale

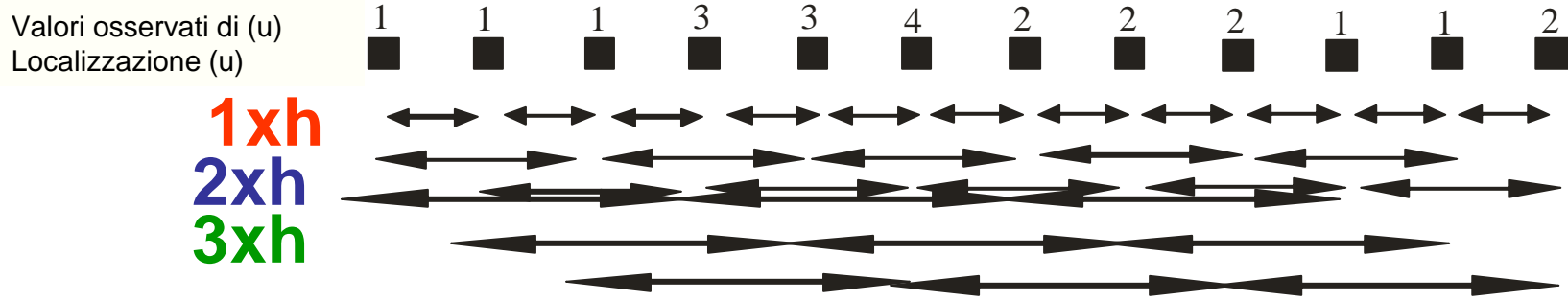
1. Esempio lineare (h=1)



N° dell'intervallo														
distanza	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Σ	$\gamma(h)$	N° copie
1xh	0	0	4	0	1	4	0	0	1	0	1	11	0.5	11
2xh	0	4	4	1	1	4	0	1	1	1		17	0.85	10
3xh	4	4	9	1	1	4	1	1	0			25	1.39	9

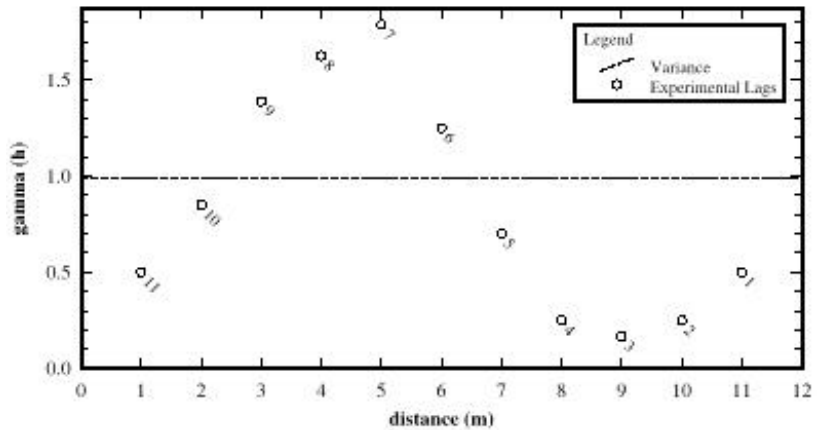
Costruzione del variogramma sperimentale

1. Esempio lineare (h=1)

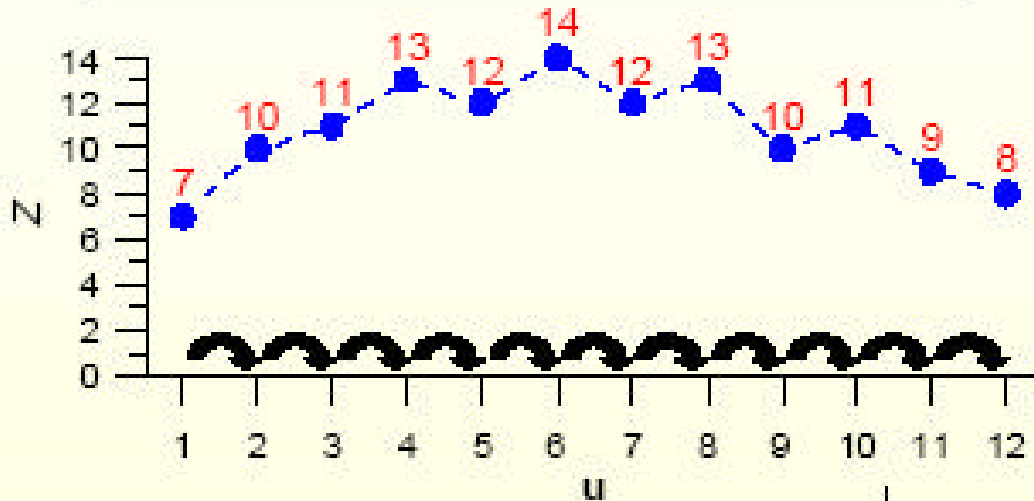


Linear Data Set Experimental Semivariogram

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [x(u) - x(u+h)]^2$$



CAMPIONAMENTO REGOLARE IN UNA DIMENSIONE



$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} \{z(u_{\alpha}) - z(u_{\alpha} + h)\}^2$$

$$\begin{aligned} h = 1: & (10-7)^2 + (11-10)^2 + (13-11)^2 \\ & + (12-13)^2 + (14-12)^2 + (12-14)^2 \\ & + (13-12)^2 + (10-13)^2 + (11-10)^2 \\ & + (9-11)^2 + (8-9)^2 = 39 \end{aligned}$$

$$N(1) = 11$$

$$\hat{\gamma}(1) = 39/22 = 1.78$$

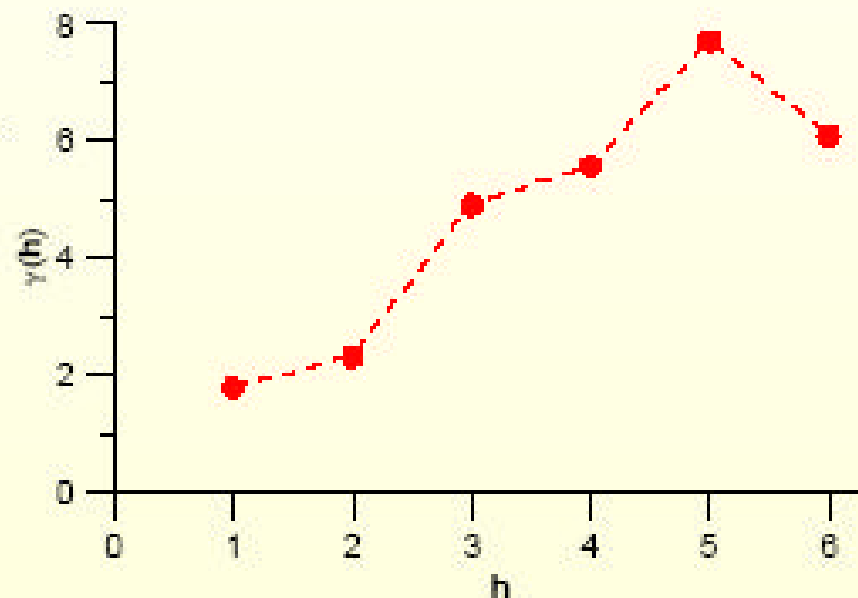
$$\begin{aligned} h = 2: & (11-7)^2 + (13-10)^2 + (12-11)^2 \\ & + (14-13)^2 + (12-12)^2 + (13-14)^2 \\ & + (10-12)^2 + (11-13)^2 + (9-10)^2 \\ & + (8-11)^2 = 46 \end{aligned}$$

$$N(2) = 10$$

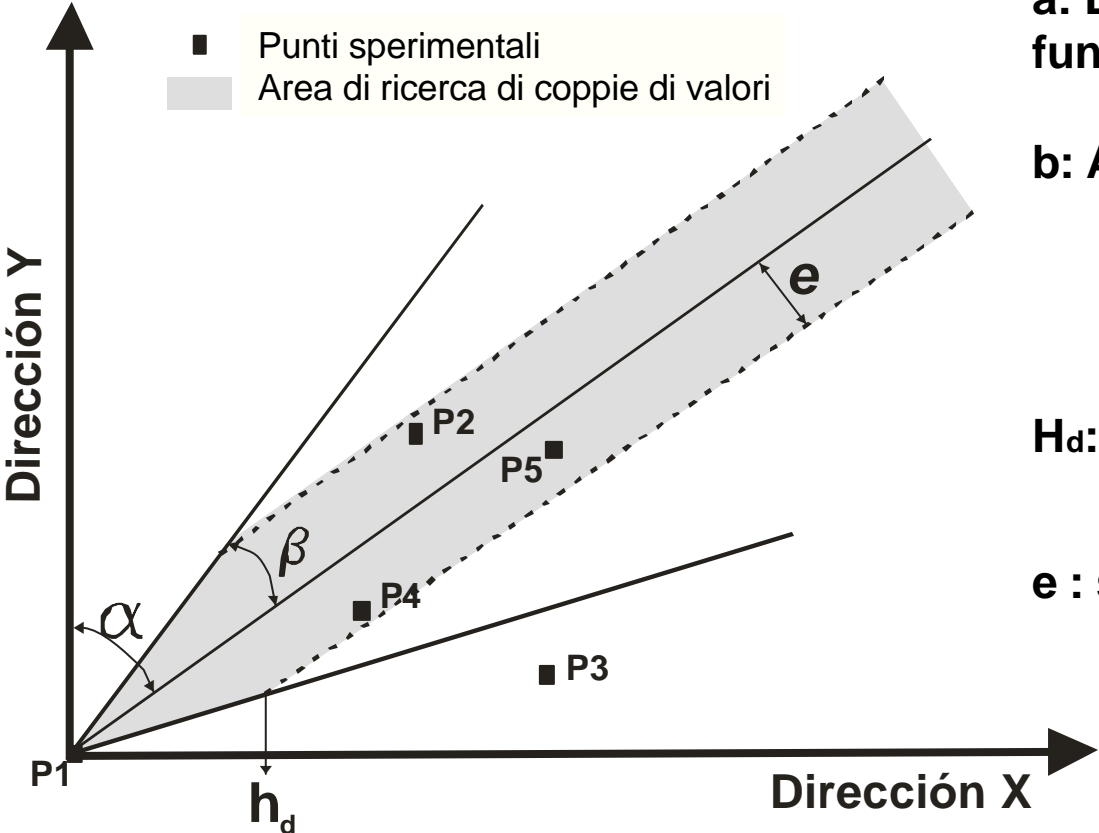
$$\hat{\gamma}(2) = 46/20 = 2.30 \quad 48$$

CAMPIONAMENTO REGOLARE IN UNA DIMENSIONE

h	N(h)	$\sum_{\alpha=1}^{N(h)} \{z(\mathbf{u}_{\alpha}) - z(\mathbf{u}_{\alpha} + \mathbf{h})\}^2$	$\hat{\gamma}(\mathbf{h})$
1	11	39	1.78
2	10	46	2.30
3	9	88	4.89
4	8	89	5.56
5	7	108	7.71
6	6	73	6.08



Costruzione del variogramma sperimentale: isotropico / anisotropico



a: Direzione di costruzione della funzione variogramma

b: Angolo di tolleranza

90° : isotropico
 <90° : direzionale

Hd: distanza di applicazione di b

e : spessore di ricerca

Alcune regole generali:

$N > 100$ nel caso dell'isotropia e $N < 250$ nel caso dell'anisotropia.

“più punti abbiamo meglio è” (il numero di osservazioni è in molte occasioni insufficiente per l'applicazione della geostatistica).

Il numero totale delle coppie di osservazioni è: $N(N-1)/2$

Il numero di coppie su cui si basa il calcolo dei punti del variogramma dovrebbe essere almeno 30 – 50.

Il passo h massimo del variogramma dovrebbe essere inferiore alla metà della dimensione massima della zona di studio: $h_{max} < L/2$.

Costruzione del variogramma sperimentale: esempio Variowin 2. (Pannatier, 1996)

Direct Directional Variogram

Variable

Temp-Abr02
CO2-Abr02

Lag parameters

Lag spacing: 10.00
Lag tolerance: default
Number of lags: 9

Direction parameters

Direction: 0
Angular tolerance: 90
Maximum bandwidth: no limits

OK

Cancel

Change default title...

a: Direzione di costruzione della funzione variogramma

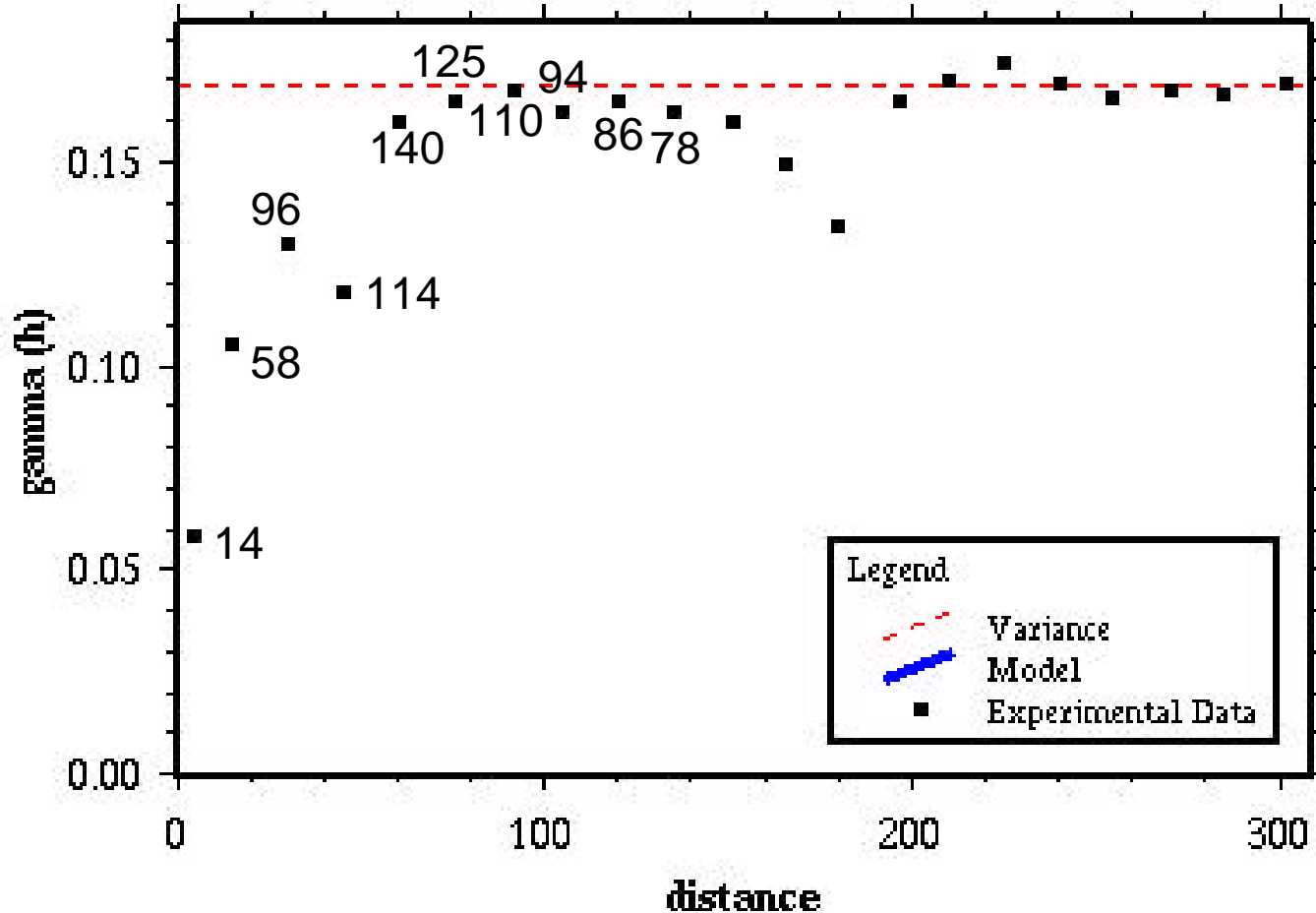
b: Angolo di tolleranza

90° : isotropico
<90° : direzionale

H_d: distanza di applicazione di b

e : spessore di ricerca

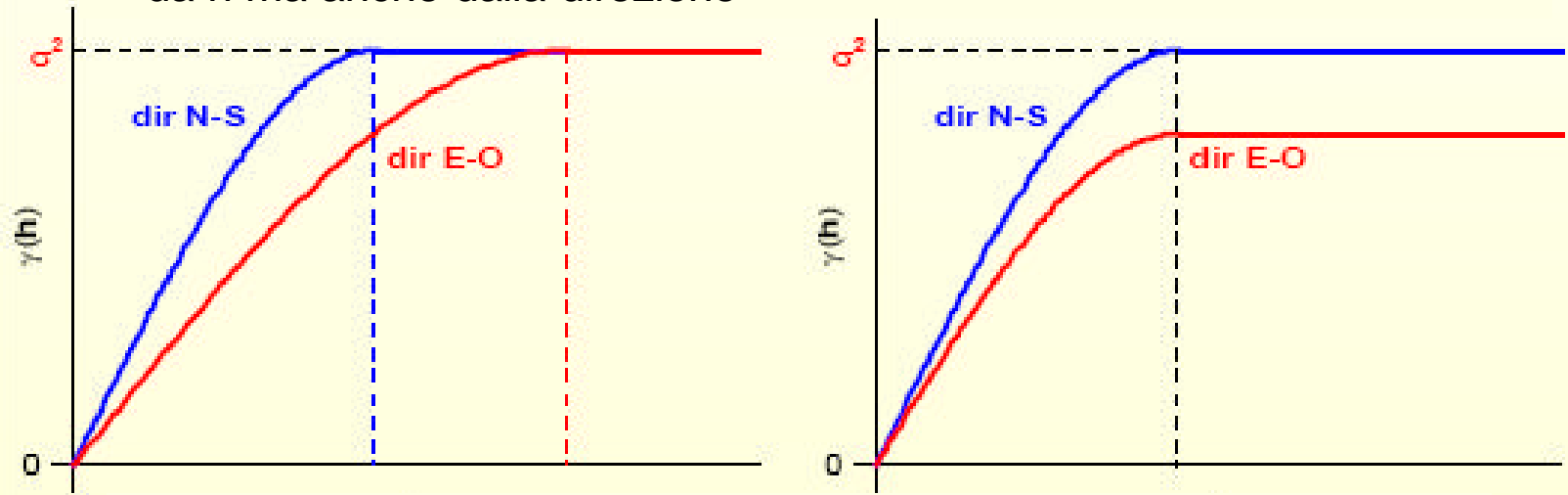
Costruzione del variogramma sperimentale: rappresentazione grafica



Variogramma sperimentale: interpretazione grafica

Variabilità anisotropica:

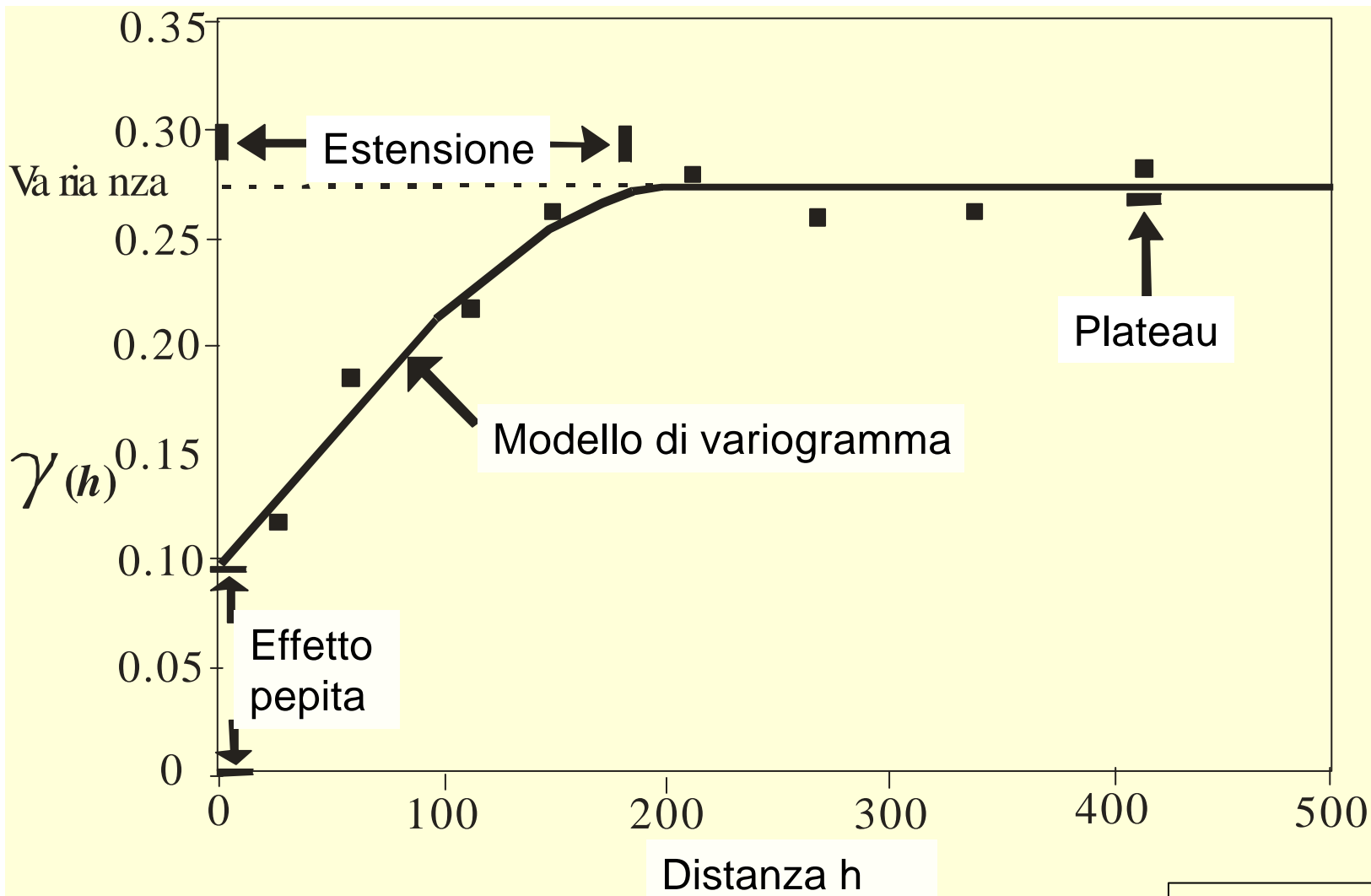
1. ISOTROPIA: La variazione spaziale della variabile in studio è uguale in tutte le direzioni.
2. ANISOTROPIA: La semivarianza non dipende solo da h ma anche dalla direzione



Anisotropia geometrica

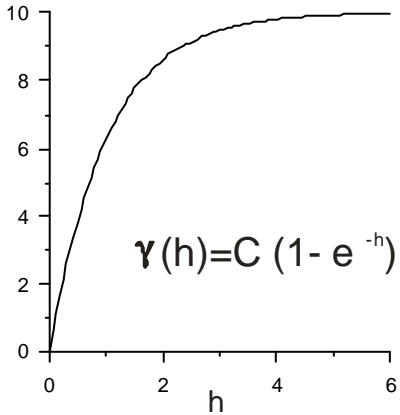
Anisotropia zonale

In pratica si ha una combinazione delle due

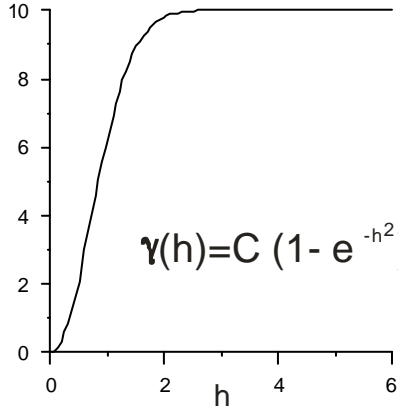


Autore:
Geol. Angel Fernandez Cort

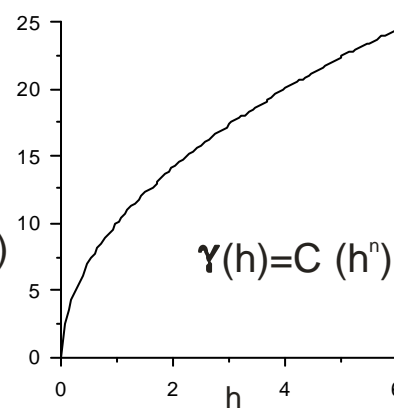
**Modelo exponencial
(Cressie, 1991)**



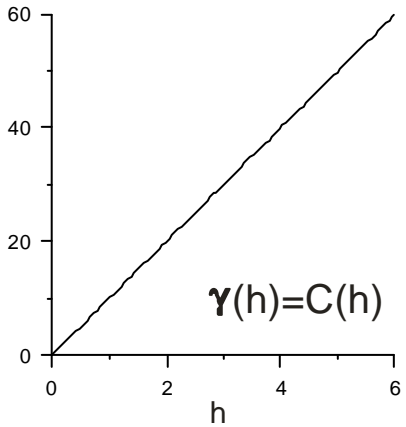
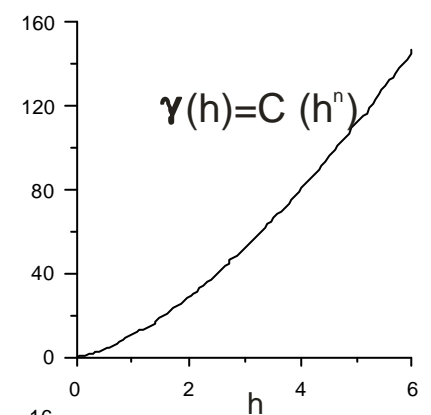
**Modelo gaussiano
(Pannatier, 1996)**



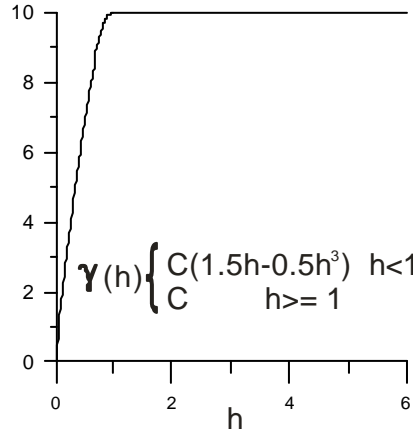
**Modelo potencia (0<n<1)
(Pannatier, 1996)**



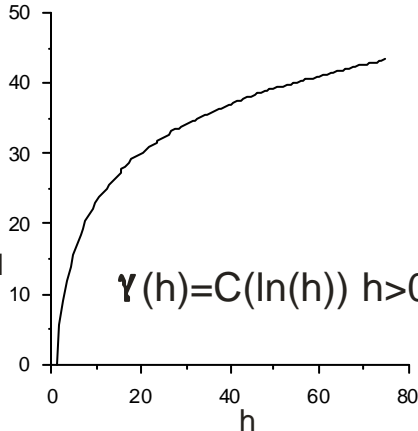
**Modelo potencia (1<n<2)
(Pannatier, 1996)**



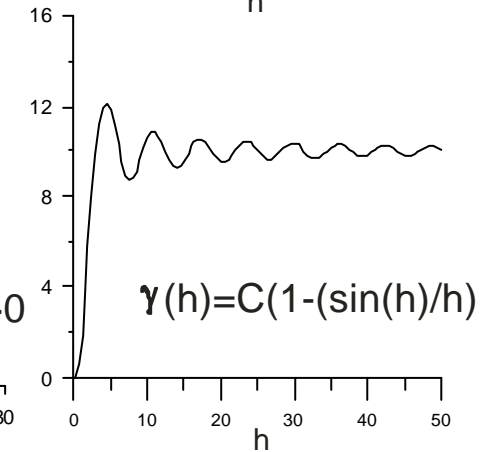
**Modelo lineal
(Kitanidis, 1997)**



**Modelo esférico
(Pannatier, 1996)**

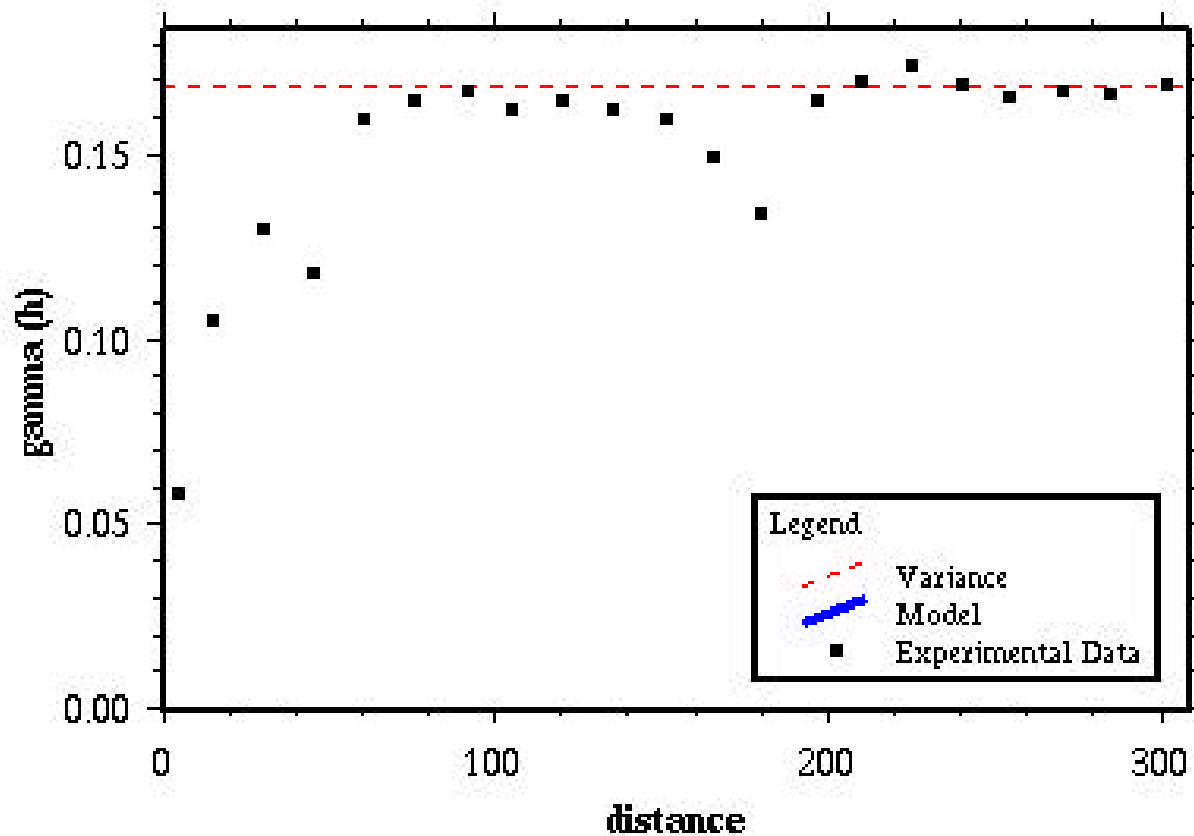


**Modelo logarítmico
(Kitanidis, 1997)**



**Modelo "efecto agujero"
(Kitanidis, 1997)**

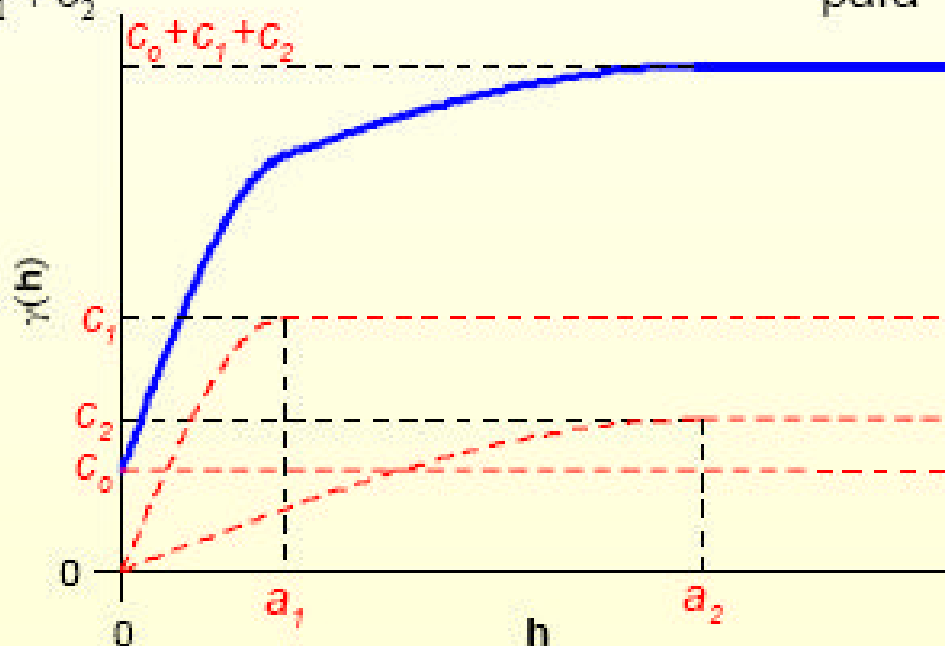
Fitting Model Semivariogram



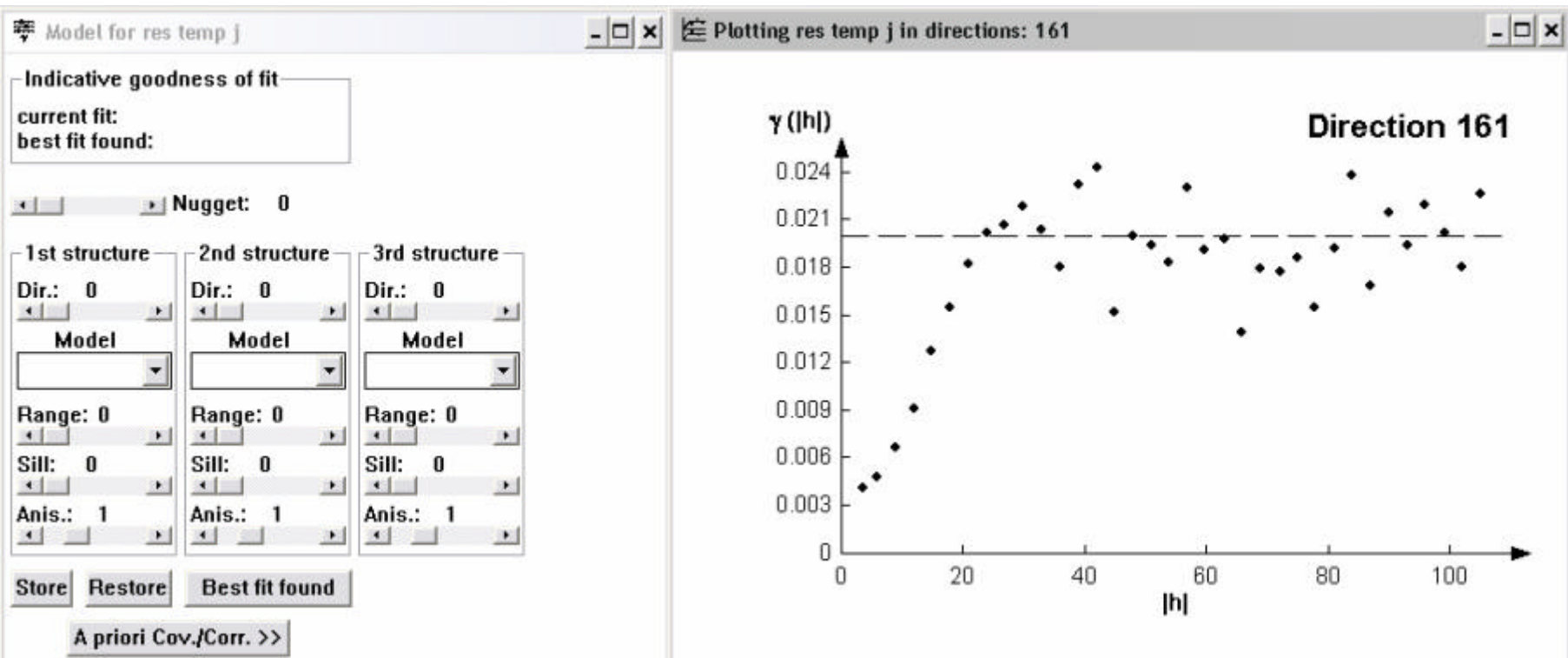
Combinazione di modelli

$$\gamma(\mathbf{h}) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left\{ \frac{3\mathbf{h}}{2a_1} - \frac{1}{2} \left(\frac{\mathbf{h}}{a_1} \right)^3 \right\} + C_2 \left\{ \frac{3\mathbf{h}}{2a_2} - \frac{1}{2} \left(\frac{\mathbf{h}}{a_2} \right)^3 \right\} & \text{para } 0 < \mathbf{h} \leq a_1 \\ C_0 + C_1 + C_2 \left\{ \frac{3\mathbf{h}}{2a_2} - \frac{1}{2} \left(\frac{\mathbf{h}}{a_2} \right)^3 \right\} & \text{para } a_1 < \mathbf{h} \leq a_2 \\ C_0 + C_1 + C_2 & \text{para } \mathbf{h} > a_2 \end{cases}$$

Modello sferico doppio



Modellizzazione del variogramma: esempio Variowin 2. (Pannatier, 1996)



INTERPOLAZIONE O STIMA SPAZIALE – KRIGEATO

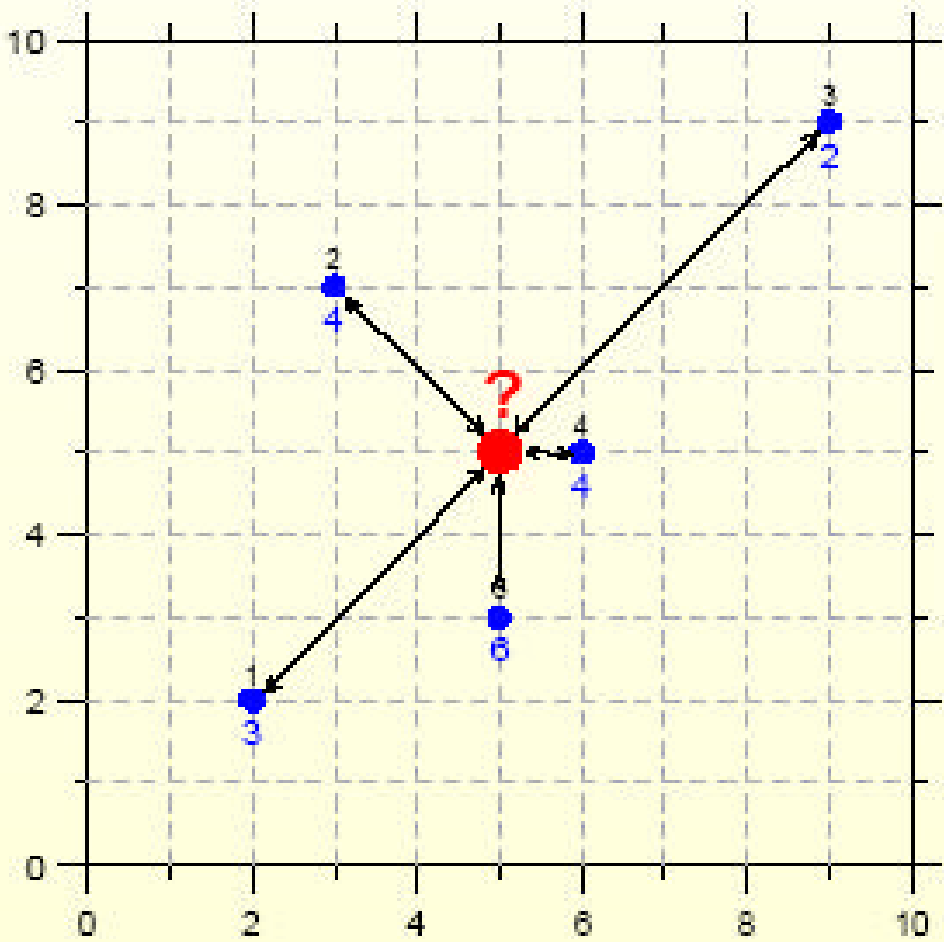
Stima in punti dove non disponiamo di osservazioni (nodi di un reticolo regolare).

Tenere presente la correlazione spaziale (il semivariogramma).

Stima puntuale o a blocchi (2,3D).

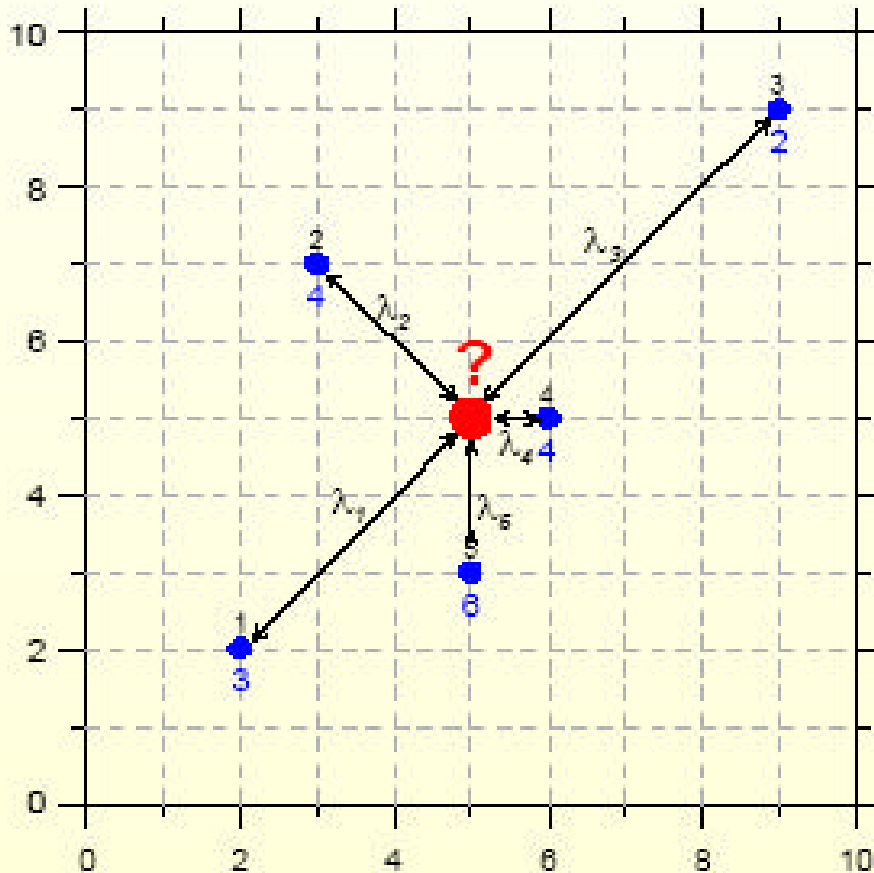
Krigeato semplice, krigeato ordinario, krigeato universale, ...

Incorporare tutte le informazioni disponibili: variabili secondarie, immagini da Satellite, MDE's



Come calcolare il valore nel punto rosso?

INTERPOLAZIONE SPAZIALE

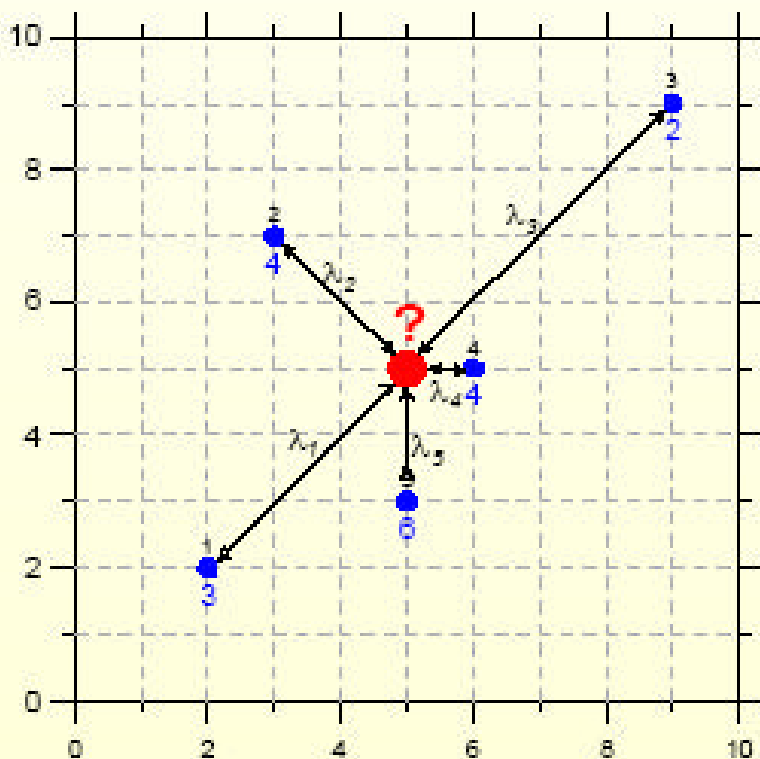


Media ponderata
dei dati

$$z^*(\mathbf{u}_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(\mathbf{u}_i)$$

$$\Rightarrow \lambda_j = ?$$

Come calcolare la media ponderata per stimare il valore nel punto u_0 utilizzando i dati dei punti u_i ?



- Calcolo basato sulla conoscenza delle covarianze (semivariogramma) tra i VA nei punti di osservazione.
- Regressione multipla posta in un contesto spaziale: Kriging (secondo D.G.Krige)

$$Z_{KO}^*(\mathbf{u}_0) = \sum_{i=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_{KO}^i Z(\mathbf{u}_i)$$

78

$$Z_{KO}^*(\mathbf{u}) = \sum_{i=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_i^{KO} Z(\mathbf{u}_i)$$

Bisogna calcolare i fattori in modo che siano soddisfatte queste due condizioni:

1. Stima incrociata $E[Z_{KO}^*(\mathbf{u}) - Z(\mathbf{u})] = 0$

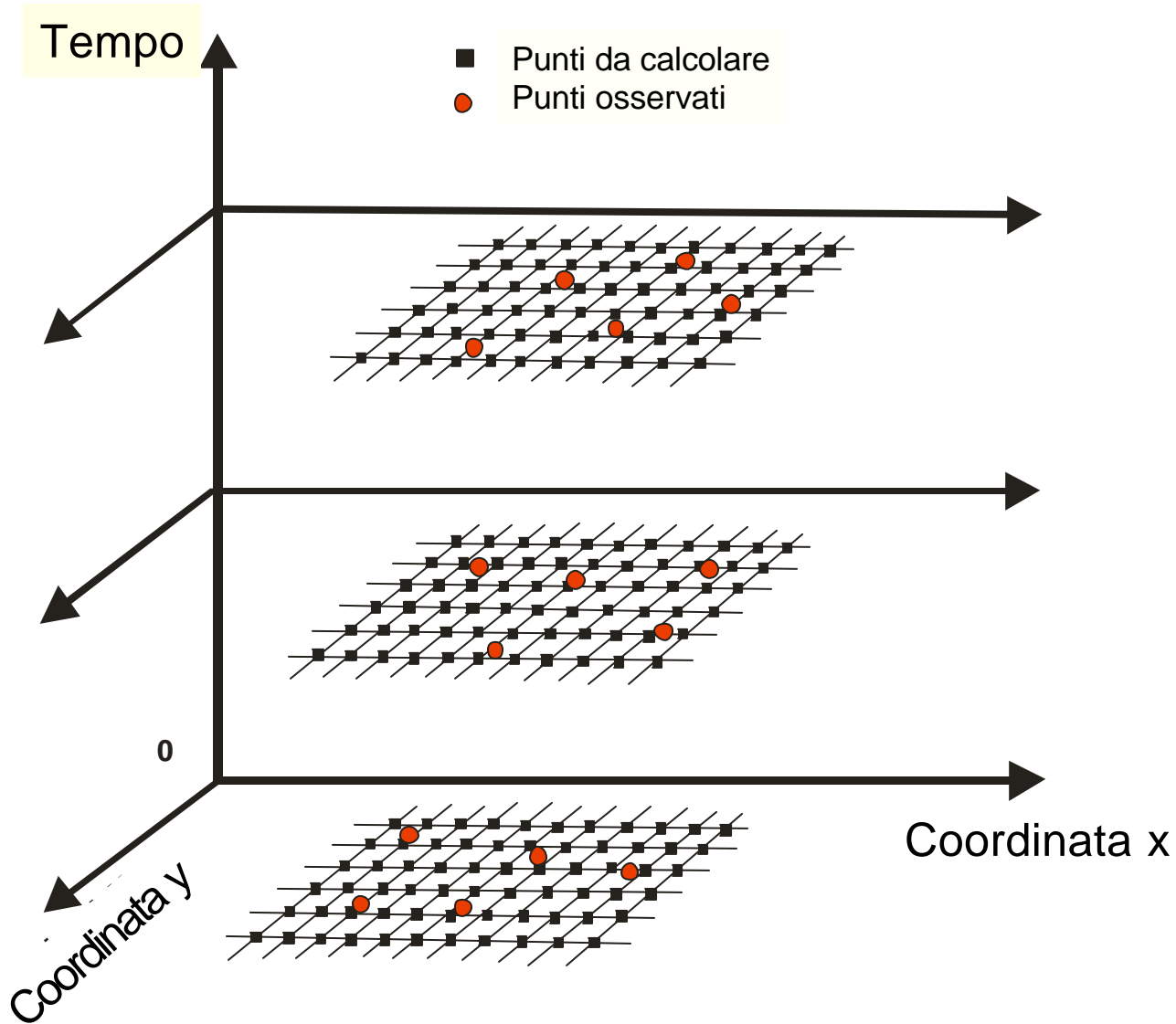
2. Stima con varianza dell'errore di stima minima

$$\text{var}[Z_{KO}^*(\mathbf{u}) - Z(\mathbf{u})] = \text{minima}$$

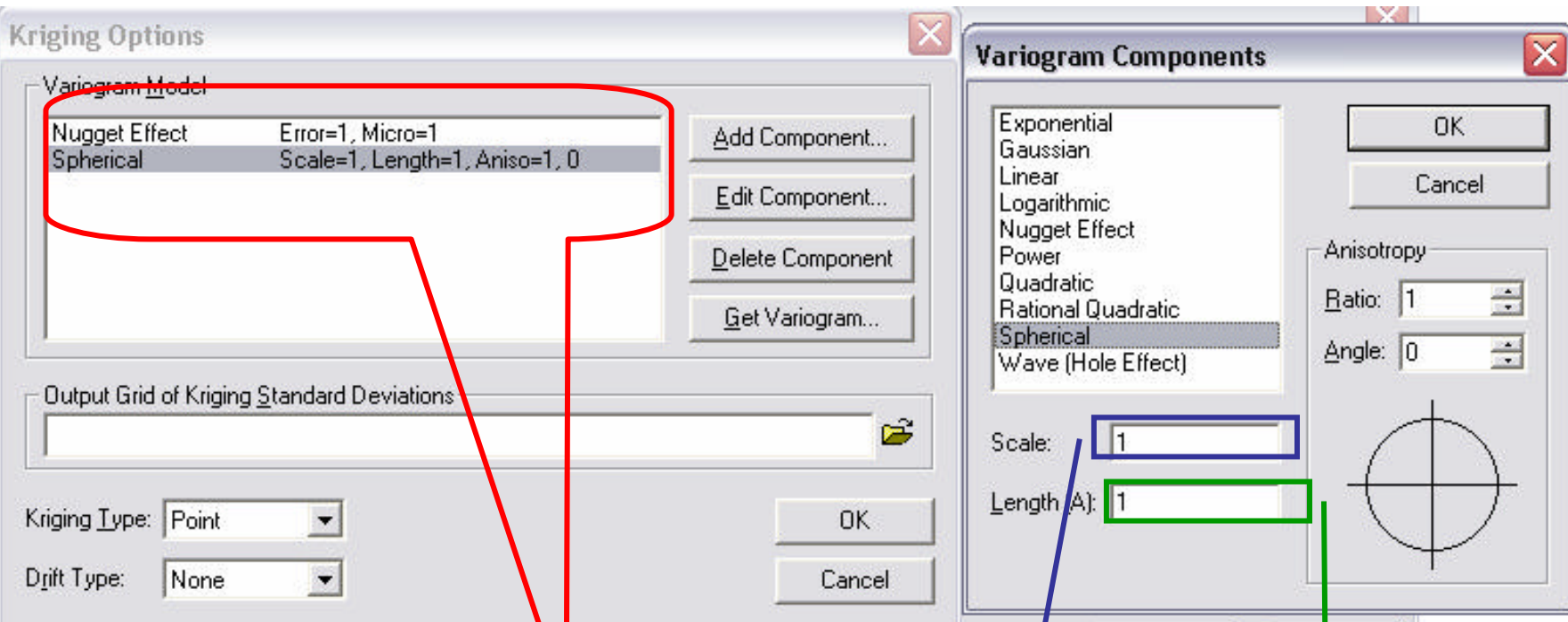
INTERPOLAZIONE OTTIMALE

La stima incrociata richiede che:

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^{n(\mathbf{u})} \lambda_i^{KO} = 1$$



Krigeage – Informazione strutturale del modello di variogramma: ejemplo Surfer 7



Modello di variogramma (struttura a nido)

**Plateau
(Sill)**

**Estensione
(Range)**

DOVE TROVARE ALTRE INFORMAZIONI?

Armstrong, M., 1998. *Basic Linear Geostatistics*. Springer Verlag, Berlin.

Chilés, J.P. y P. Delfiner, 1999. *Geostatistics. Modeling Spatial Uncertainty*. John Wiley & Sons, Nueva York.

David, M., 1977. *Geostatistical Ore Reserve Estimation*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

***Davis, J.C.**, 1973. *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley & Sons, Nueva York.

***Deutsch, C.V. y A.G. Journel**, 1998. *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide (segunda edición)*. Oxford University Press, Nueva York.

***Goovaerts, P.**, 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, Nueva York.

***Isaaks, E.H., Srivastava, R.M.**, 1989. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, Nueva York.

Journel, A.G. y C.J. Huijbregts, 1978. *Mining Geostatistics*. Academic Press, Londres.

***Oliver, M.A. y R. Webster**, 1990. *Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey*. Oxford University Press, Oxford.

Pannatier, Y., 1996. *VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D*. Springer Verlag, Nueva York.

DOVE TROVARE ALTRE INFORMAZIONI ?

***Webster R. y M.A. Oliver**, 2001. *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley & Sons, Chichester.

Christakos, G., P. Bogaert y M.Serre, 2002. *Temporal GIS. Advanced Functions for Field-Based Applications*. Springer. Heidelberg.

RIVISTE

Mathematical Geology, Geoderma, European Journal of Soil Sciences, Computers and Geosciences, Water Resources Research, Soil Science Society of America Journal, ...

LINKS www

- **Ai-geostats**: <http://www.ai-geostats.org>
- **Geostatistical Analysis Tutor**: <http://uncert.mines.edu/tutor/>

PROGRAMMI INFORMATICI

Geo-EAS, GSLIB, GSTAT, VARIOWIN, VESPER, R+, SADA, WINGSLIB, GS+, S+, MATLAB, IDRISI, SURFER, ARCGIS GEOSTATISTICAL ANALIST, ...





INDICE

Analisi preliminare e grafica dei dati

Esempio: La Cueva del Agua

Analisi di serie temporali

Esempio: La Cueva de las Ventanas

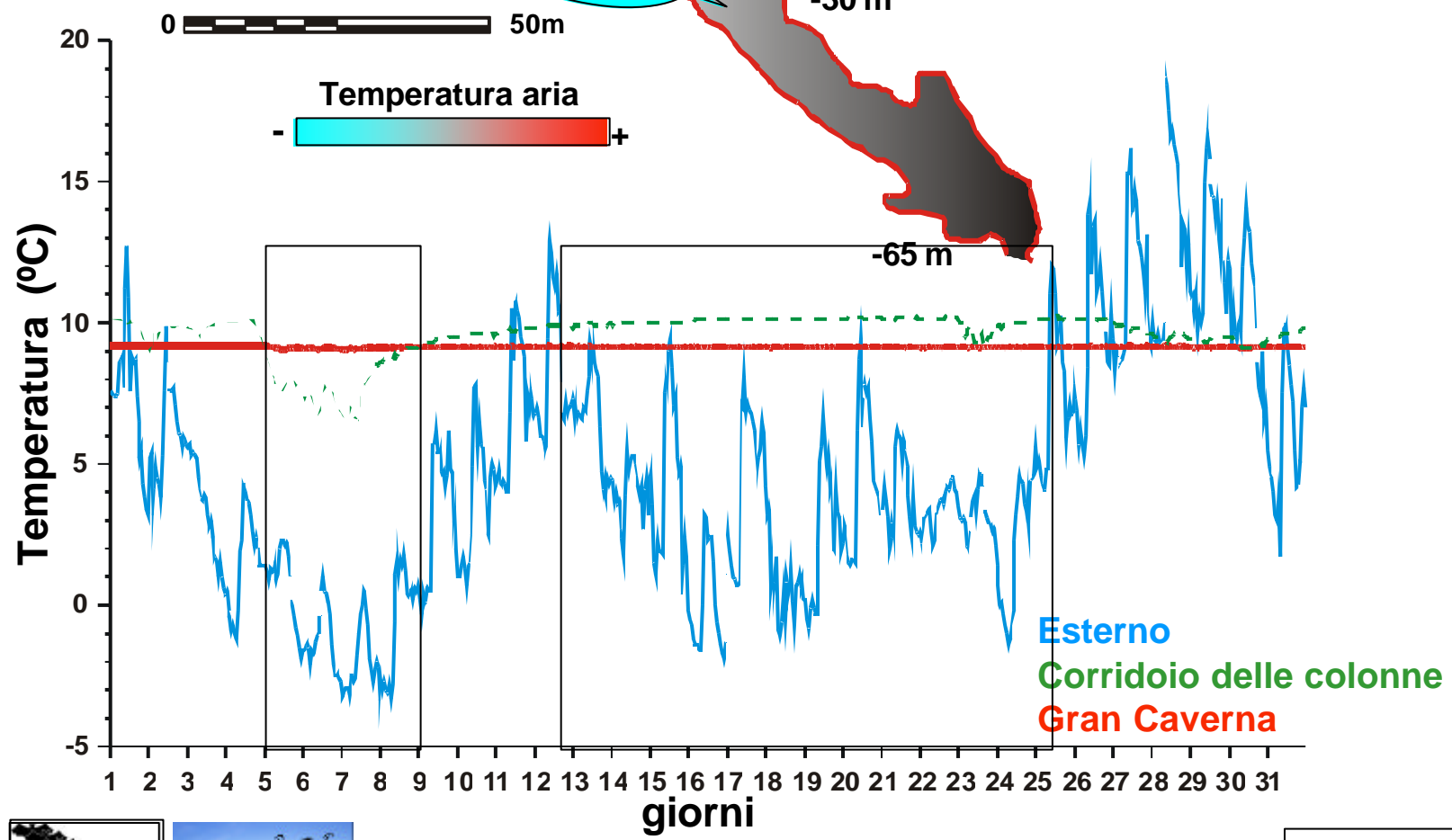
La geostatistica

Esempi: La Cueva del Agua, il Sistema Covadura

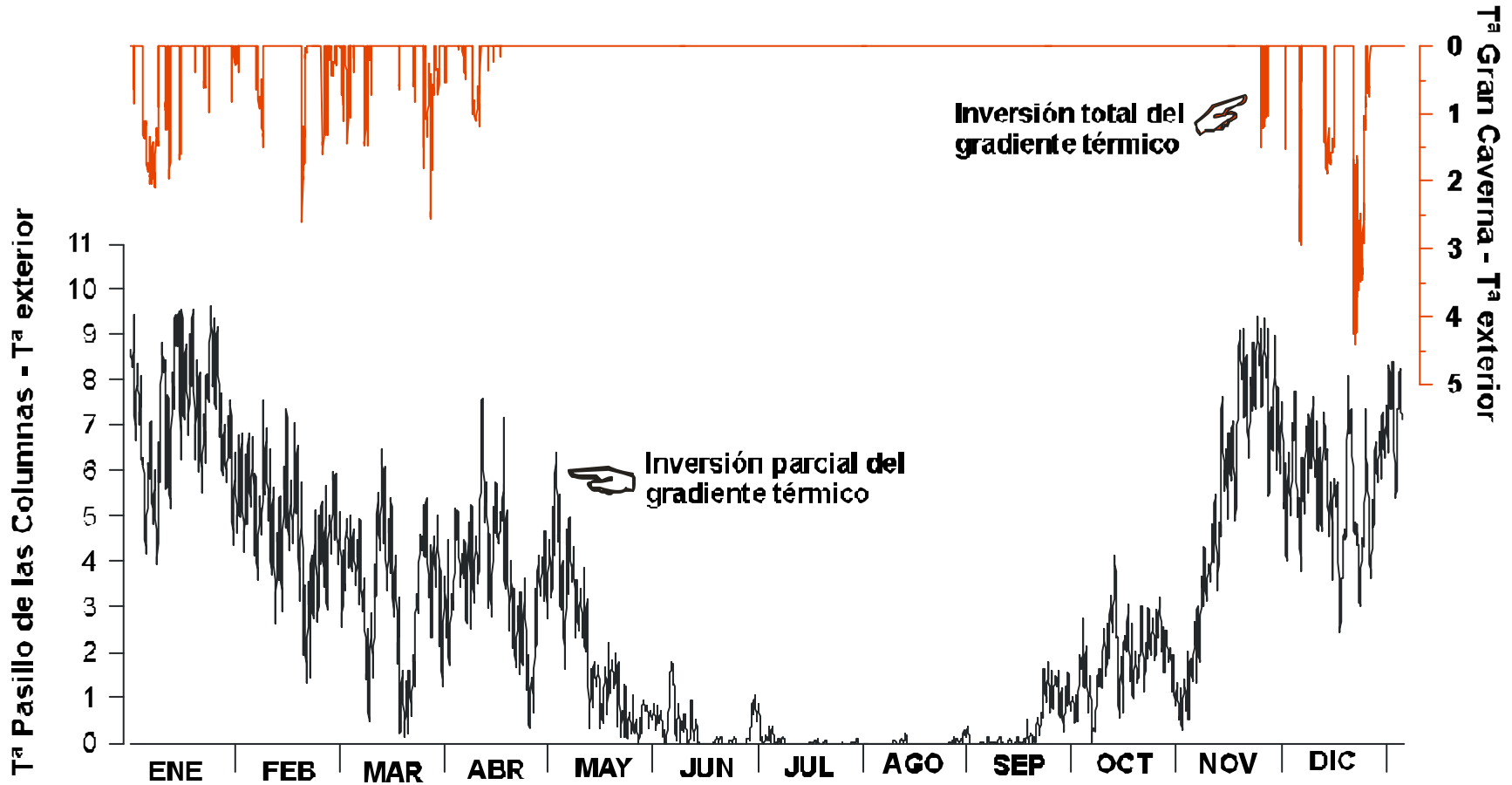


Esempio: Analisi grafica e geoestatistica per caratterizzare il microclima della Cueva del Agua (Granada, España).

Condizioni naturali: Inversioni di gradiente térmico

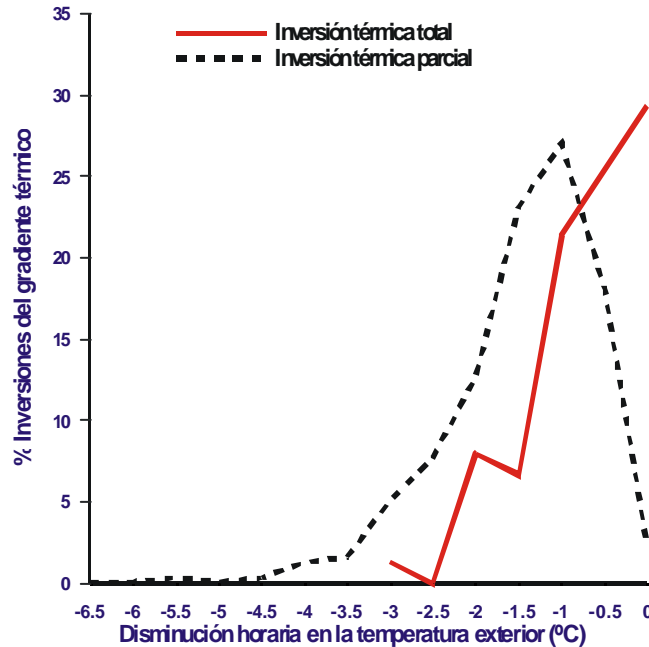


Condizione naturali: Inversioni di gradiente termico

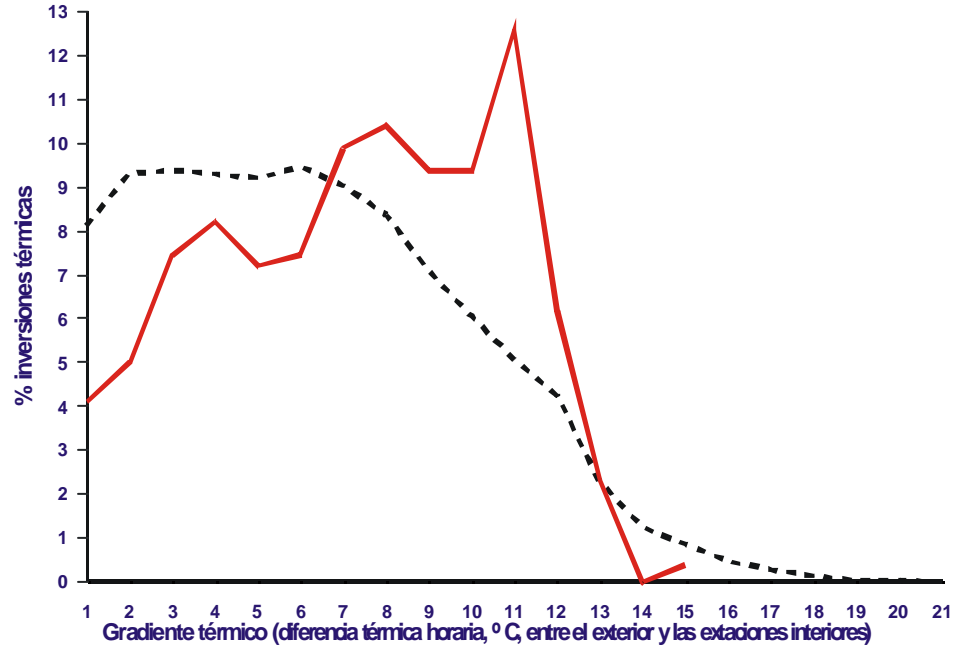


Condizione naturali: Inversioni di gradiente termico

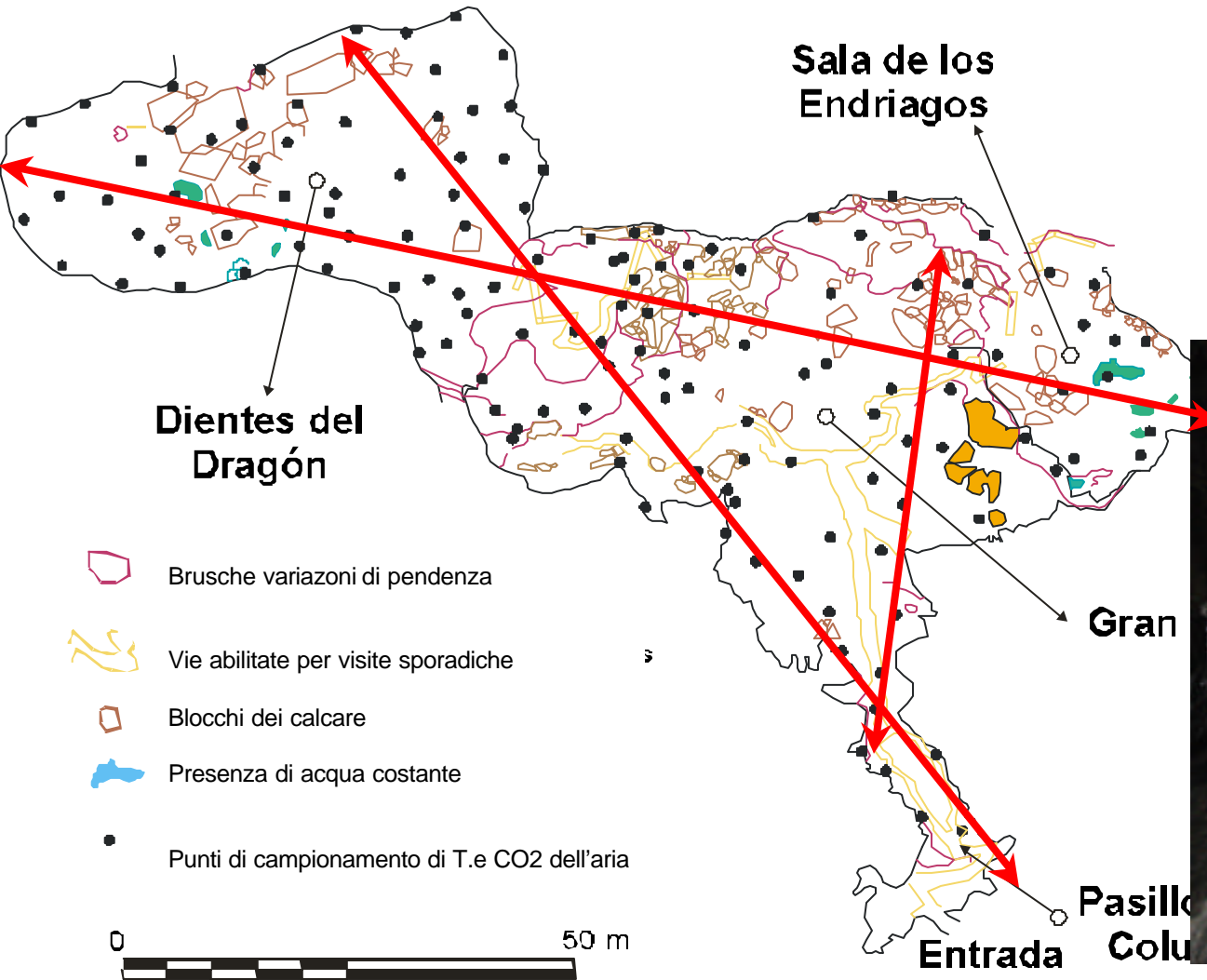
Diminuzione della temperatura all'esterno



Intensità di gradiente



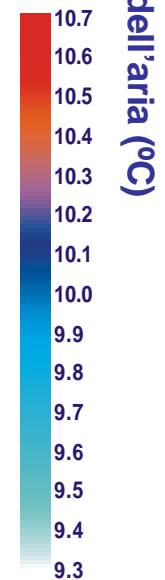
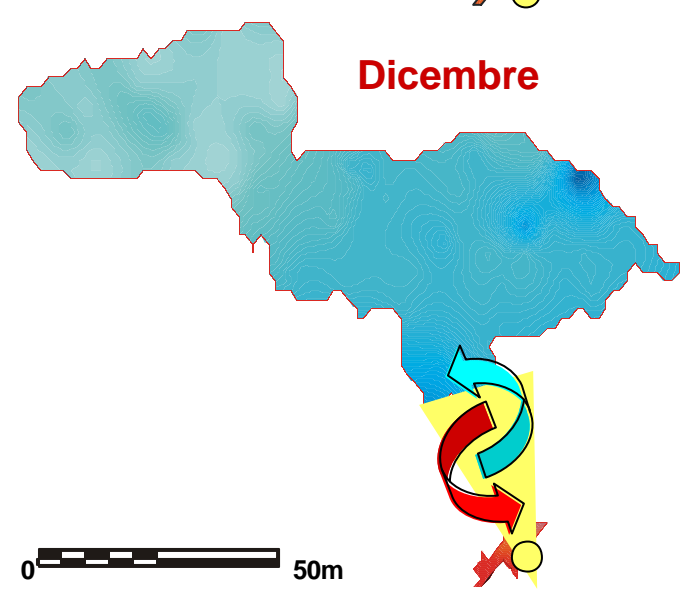
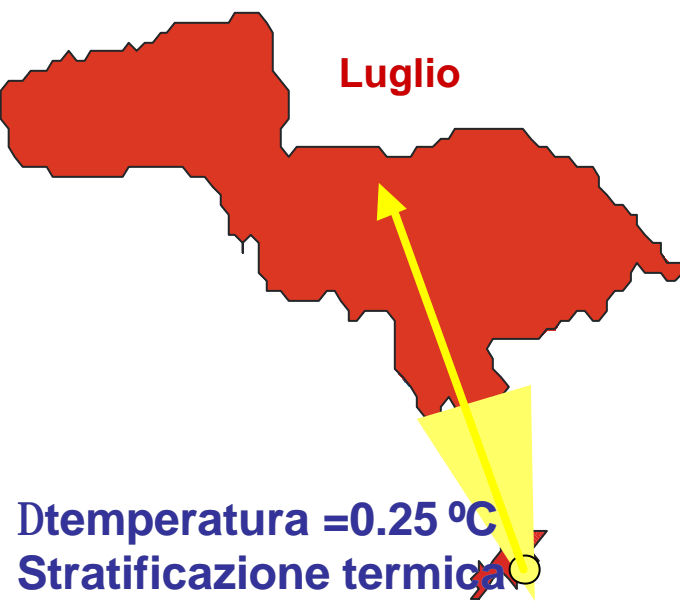
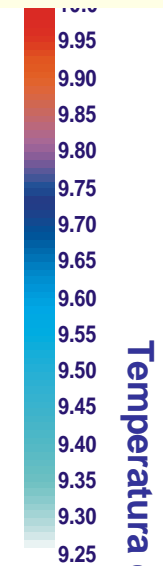
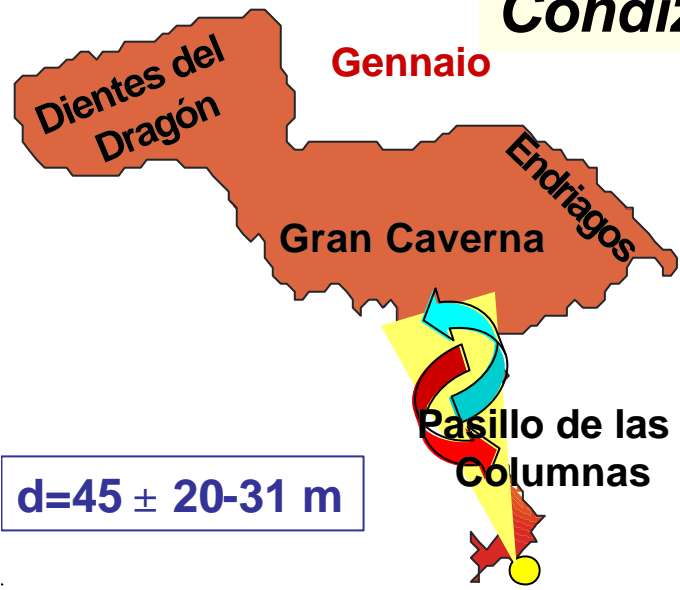
Rete spaziale di controllo microclimático

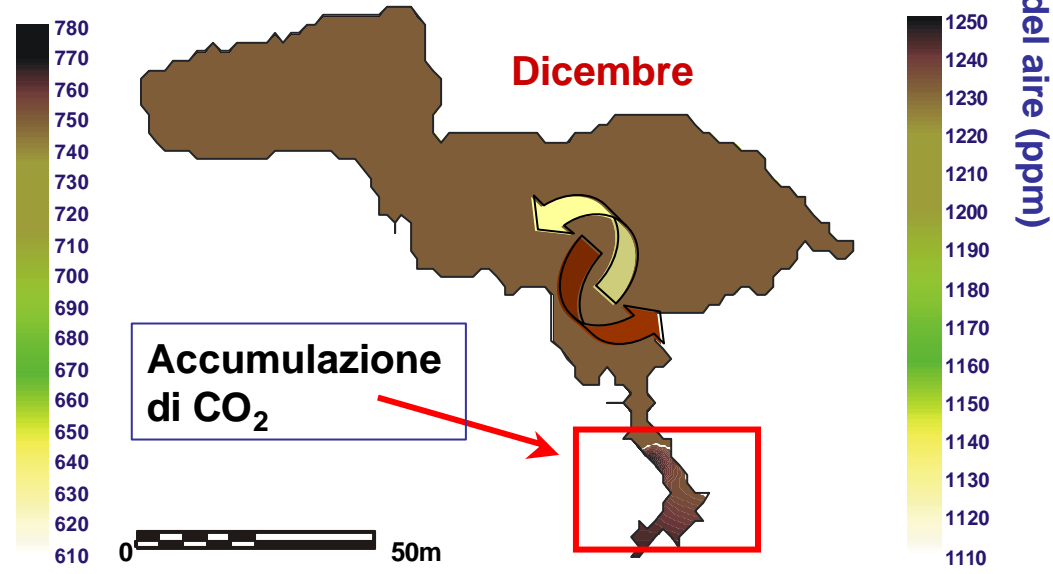
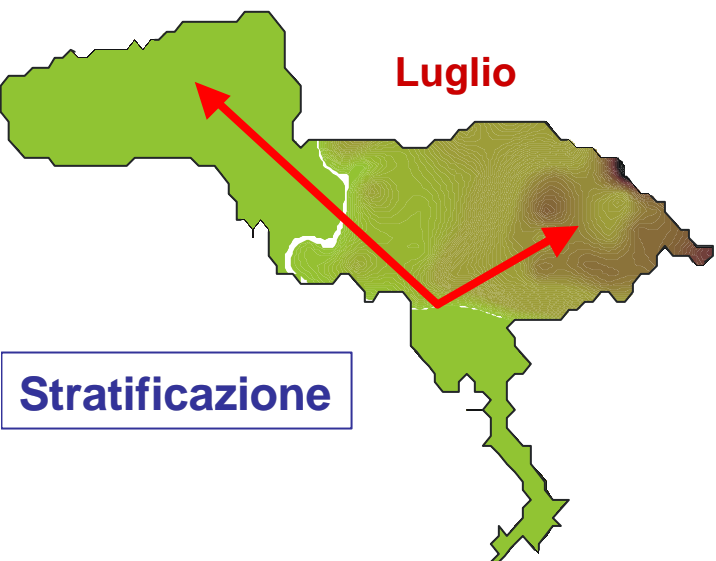


Condizioni naturali
Topografía detallat
140 puntos riflettenti
Krigage residuale
interattivo



Condizioni naturali: Temperatura dell'aria



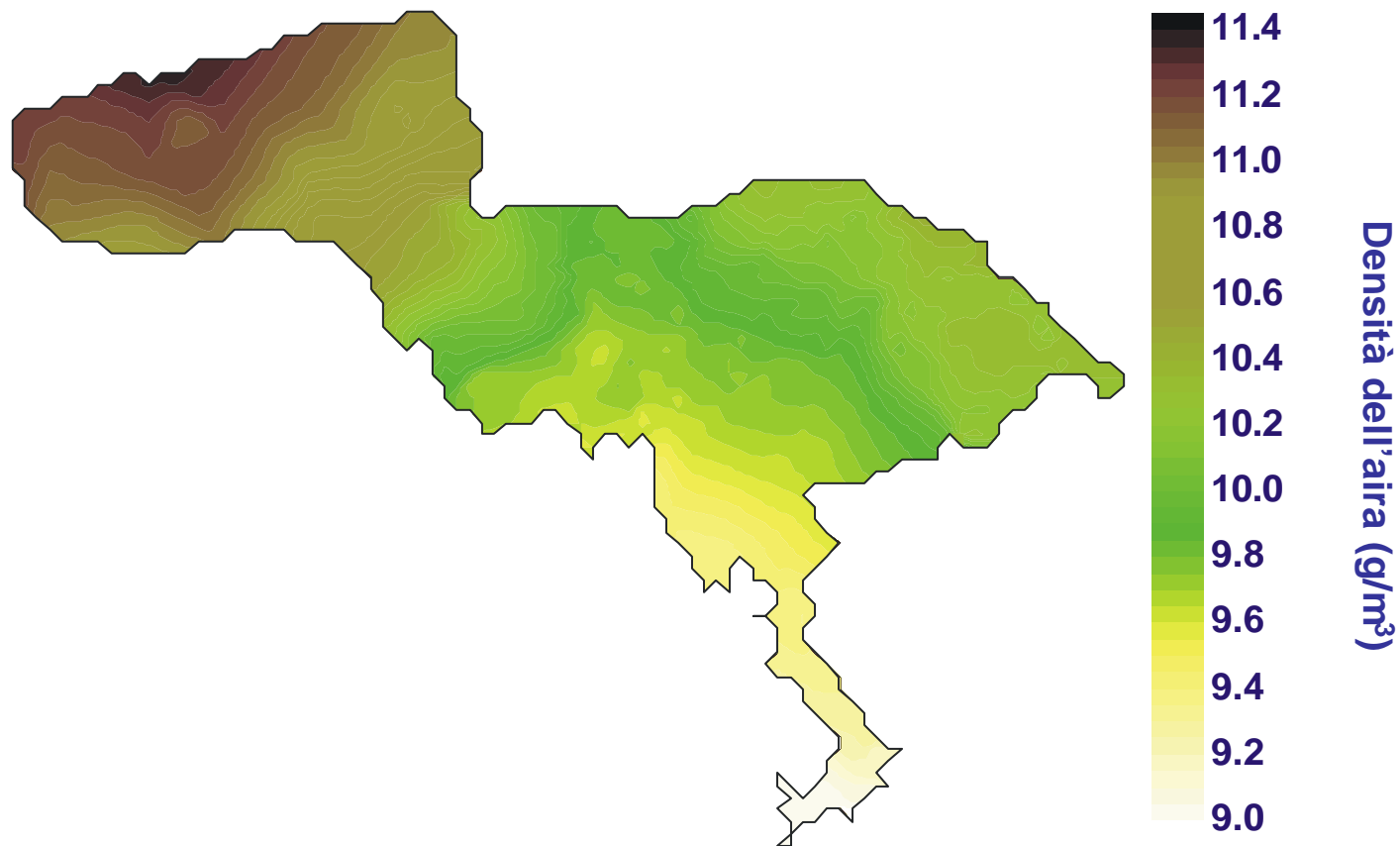


**Condizioni naturali:
Contenuto di CO₂ dell'aira**

Autore:
Geol. Angel Fernandez Cortes



Stabilità microclimatica



Stabilità microclimatica

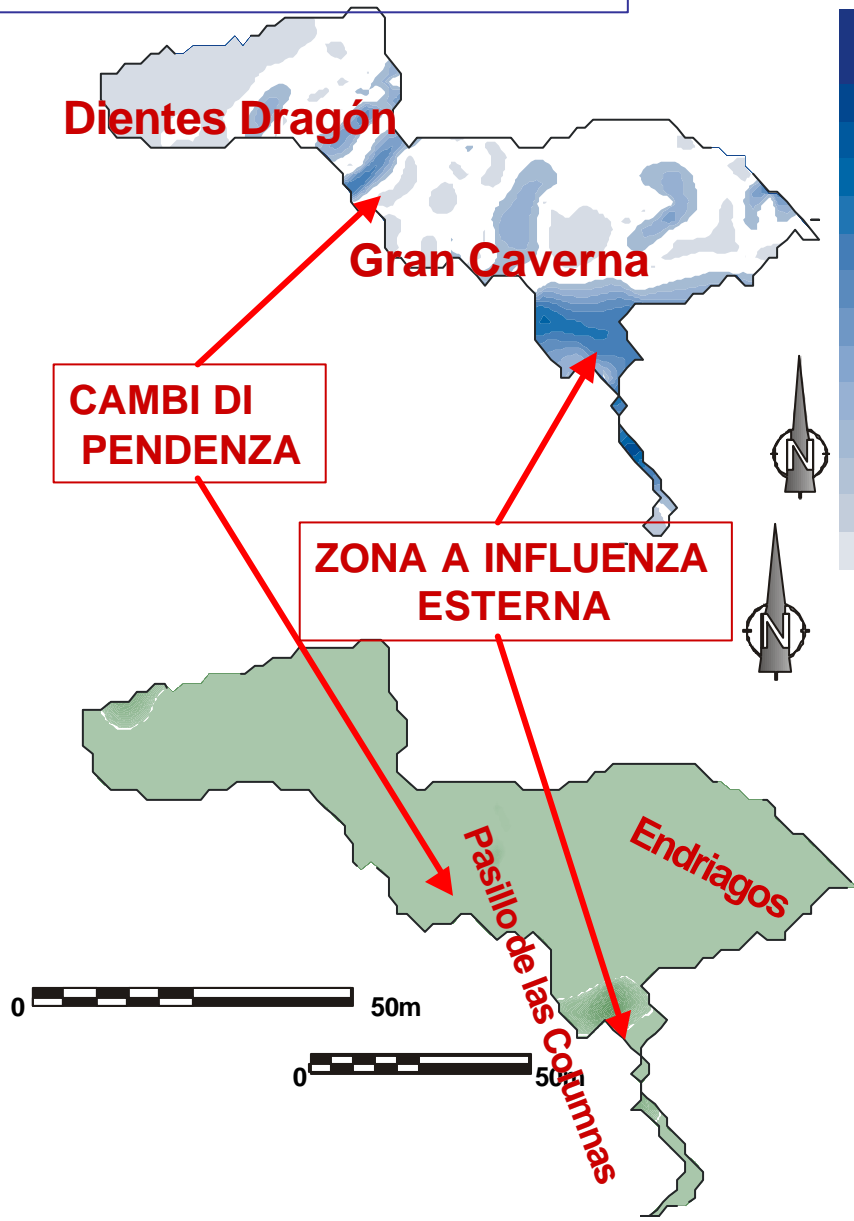
Operator de gradiente de temperatura (Δ °C/m)



Operador de gradiente de CO_2 (Δ ppm/m)

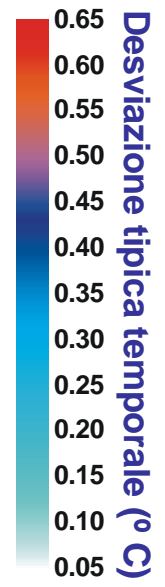
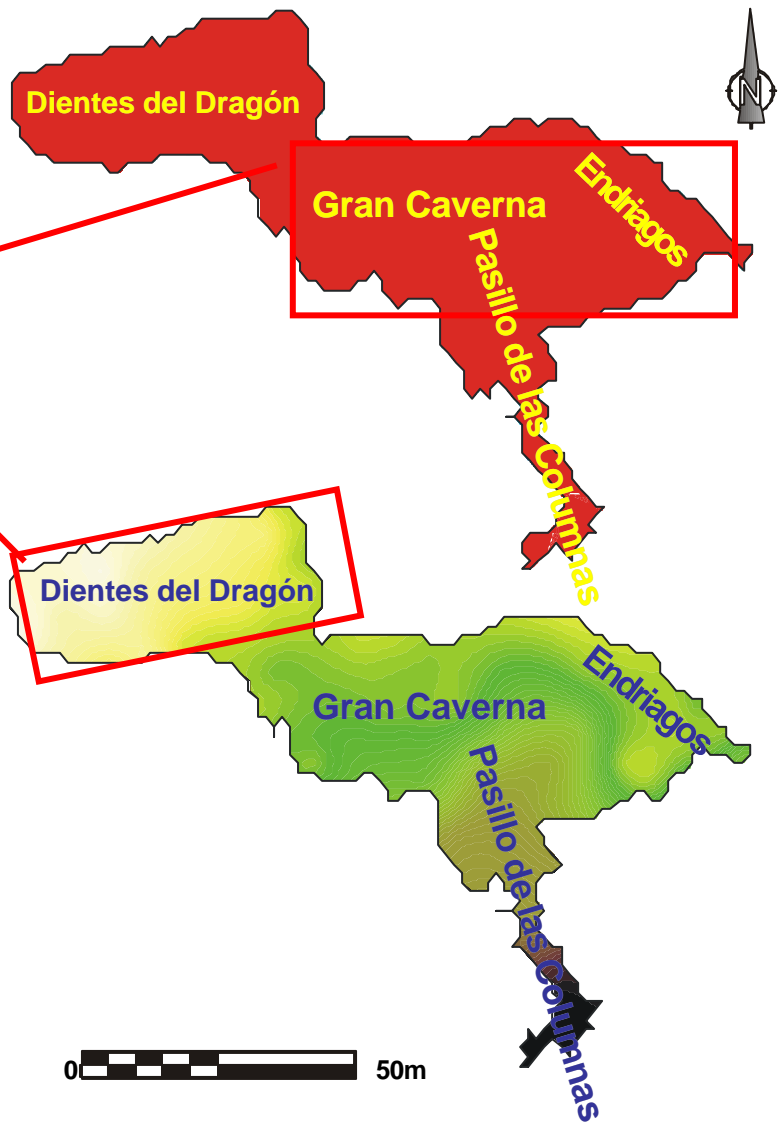
Autore:
Geol. Angel Fernandez Cortes

Stratificazione delle masse d'aria
Circolazione convettiva nulla: interno \ll esterno



Stabilità microclimatica

**Estabilidad
Espacio-temporal**



Autore:
Geol. Angel Fernandez Cortes

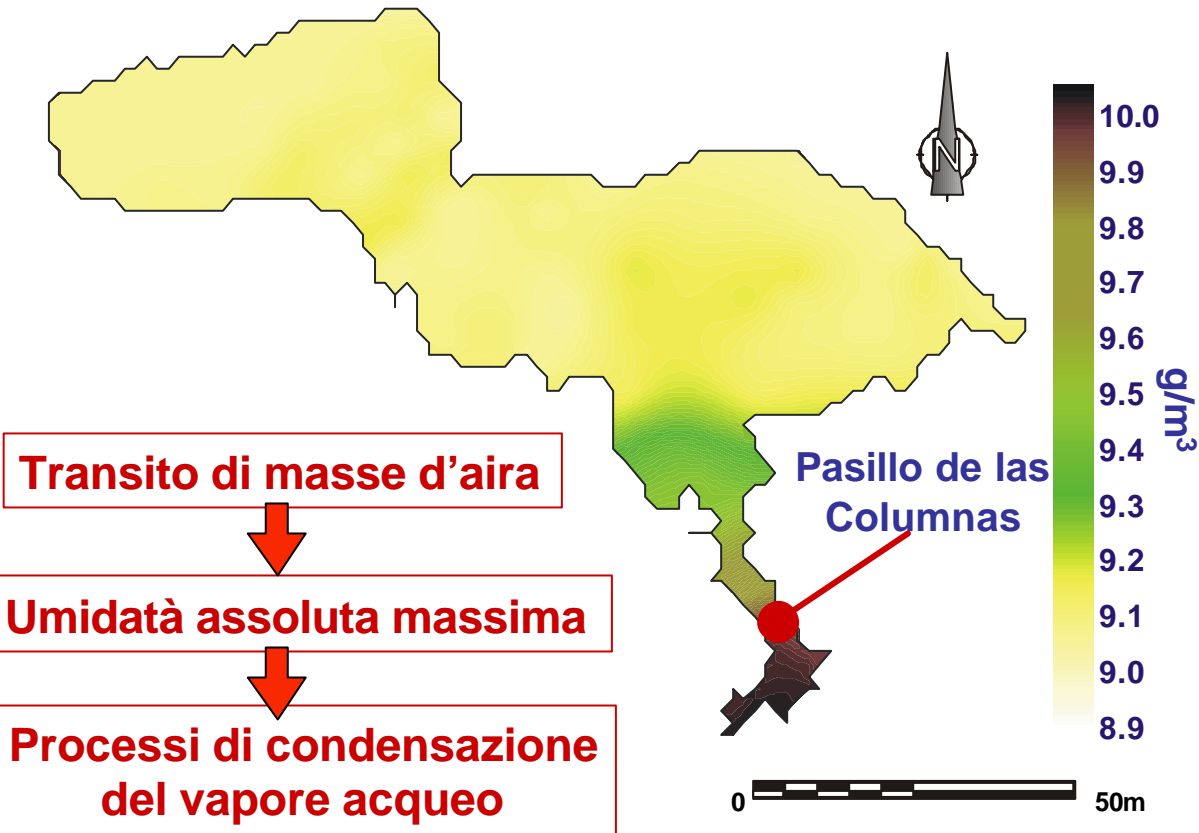
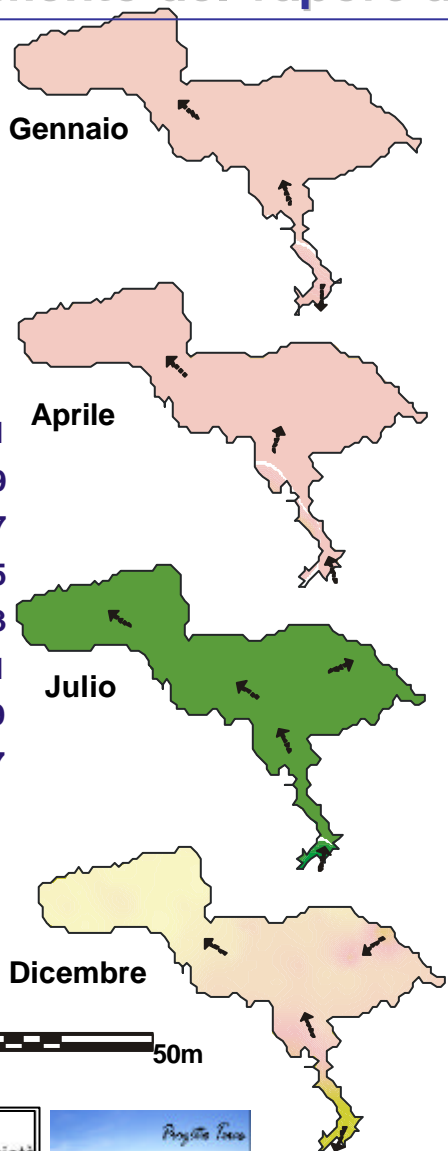
Cueva del Agua

Pasillo de las Columnas: **Zona attiva**

Movimento del vapore acqueo

UMIDITÀ ASSOLUTA

Pressione di vapore (mbar)



Transito di masse d'aira

Umidatà assoluta massima

Processi di condensazione del vapore acqueo

Cueva del Agua

Autore:
Geol. Angel Fernandez Cortes



Esempio : Delimitazione di aree di protezione nel Sistema Covadura (Karst in gesso di Sorbas) mediante tecniche geostatistiche.

Sistema Covadura

Análisi spaziotemporale
della temperatura dell'aira

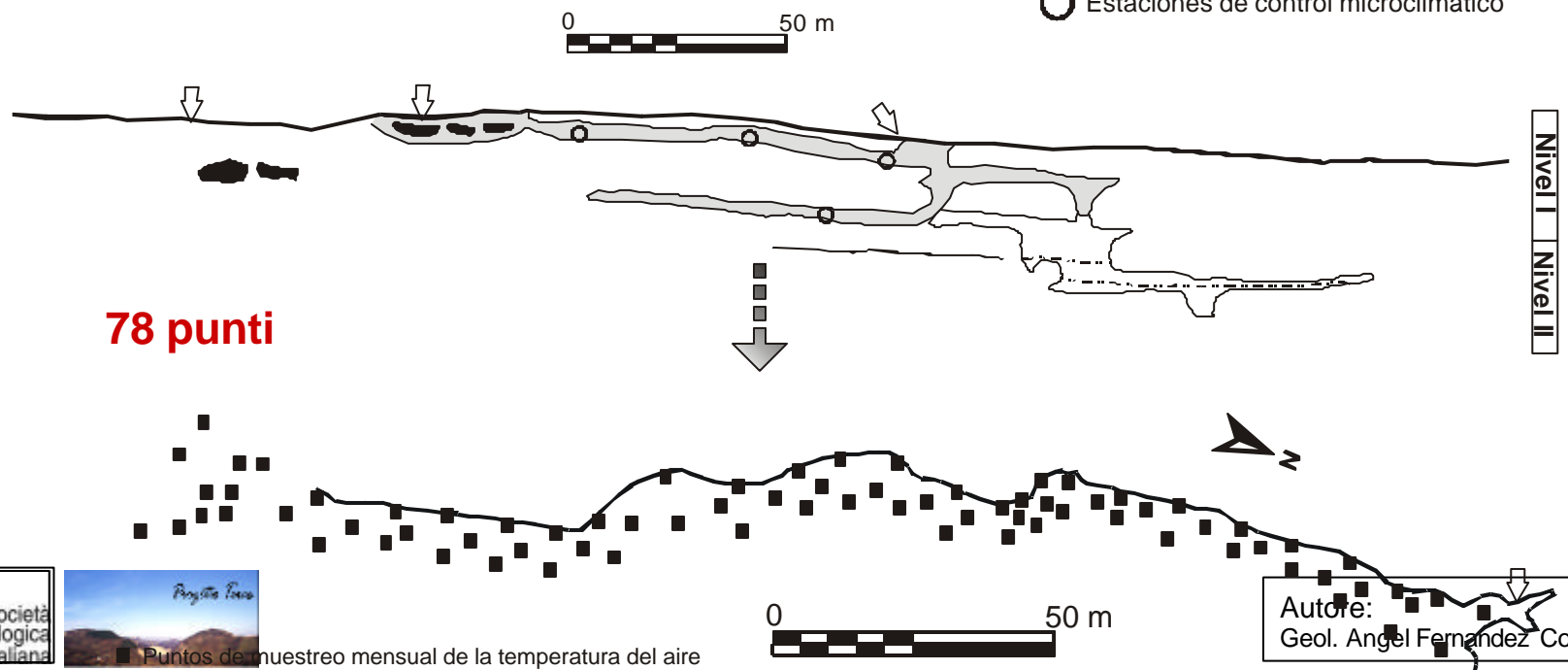
Utilizzato termometro
con risoluzione (0.001 ° C)

Costante nel tempo
(11 mesi)

Mínima influencia umana



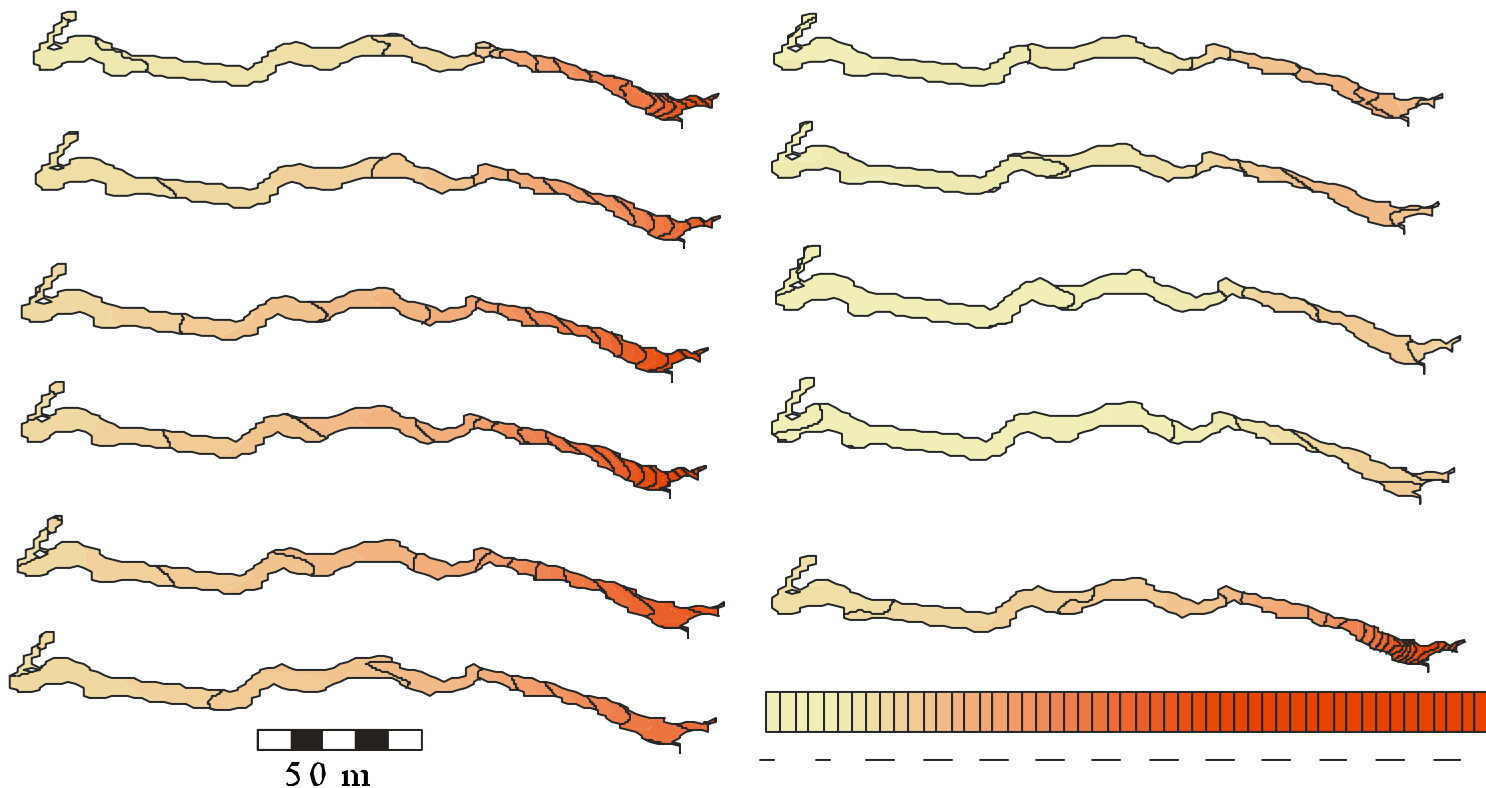
- ▬ Zona cerrada al público
- Zona abierta al público
- ↓ Entradas a la cavidad
- Estaciones de control microclimático



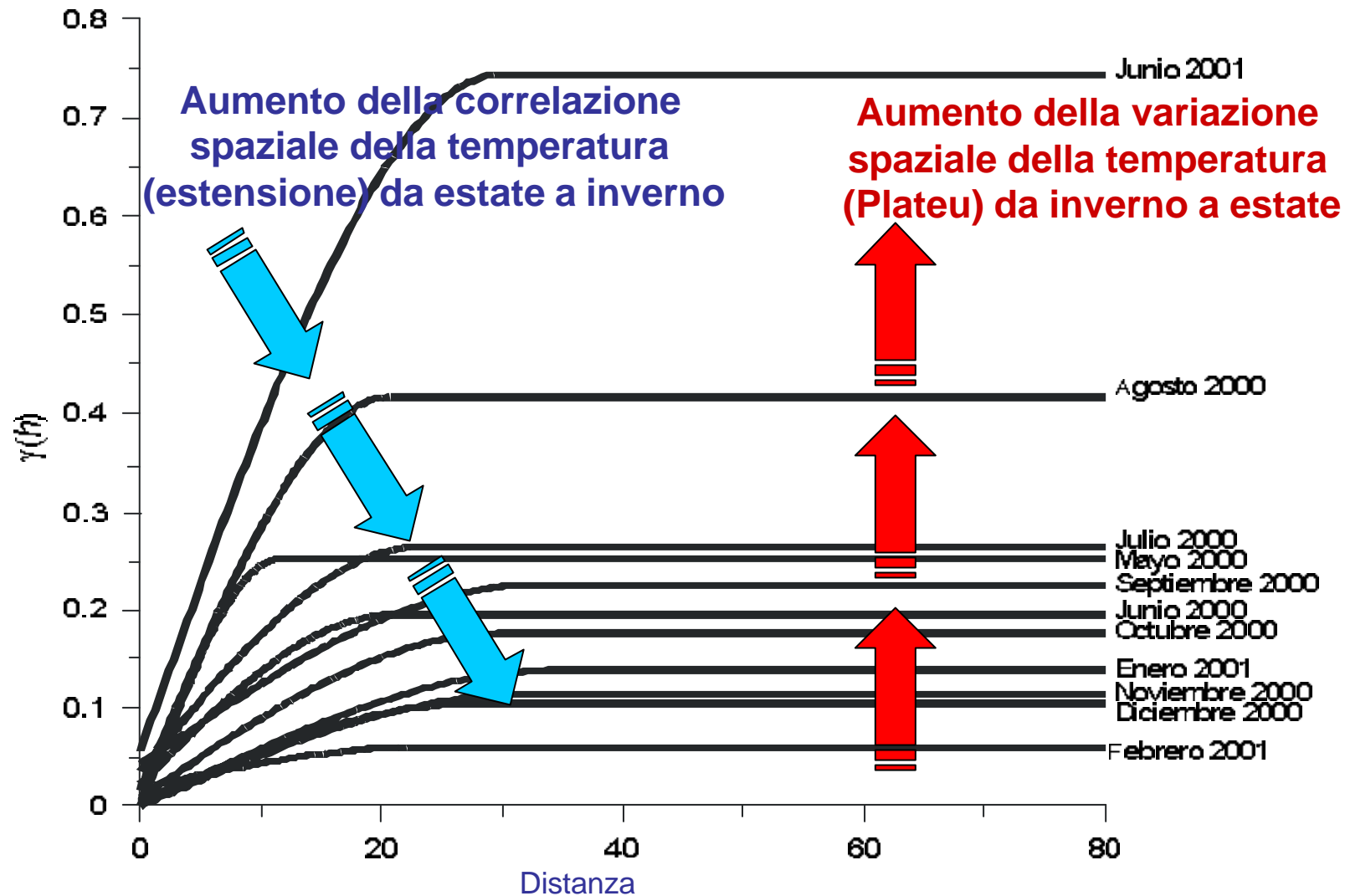
Distribuzione spaziale della temperatura

- T mensile: 9.3 ° C (feb) – 14.6 ° C (Ago)
- T media livello I: 15.9 ° C / livello II: 11 ° C
- Ampiezza termica spaziale media: 9.4 ° C
- Oscillazione termica: 9 ° C (livello I) / 5 ° C (livello II)

Krigeage residuale interattivo



Variogrammi della temperatura dell'aria



Modello spazio-tempo

$$Z(u, t) = M(u, t) + R(u, t) = M_u(t) + R(u, t)$$
$$\forall (u, t) \in D \times T$$

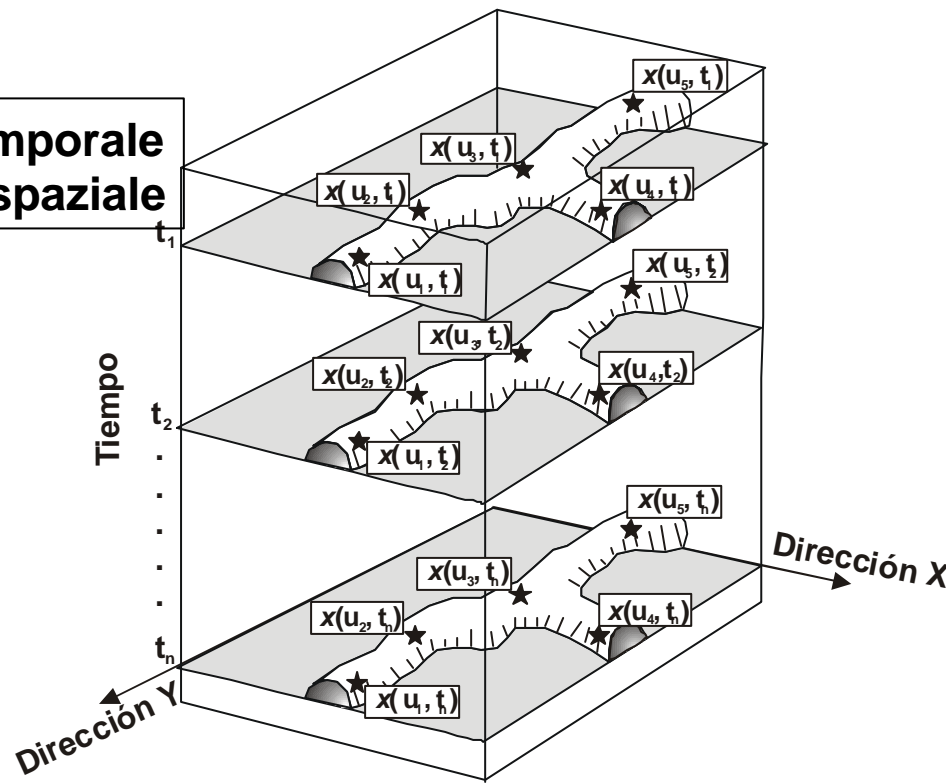
Tendenza temporale

Residui $R(u, t)$

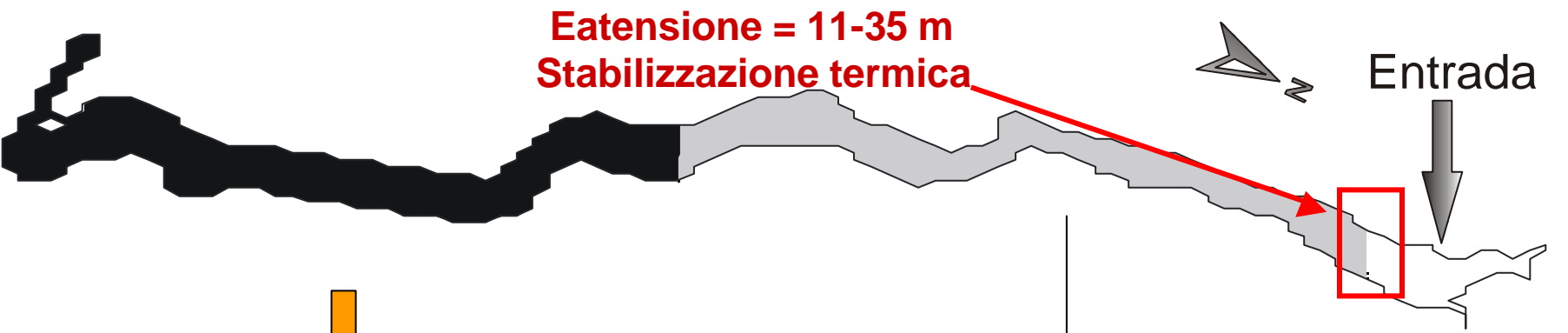
Covarianza temporale
dei residui

Krigeage residuale interattivo
delle covarianze temporali
dei residui

Continuità temporale
del dominio spaziale



Stabilità termica



↓

Minimi cambiamenti termici nello spazio e nel tempo

↓

Zona molto stabile e non adatta alla frequentazione di massa

↓

Zona meno stabile (Temperatura spazio-tempo)
Possibilità di sopportare visite



Autore:
Geol. Angel Fernandez Cortes



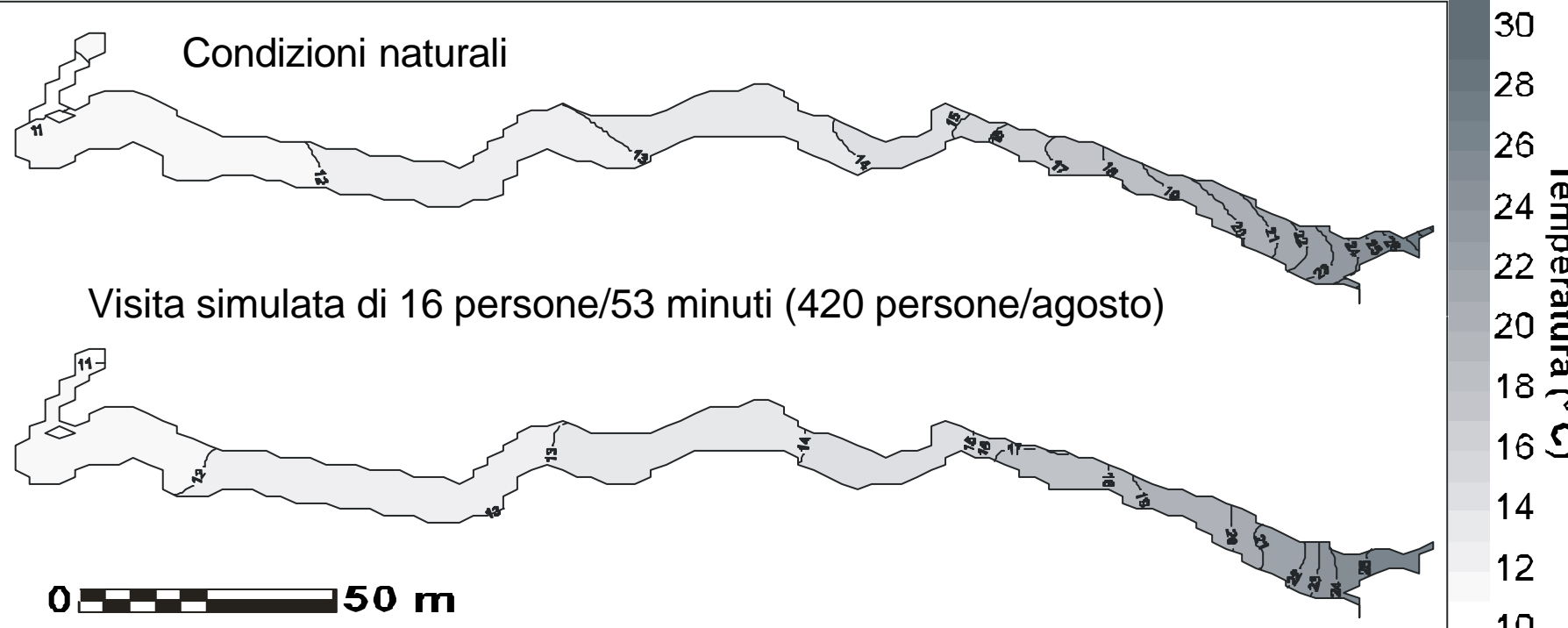
Effetto delle visite

Incremento dell'estensione dei modelli di variogramma: 20 m → 74 m

Aumento della correlazione spaziale

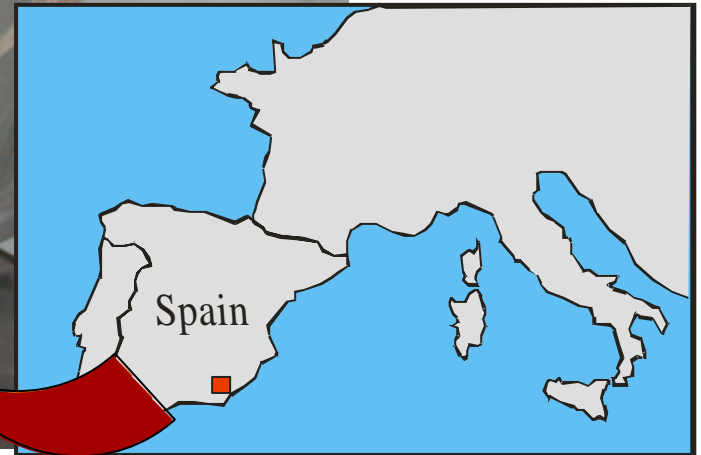
Omogenizzazione termica

A partire da 90 metri dall'ingresso:
Zona di destabilizzazione termica



Ejemplo : “Visitor Carrying Capacity” nel Geode gigante di Pulpí (Almería, España)

Giant Geode of Pulpí (Almería, Spain)



INTRODUZIONE

General view



General view



Big size crystals



Gypsum crystals details



Caracterización del funcionamiento microclimático de la Geoda

Condiciones naturales

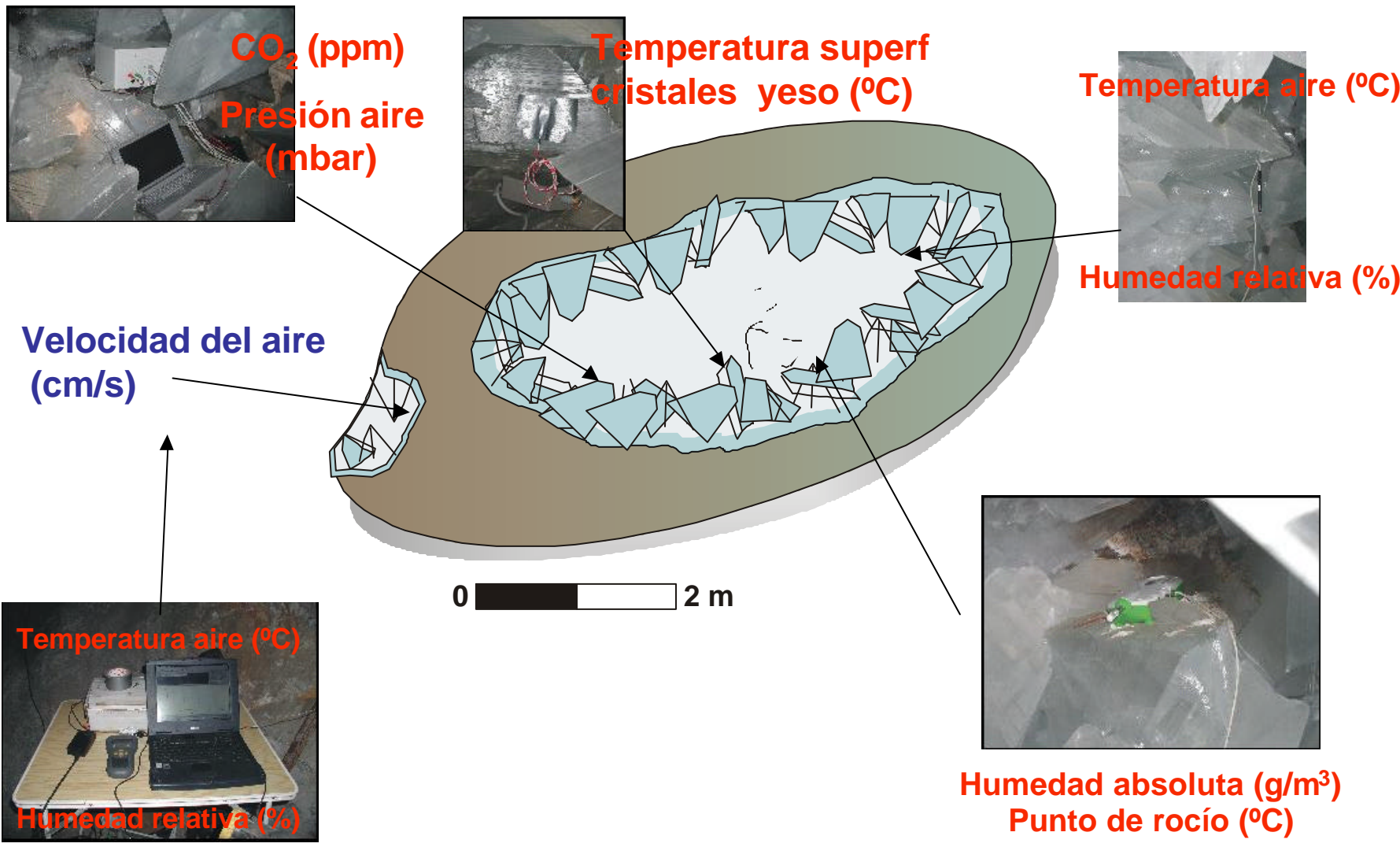
“Estado cero” como referencia antes de posibles actuaciones posteriores

Régimen de visitas

- Nº de personas y tiempo de permanencia idóneos
- Intervalo entre visitas
- Parámetros críticos
- Efectos derivados

Fecha	Nº personas	Tiempo de permanencia	Nº repeticiones
30/05/2002	1	5	5
	2	5	5
05/06/2002	1	10	5
	2	10	5
	3	10	5
23/07/2002	3	15	1
	3	30	1
	3	25	1
	2	13	1
	2	10	1
14/08/2002	3	10	1

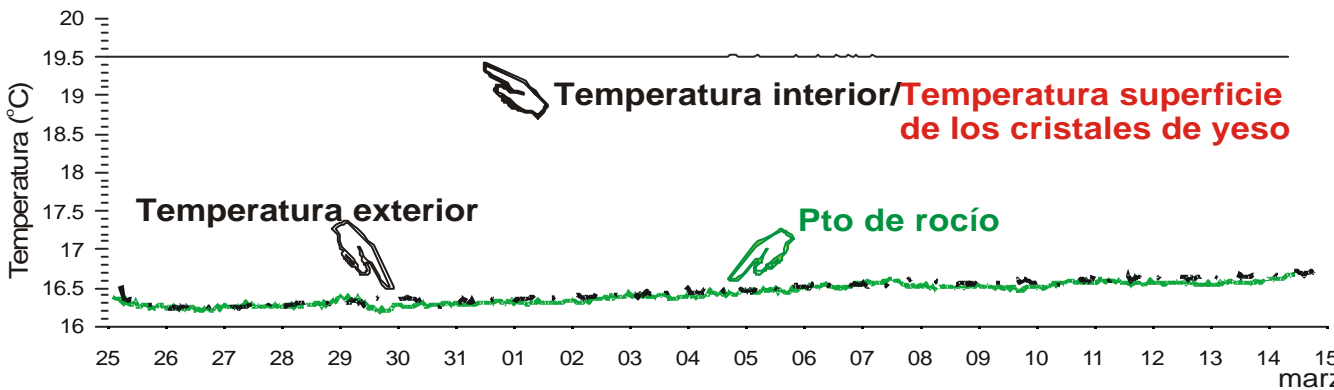
Estudio microclimático: VISITAS CONTROLADAS



Geoda gigante de Pulpí

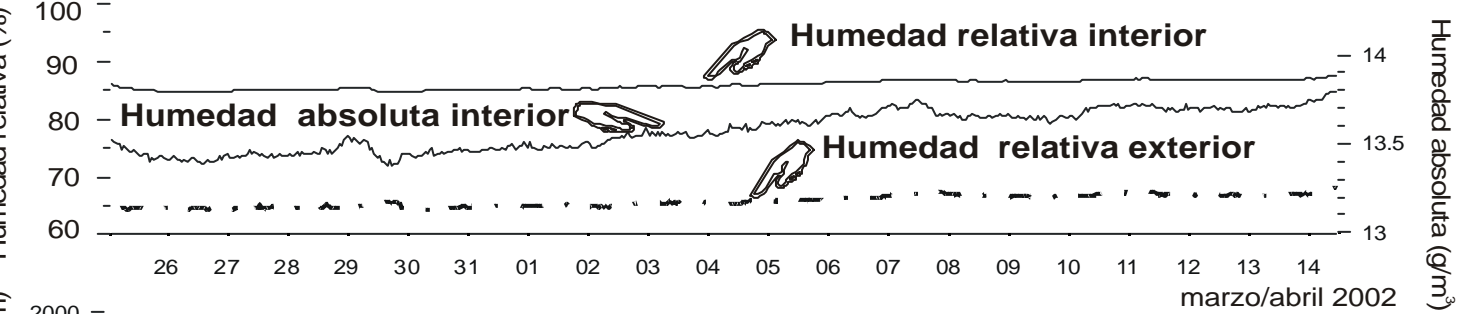
Autore:
Geol. Angel Fernandez Cortes

Condizioni naturali



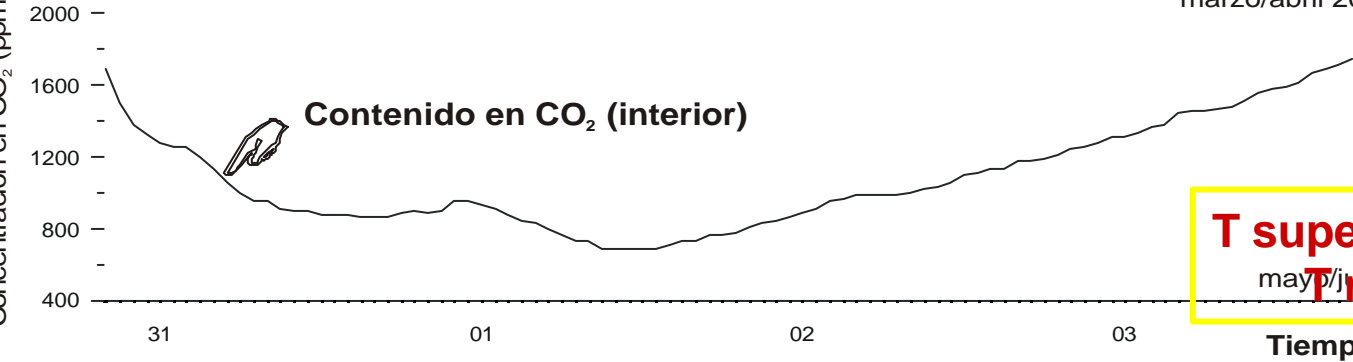
Aria all'esterno:

- 19.3 °C
- 85-90 %
- 13.5-14 gH₂O/m³
- 800-1800 ppm CO₂



Aria miniera:

- 16-16.5 °C
- 65 %



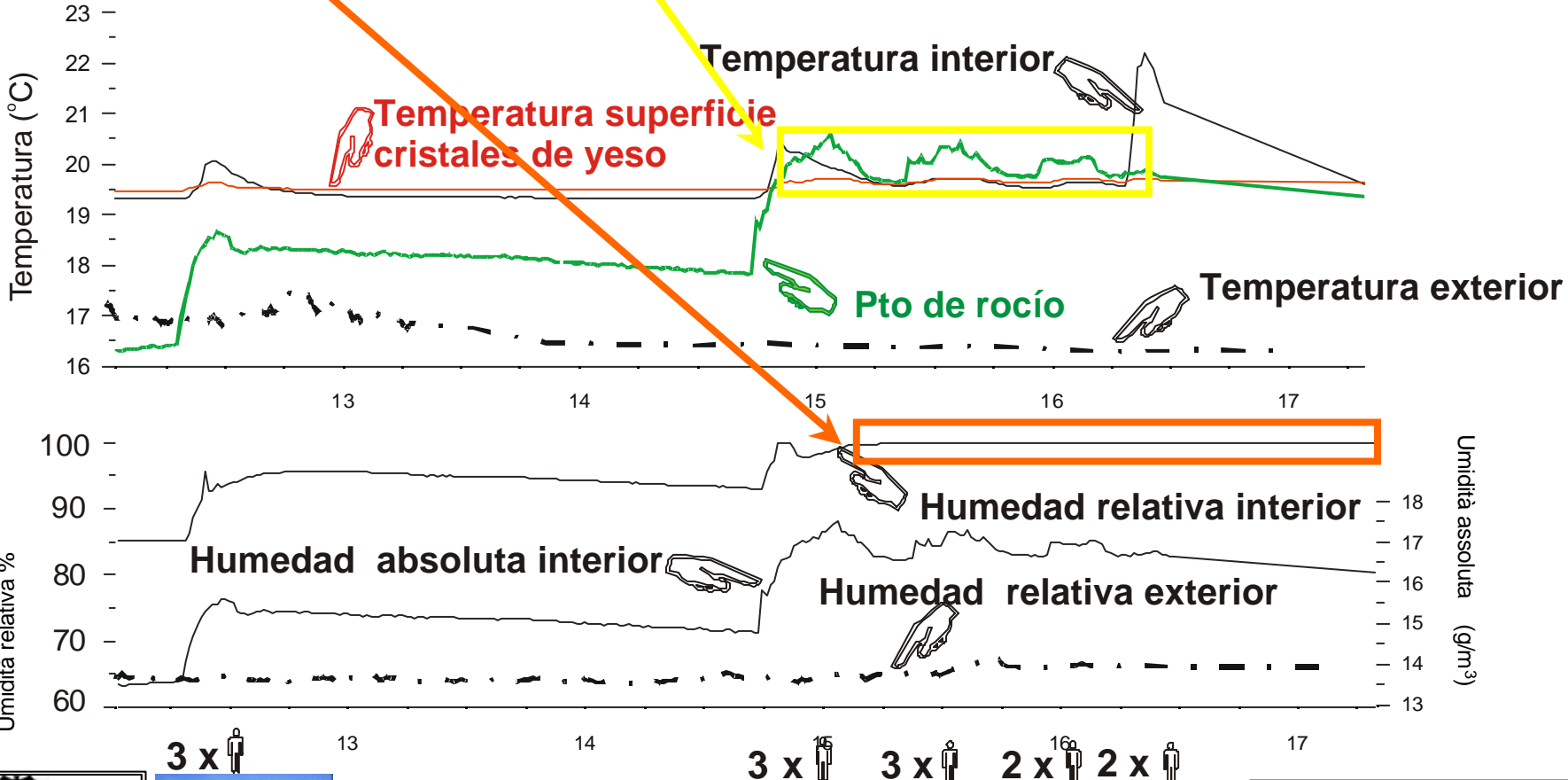
**T superficiale dei cristalli =
T rugiada + 3.1 °C**



Autore:
Geol. Angel Fernandez Cortes

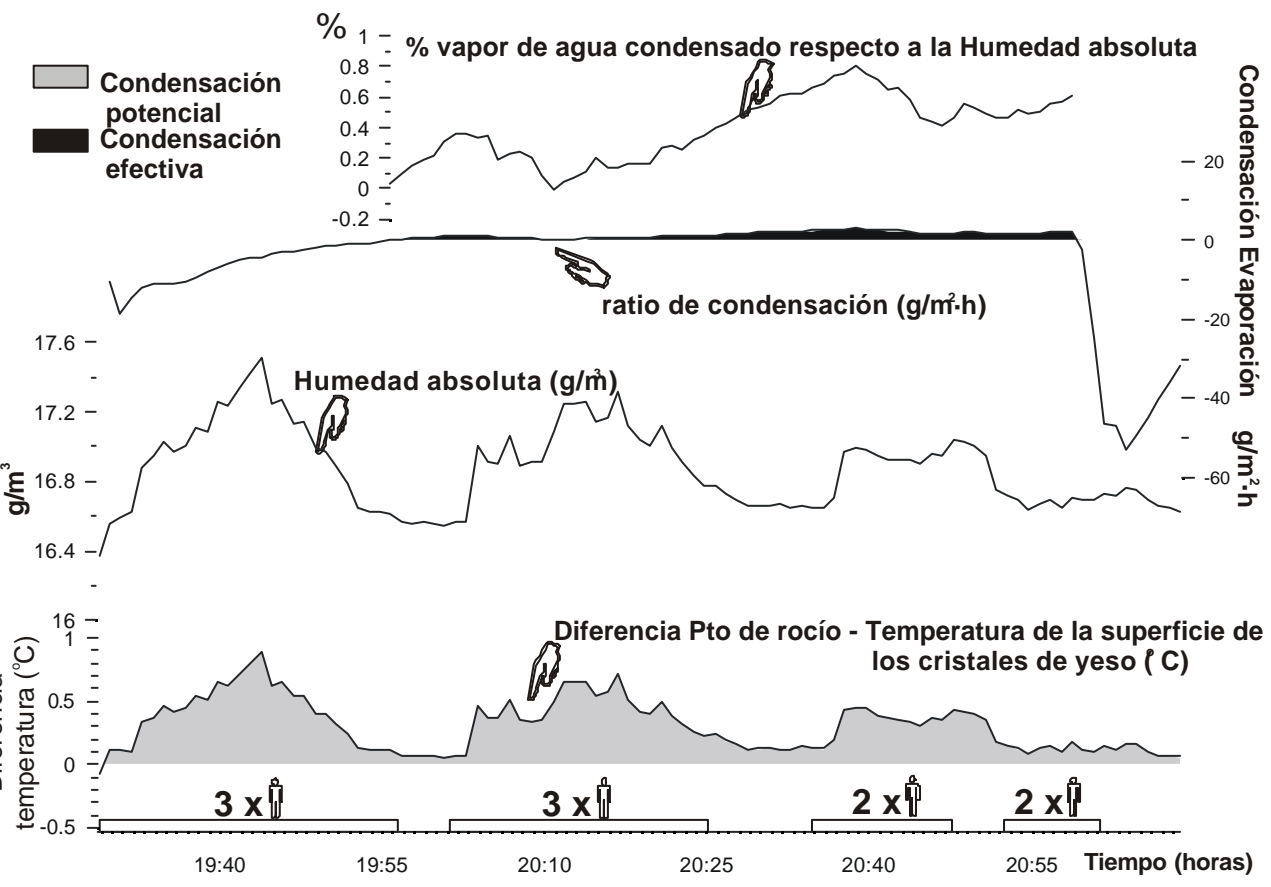
Comportamento microclimatico con visite all'interno

Saturazione del vapor Acqueo nell'aria + T rugiada > T superficie cristalli = Rischio potenziale di Condensazione di vapore sui cristalli (CORROSIONE)



Autore:
Geol. Angel Fernandez Cortes

RISCHIO DI CONDENSAZIONE



COEFFICIENTE DI CONDENSAZIONE

$$C(g/m^2 \cdot s) = (q_r - q_a) \cdot k_v$$

- Umidità dell'aria
- Umidità specifica di saturazione superficie dei cristalli
- Coefficiente di trasferimento di vapore per convezione (velocità aria/rugosità cristalli)

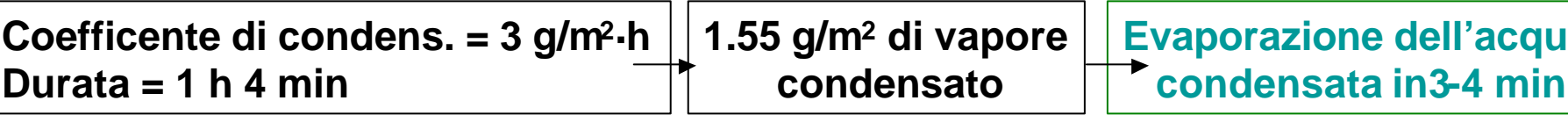
Condensazione potenziale → • Gradiente termico negativo tra aria e superficie dei cristalli

Condensazione effettiva → • Coefficiente di condensazione positivo



Autore:
Geol. Angel Fernandez Cortes

Massima possibilità di visite



DPto. rugiada= +[3.1-3.9]°C
DT aria= +[3.2-4.2]°C

$Q_{critico} = 43 \text{ KJ} \rightarrow Q = f \cdot P \cdot t$

Fattore di attività fisica
 = 0.086 kJ/kg·K
 Visite individuali

**1 persona / 8 min, 2 persone / 4 min ó 3 persone / 2-3 min
 (peso medio di 70 kg)**

Capacità dei cristalli di asorbire calore?



Autore:
 Geol. Angel Fernandez Cortes



DH assoluta= + 3.1 g/m³ → **DH·V = N·(0.007·P)[g/h] · t [h]**

2 persone / 20-21 min, 3 persone / 13-14 min 4 persone / 10/11min (peso medio di 70 kg)

