

IL CLIMA SOTTERRANEO

e la sua misurazione.



INDICE

Il fattore tempo

Le escursioni termiche sotterranee (Santa Barbara e Rio martino)

Termometria sotterranea: estrazione di segnali debolissimi (Rio Martino, Cristales)

Tempo di risposta e stabilità delle misure

Significato delle temperature locali (Mottera, Castellana, Hundida, Rio Martino)

Umidità



CLIMA E METEOROLOGIA

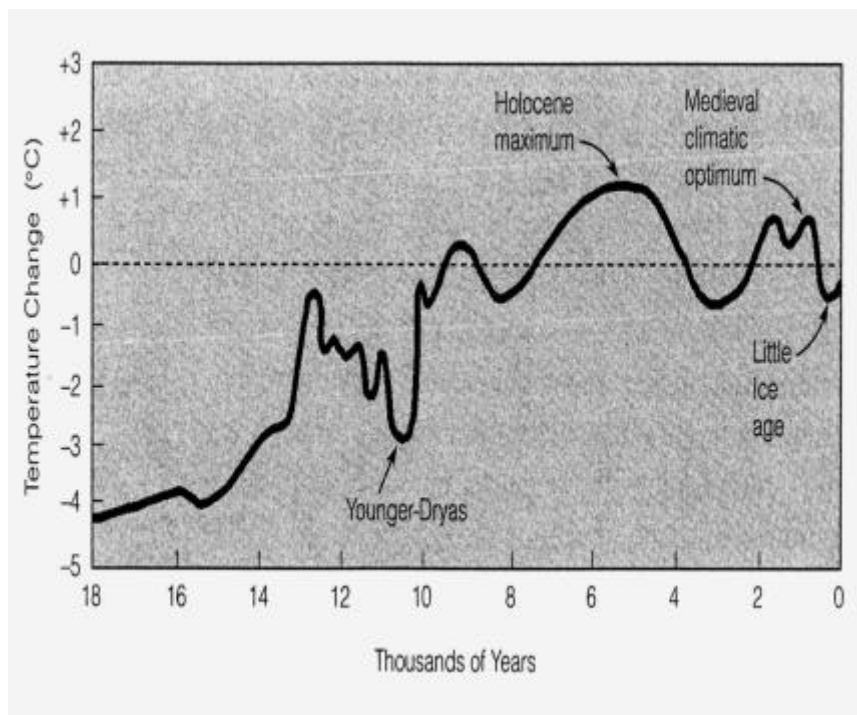
- Per risoluzione di uno strumento intendiamo la minima differenza che può essere apprezzata sulla sua scala.
- Per accuratezza intendiamo invece la massima differenza fra il dato che esso misura e il valore vero.

STUDIARE IL CLIMA E LA METEOROLOGIA

- La climatologia studia i comportamenti medi dell'atmosfera.
- La meteorologia ne studia le meteore.
- Gli strumenti sono finalizzati a misurare eventi molto ampi ma brevissimi.
- L'azione costruttiva sul paesaggio è data non tanto da sbalzi termici o precipitazioni, ma dal loro protrarsi nel tempo.

IL FATTORE TEMPO

La differenza di temperatura che, in decine di migliaia di anni, finisce per coprire il Canada e le Alpi con una calotta di ghiaccio di due chilometri di spessore è di circa 8°C.



Si tratta però di 8°C protratti nel tempo: l'atmosfera e la superficie del pianeta assumono una nuova configurazione di equilibrio, svuotando gli oceani per decine di metri e coprendo di ghiaccio immense superfici.



Quindi, se vogliamo capire qualcosa, dobbiamo spingere le accuratezze dei rivelatori sino a vedere le variazioni naturali delle grotte.

Sino a vedere le meteore sotterranee.

Vediamo qual è la risoluzione strumentale per riuscire a rivelarle.

La situazione delle grotte pare simile, i processi ambientali sono di piccolissima ampiezza ma dilatati su tempi enormi.

Se noi misurassimo la temperatura media del pianeta con un termometro con risoluzione 10°C non ci accorgeremmo affatto né delle ere glaciali, né dei riscaldamenti globali: saremmo sensibili solo ad eventi catastrofici, in realtà poco importanti.



INDICE

Il fattore tempo

[Le escursioni termiche sotteranee \(Santa Barbara e Rio martino\)](#)

Termometria sotterranea: estrazione di segnali debolissimi (Rio Martino, Cristales)

Tempo di risposta e stabilità delle misure

Significato delle temperature locali (Mottera, Castellana, Hundida, Rio Martino)

Umidità



LE ESCURSIONI DI TEMPERATURA

Le variazioni di temperatura esterna, giornaliere e annuali, sono approssimabili come sinusoidi, con ampiezza 5-6 °C per quella giornaliera e 10-12 °C per quella annuale (Mediterraneo).

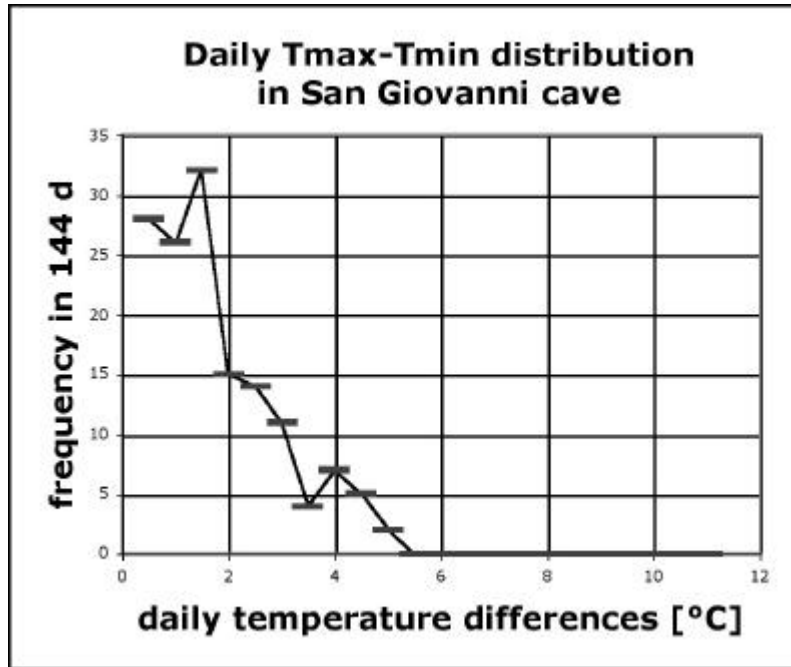
A Ulan Bator la media di gennaio è -20 °C, quella di luglio 15 °C, l'ampiezza della sinusoide è 17 °C.

Ad Ushuaia a gennaio è 9, a luglio 2 °C, cioè ampiezza 3.5 °C. Ma Roma essa è 9, a Torino 11 e a Cagliari 7 °C.

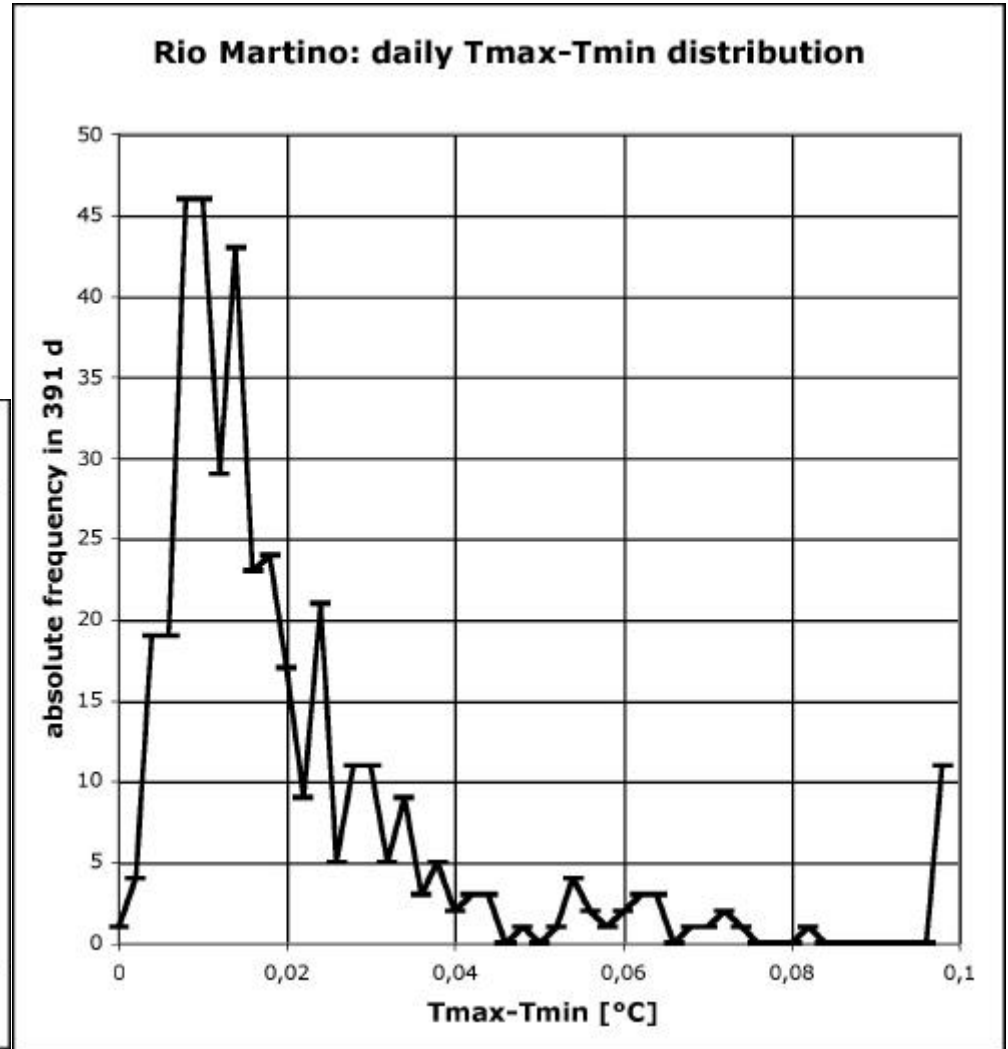
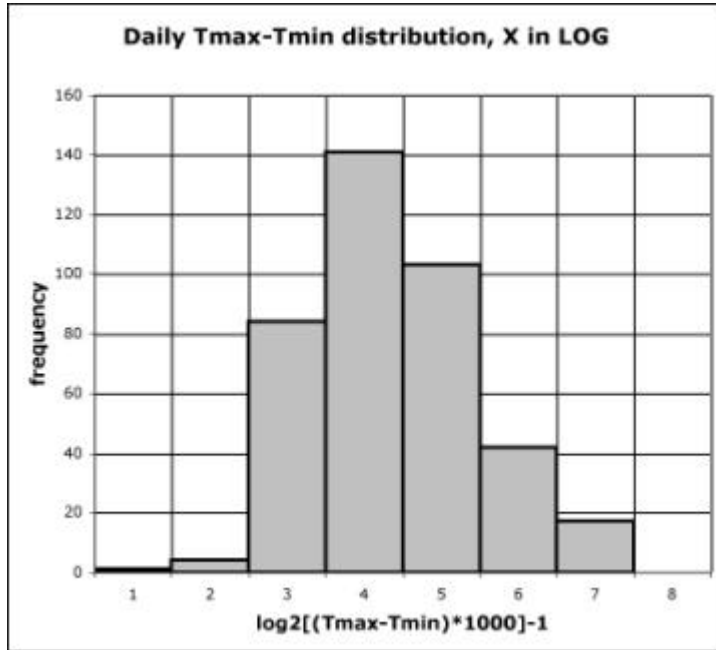
Gli sbalzi crescono andando in montagna e allontanandosi dal mare.

Sulla Terra l'escursione termica non è così grande...

GROTTA DI ALTA ENERGIA

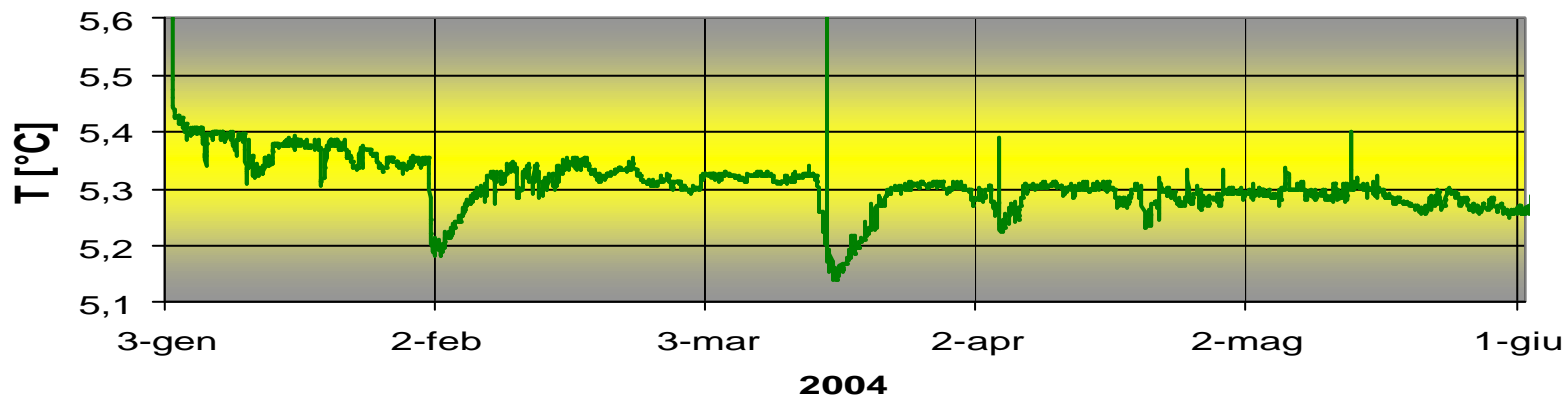


LE ESCURSIONI TERMICHE SOTTERRANEE

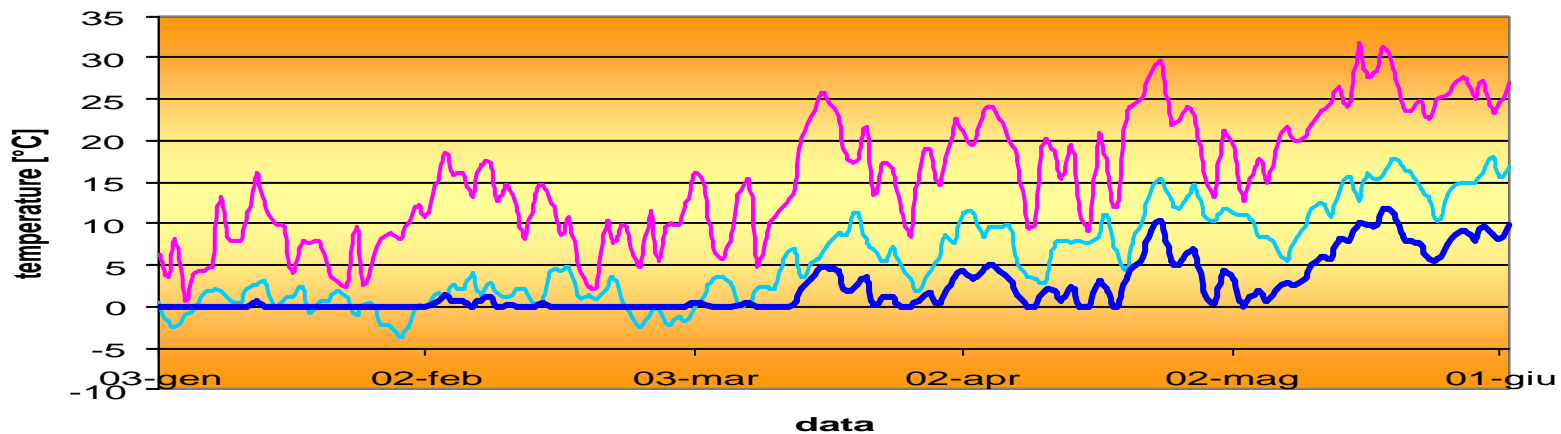


RIO MARTINO - PIEMONTE

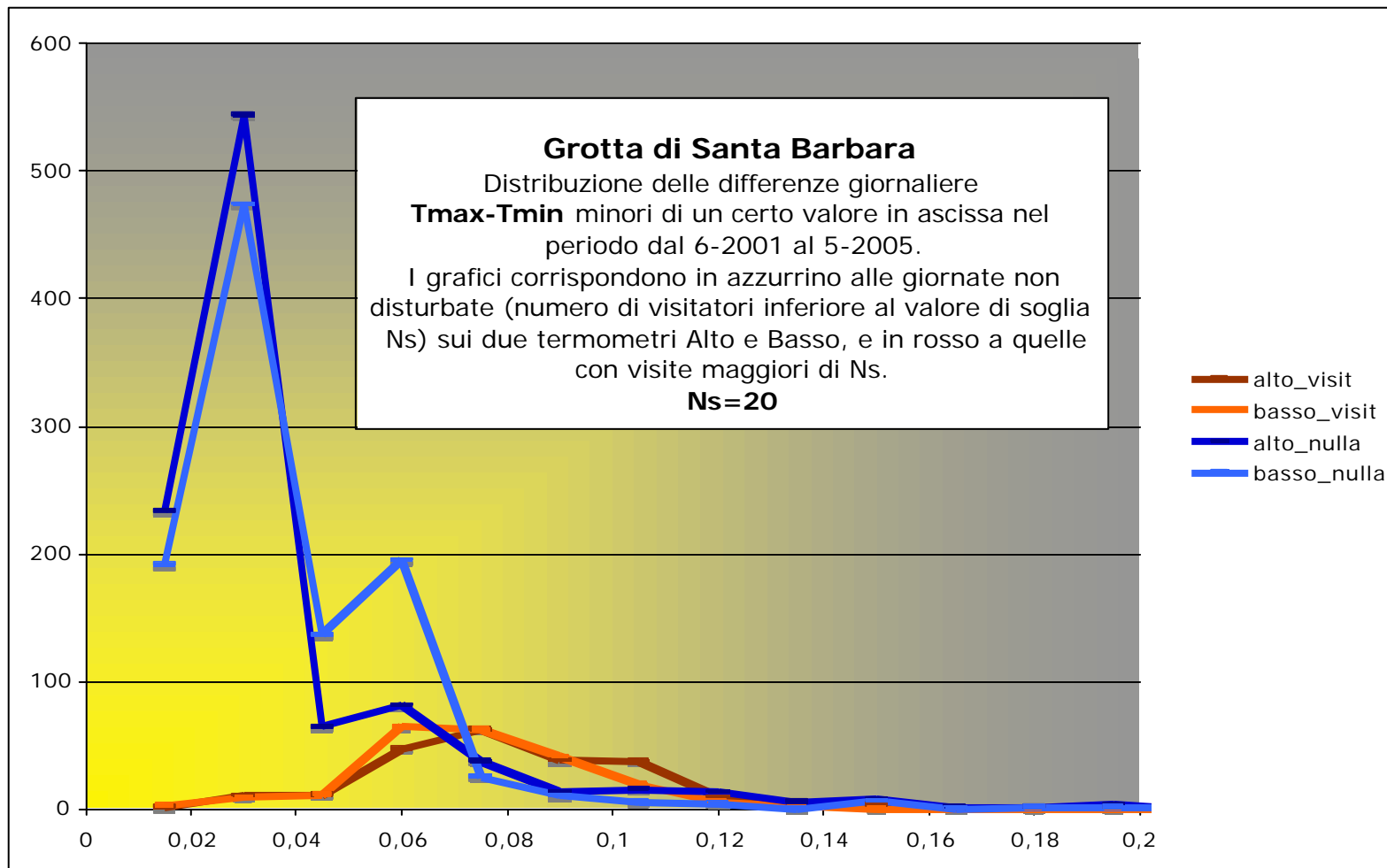
Tmed - Rio Martino - run di calibrazione



Tmin e T max a Torino (cortesia SMS)

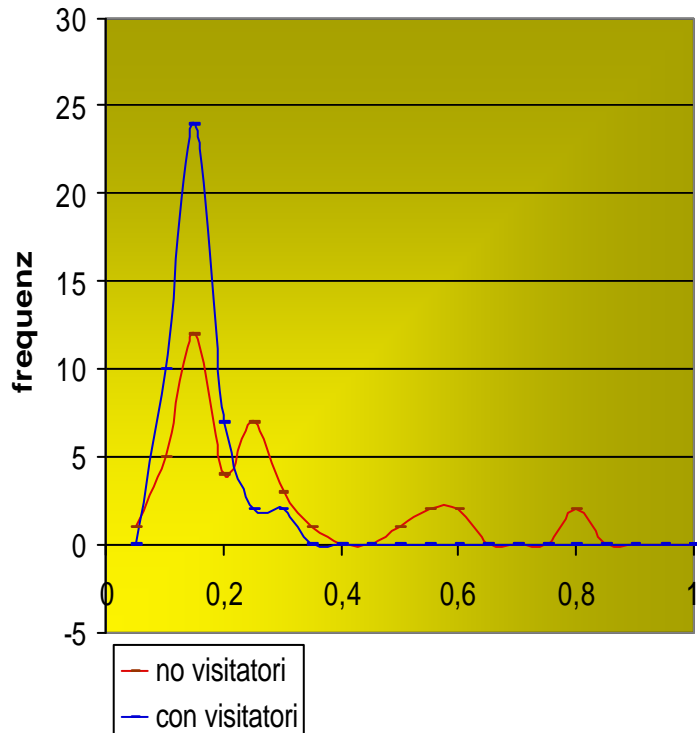


SANTA BARBARA - SARDEGNA

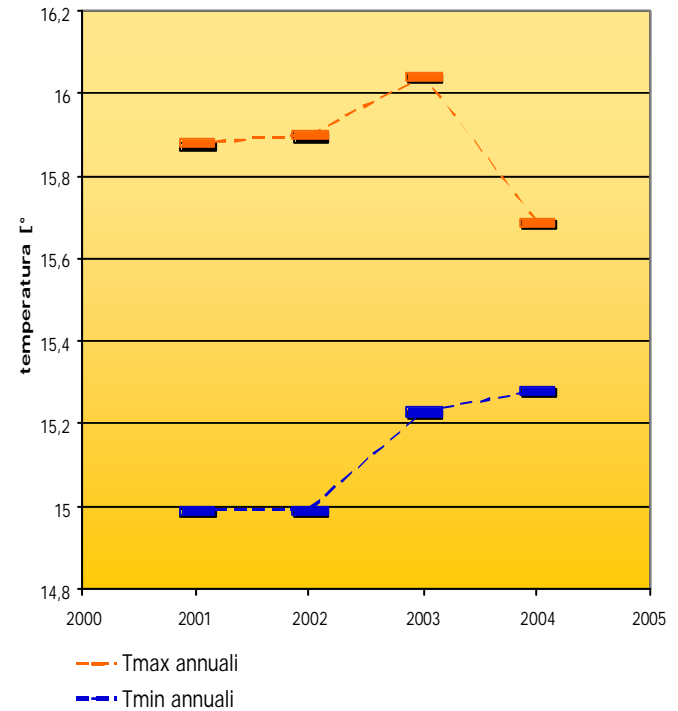


SANTA BARBARA - SARDEGNA

differenze mensili di temperatura [°]



Santa Barbara - T max e Tmin annuali



ESCURSIONI TERMICHE: CONCLUSIONI

- 1) Le ampiezze naturali delle escursioni di temperatura giornaliere paiono essere intorno ai 10 mK. Le misure con risoluzione 100-200 mK osservano dunque calma piatta, indipendentemente da cosa succede in realtà.
- 2) Le ampiezze naturali sul mese sembrano essere intorno ai 0.1 °C.
- 3) Le ampiezze sull'anno sono dell'ordine di 1 °C.
- 4) Pare esserci quindi una legge di potenza (frattale!) fra l'escursione di temperatura e il periodo in cui essa avviene.
- 5) La variabilità delle escursioni di temperatura a breve periodo da una grotta all'altra sono enormemente maggiori che all'esterno (fattore 100).
- 6) C'è un problema di carenza di misure, specialmente di misure accurate con strumenti stabili.
- 7) Gli strumenti elettronici permettono finalmente di fare meteorologia sotterranea, ma richiedono di affrontare gravissimi problemi di stabilità su lunghi periodi e gravi difficoltà metodologiche.



INDICE

Il fattore tempo

Le escursioni termiche sotteranee (Santa Barbara e Rio martino)

Termometria sotterranea: estrazione di segnali debolissimi (Rio Martino, Cristales)

Tempo di risposta e stabilità delle misure

Significato delle temperature locali (Mottera, Castellana, Hundida, Rio Martino)

Umidità



TERMOMETRIA SOTTERRANEA

- La statistica è quella disciplina per cui se io ho tre polli e voi due nessuno, allora ne abbiamo uno a testa.
- Ma è vero?

Un esempio:
studiamo il problema dell'altezza media di una popolazione.



Ricerche sulle caratteristiche di gruppi. Ogni illustrazione mostra un'immagine media ottenuta con la sovrapposizione delle fotografie di 14 studenti svedesi (di 24 anni gli uomini, di 23 le donne) di uno stesso gruppo (D. Katz, *Studien zur experimentellen Psychologie*, Basilea, 1953).



TERMOMETRIA SOTTERRANEA

- La temperatura è una misura dell'energia cinetica media di traslazione del centro di massa delle molecole di un gas ideale in equilibrio.
- Sfortunatamente un gas ideale non esiste e soprattutto nessun sistema reale può essere considerato in equilibrio.

- Una misura di temperatura richiede:
- L'estrapolazione da una misura reale ad una scala ideale.
- L'assunzione che il sistema sia così prossimo all'equilibrio che un parametro generale ottenuto con una media sul sistema abbia significato per l'intero sistema.
- L'assunzione che il termometro non modifichi la zona circostante.
- L'assunzione che la temperatura non vari durante la misura.
- Se spingiamo le misure di temperature sino ad una risoluzione di 0.01°C queste assunzioni divengono molto forti.

In condizioni ipogee però la situazione è più favorevole, dato che si tratta di sistemi praticamente isotermi.

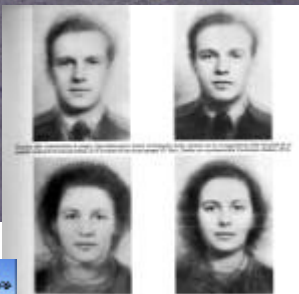
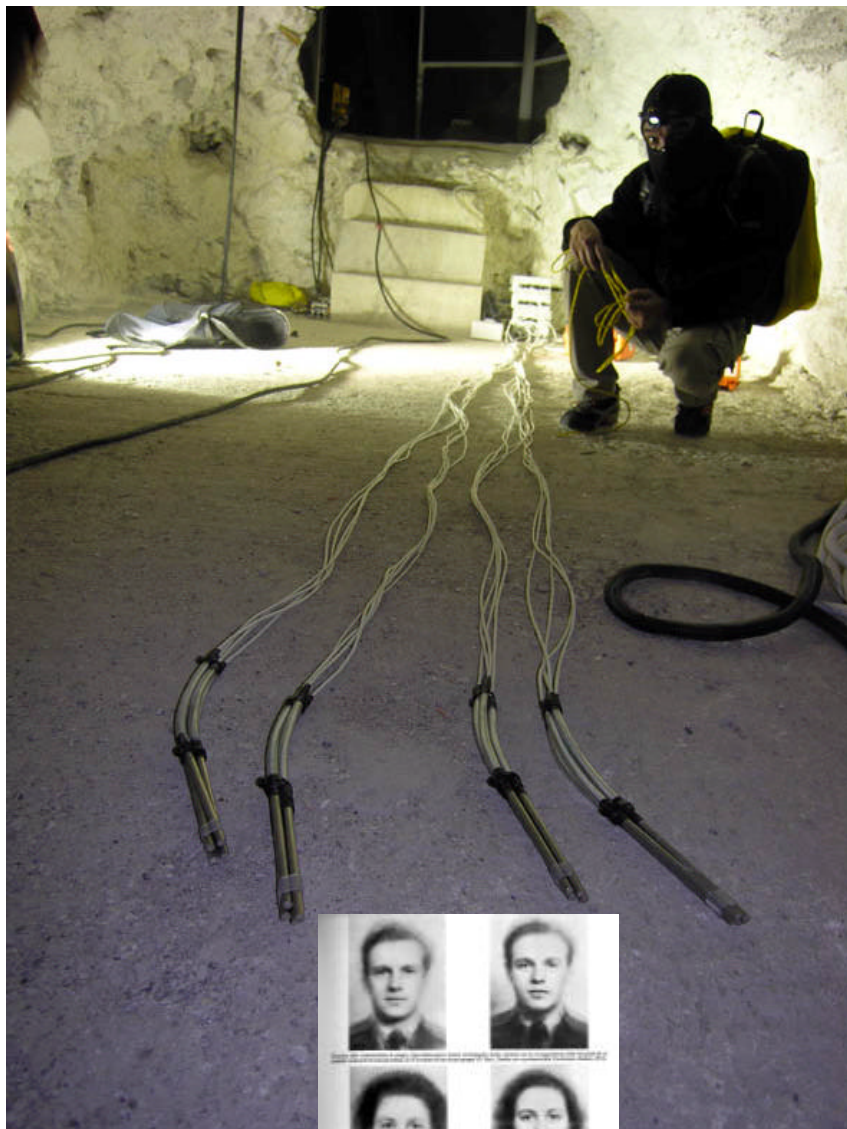
Scrivevo:

“In quelle condizioni l’affidabilità del dato ottenuto da un sensore PT100 è alta anche a risoluzioni molto spinte (0.01°C?) e in tal caso i dati in uscita potrebbero essere credibili per monitorare variazioni rapide dell’ordine del centesimo di grado.”



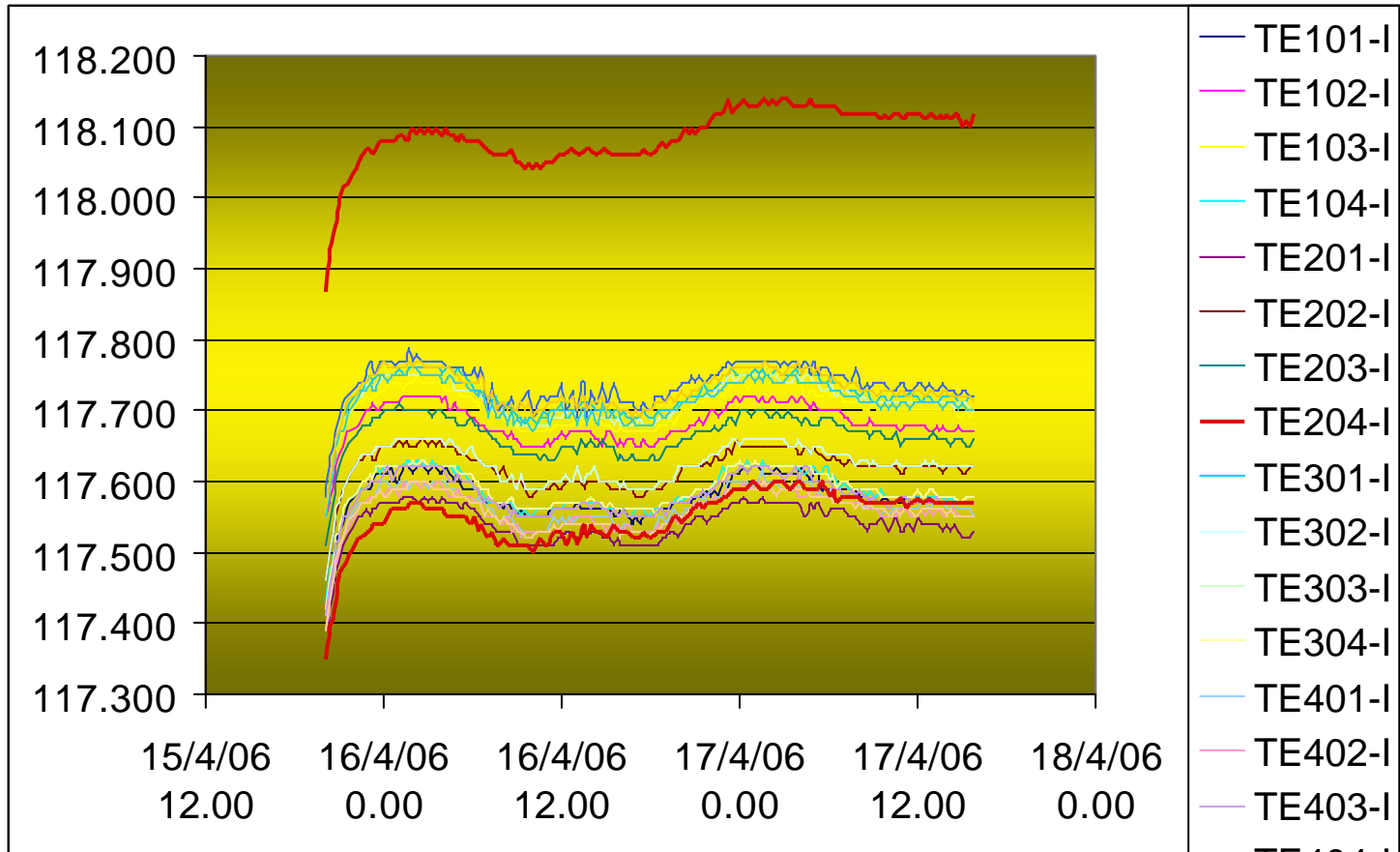
CUEVA DE LOS CRISTALES



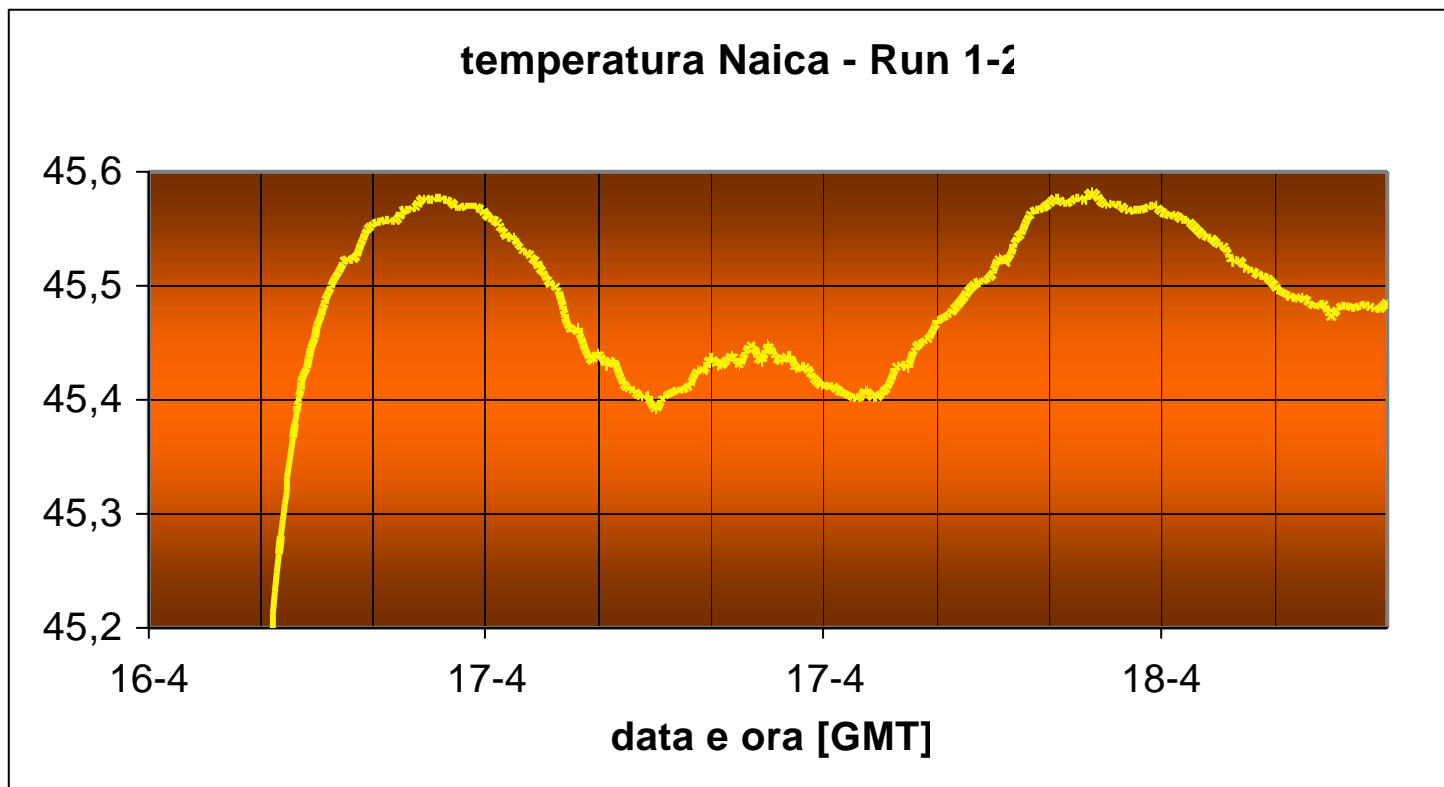




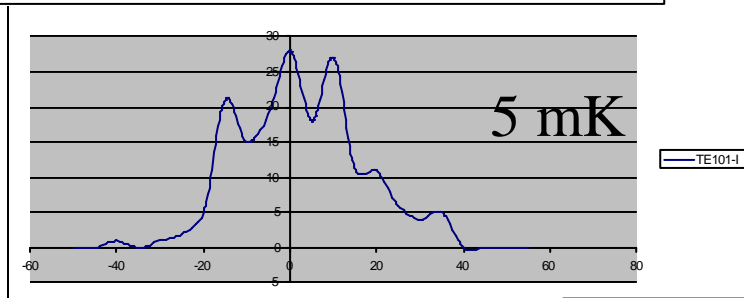
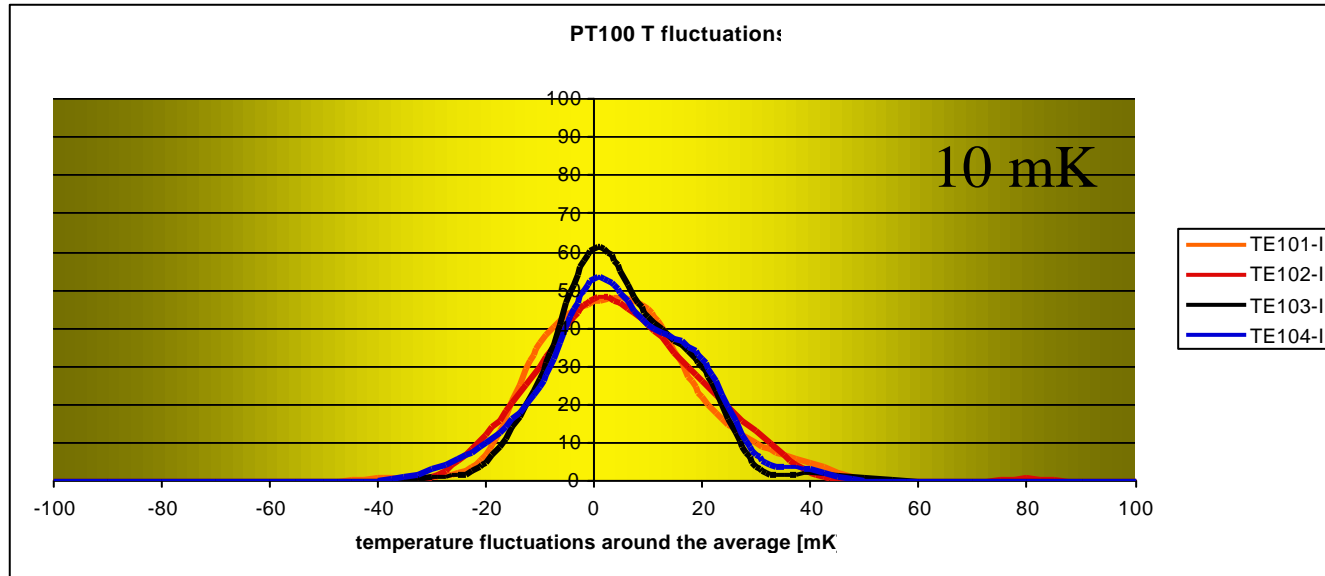
CUEVA DE LOS CRISTALES



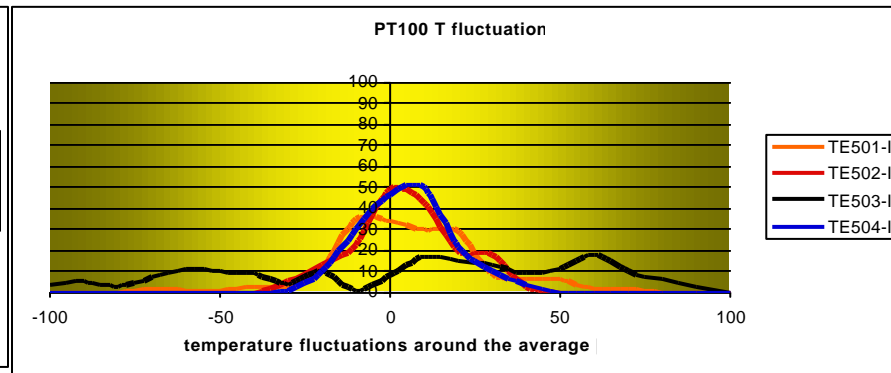
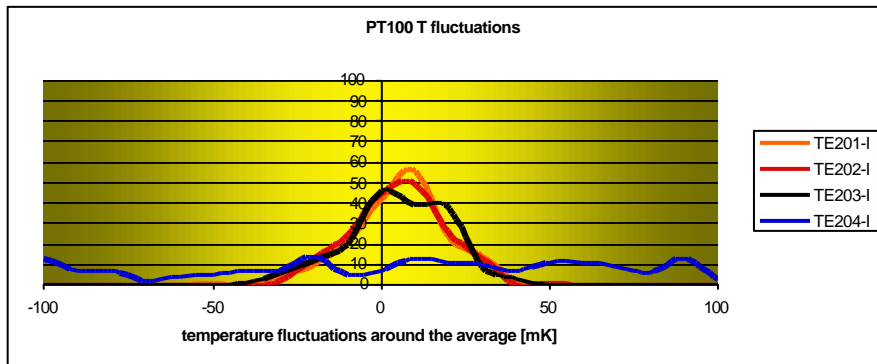
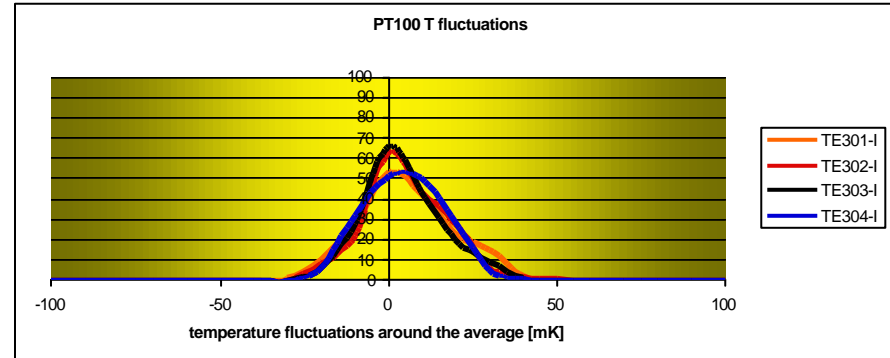
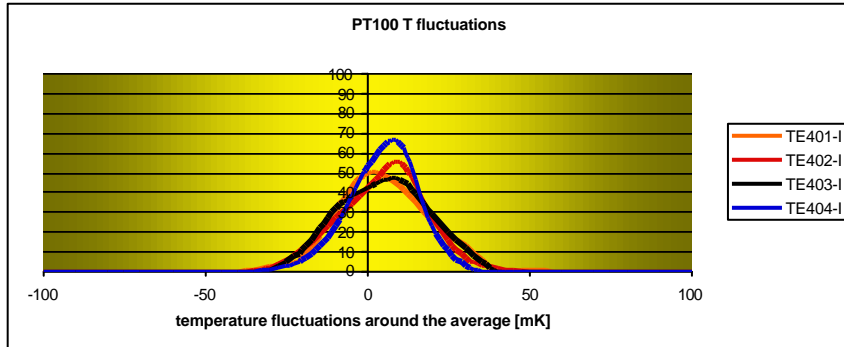
CUEVA DE LOS CRISTALES

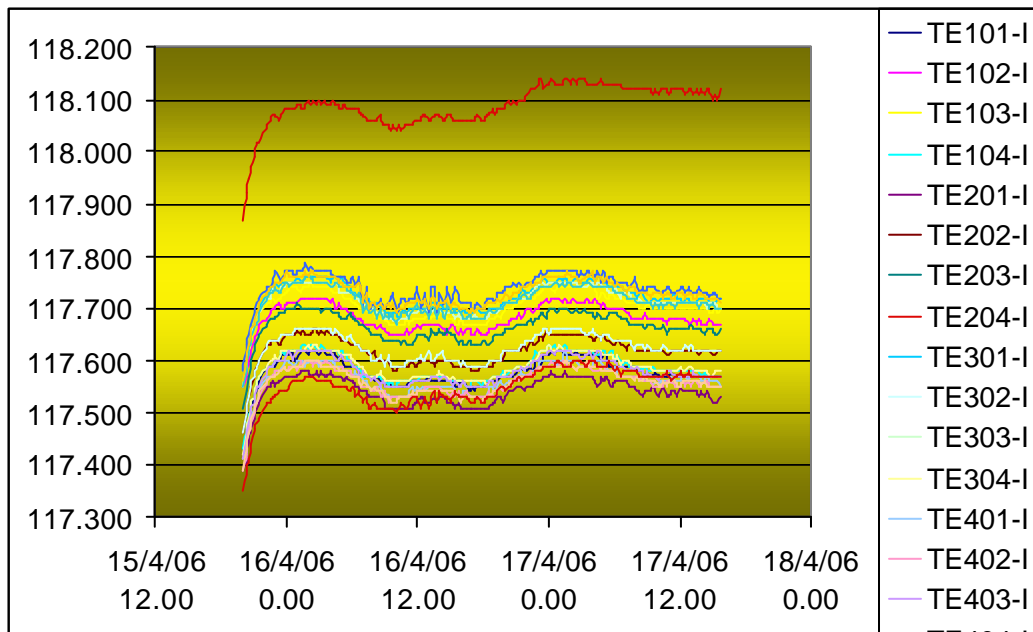


CUEVA DE LOS CRISTALES



CUEVA DE LOS CRISTALES





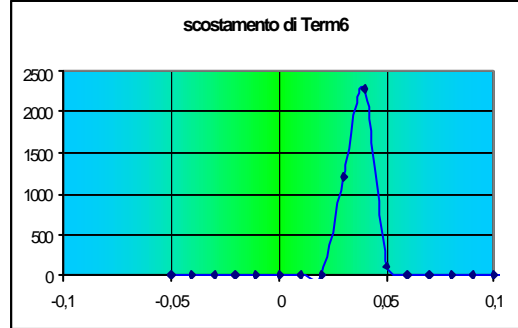
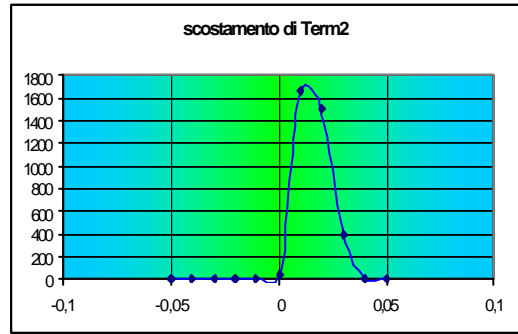
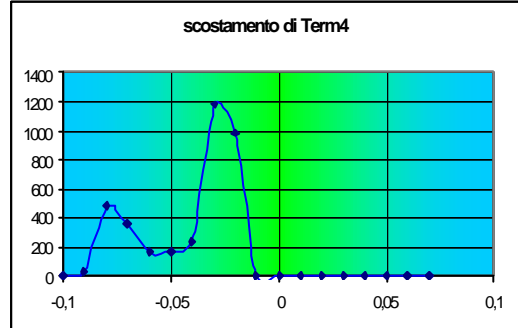
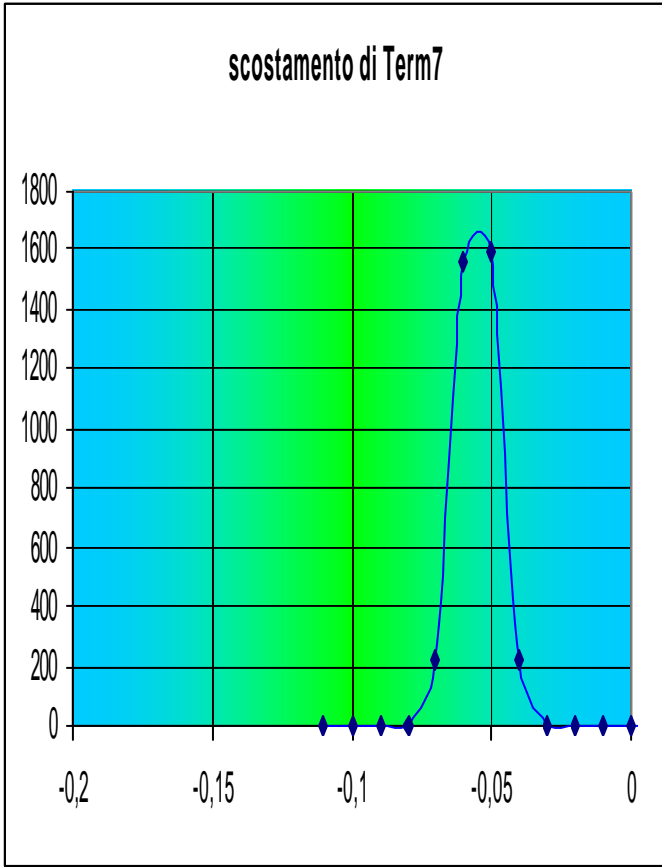
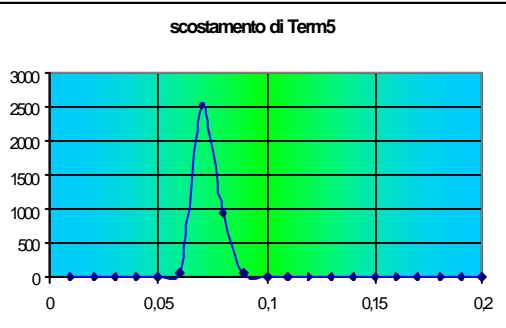
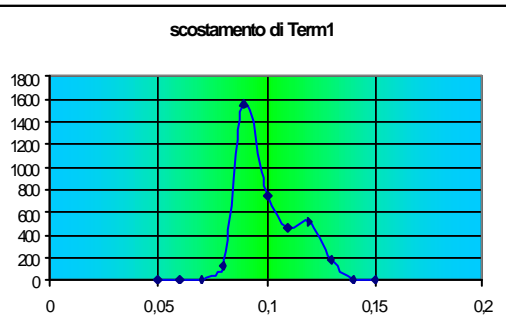
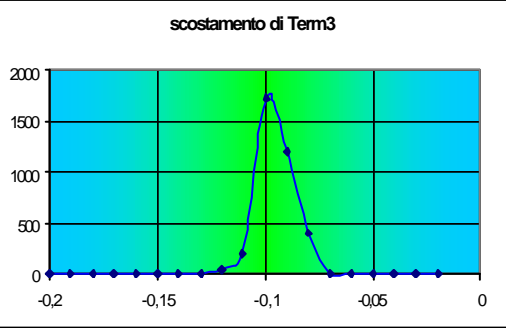
scarto QM	TE101-I	TE102-I	TE103-I	TE104-I	TE201-I	TE202-I	TE203-I	TE204-I	TE301-I	TE302-I	TE303-I	TE304-I
tutto	16	16	13	15	15	14	16	58	15	13	12	13
eliminato il 204	14	15	12	14	14	14	15	61	14	12	11	11
eliminato il 503	13	14	12	13	14	13	14	64	13	12	11	11

TE401-I	TE402-I	TE403-I	TE404-I	TE501-I	TE502-I	TE503-I	TE504-I	MEDIE
14	14	15	11	23	16	48	14	18,5
13	13	14	11	22	15	51	13	15,7 deltaT (mK)
14	13	13	11	23	15	54	14	13,5
								3,2

RIO MARTINO - PIEMONTE

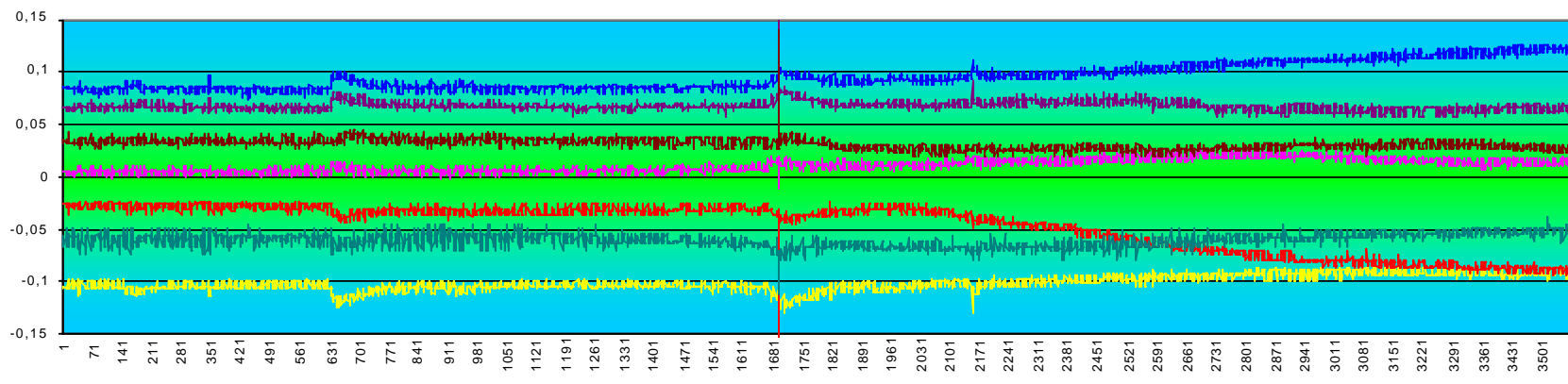


RIO MARTINO - PIEMONTE



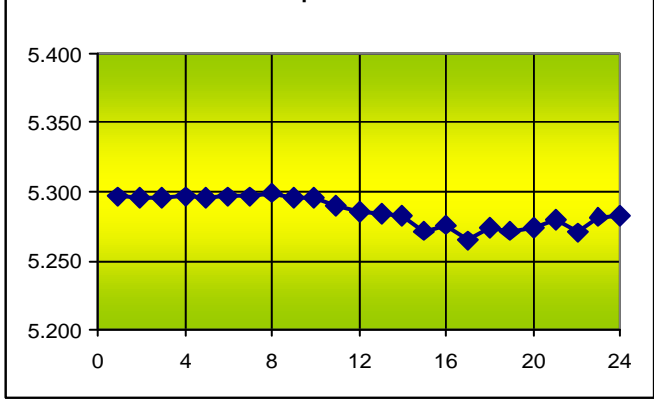
Autore:
Prof. Giovanni Badino

scostamento dei Termometri da Tm

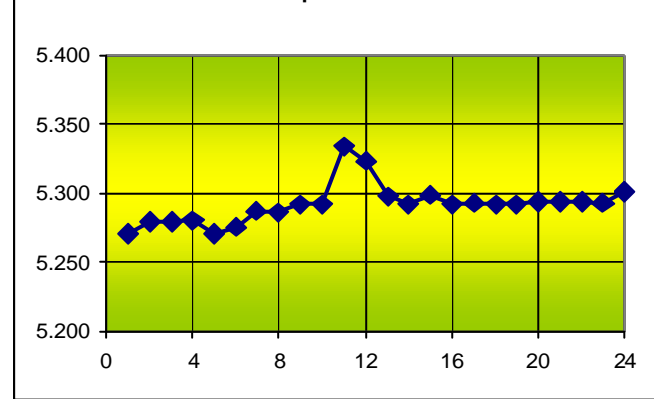


Termometro numero	1	2	3	4	5	6	7
scarto dalla media °C	0,106	0,021	-0,090	-0,036	0,078	0,042	-0,050
scarto quadr. medio m°C	11	5	6	24	6	6	6
scarto non corretto (dai 7 sensori)	13	6	8	22	5	5	6

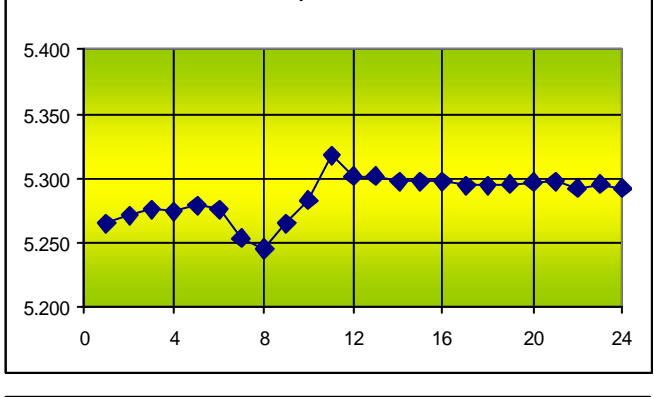
17-Apr - 80 MJ



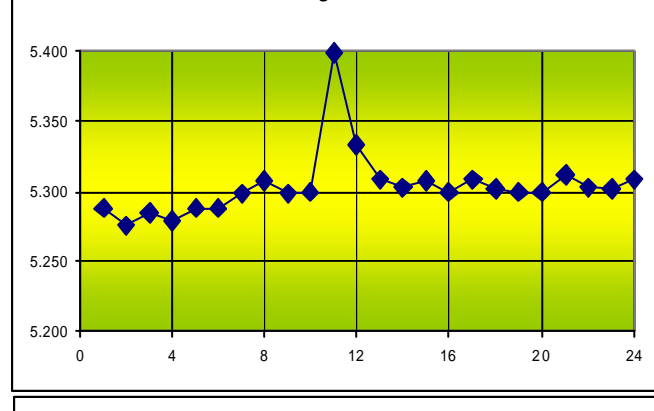
29-Apr - 140 MJ



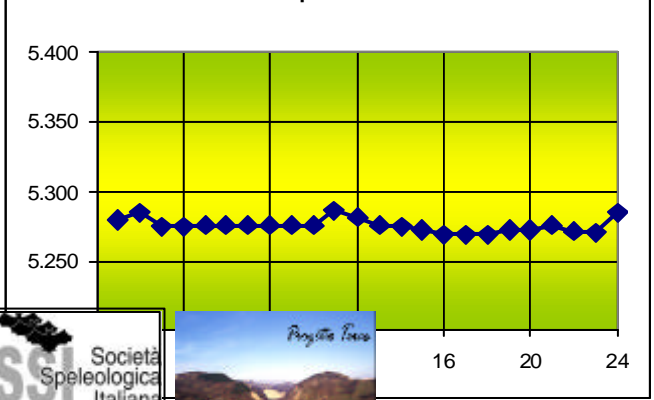
22-Apr - 140 MJ



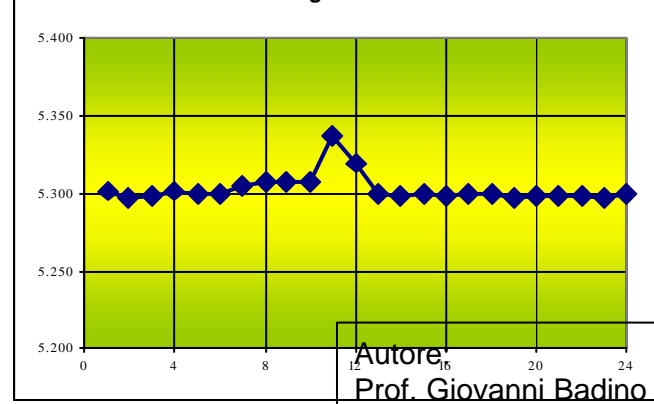
13-Mag- 160 MJ



24-Apr - 70 MJ



6-Mag - 130 MJ



Autore:
Prof. Giovanni Badino



INDICE

Il fattore tempo

Le escursioni termiche sotteranee (Santa Barbara e Rio martino)

Termometria sotterranea: estrazione di segnali debolissimi (Rio Martino, Cristales)

Tempo di risposta e stabilità delle misure

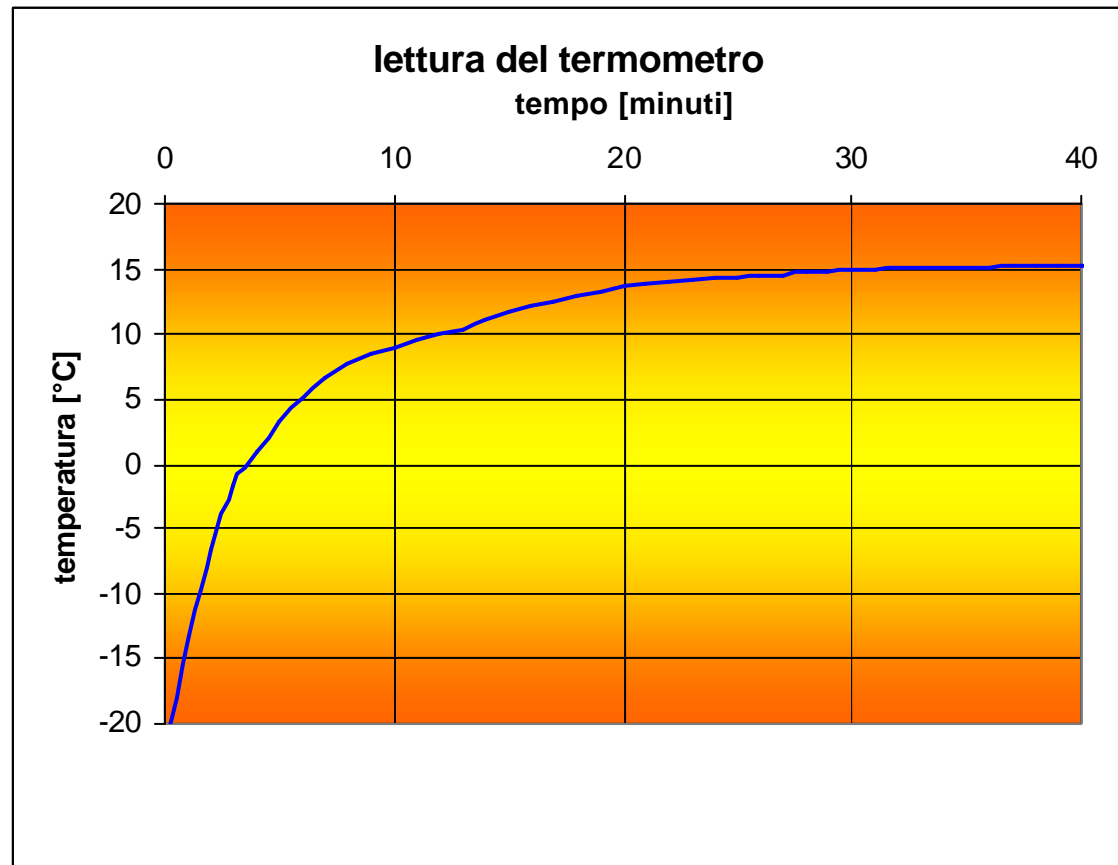
Significato delle temperature locali (Mottera, Castellana, Hundida, Rio Martino)

Umidità

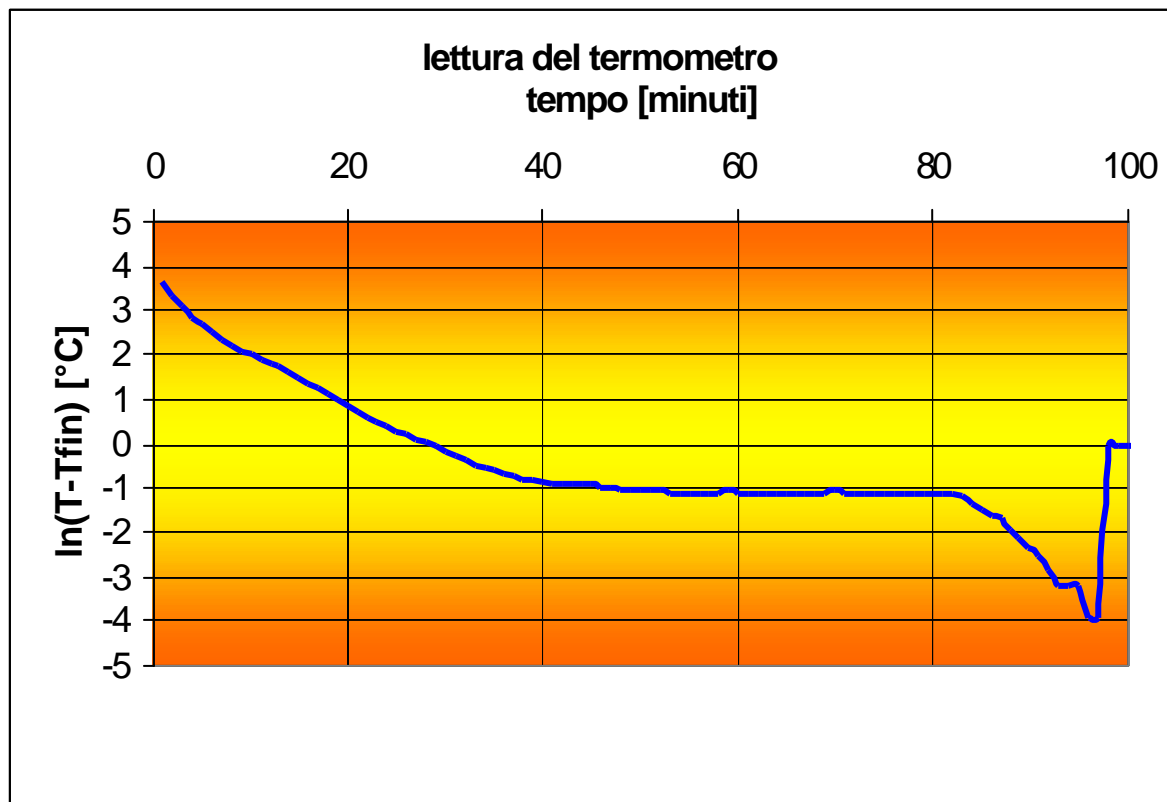


TEMPO DI RISPOSTA

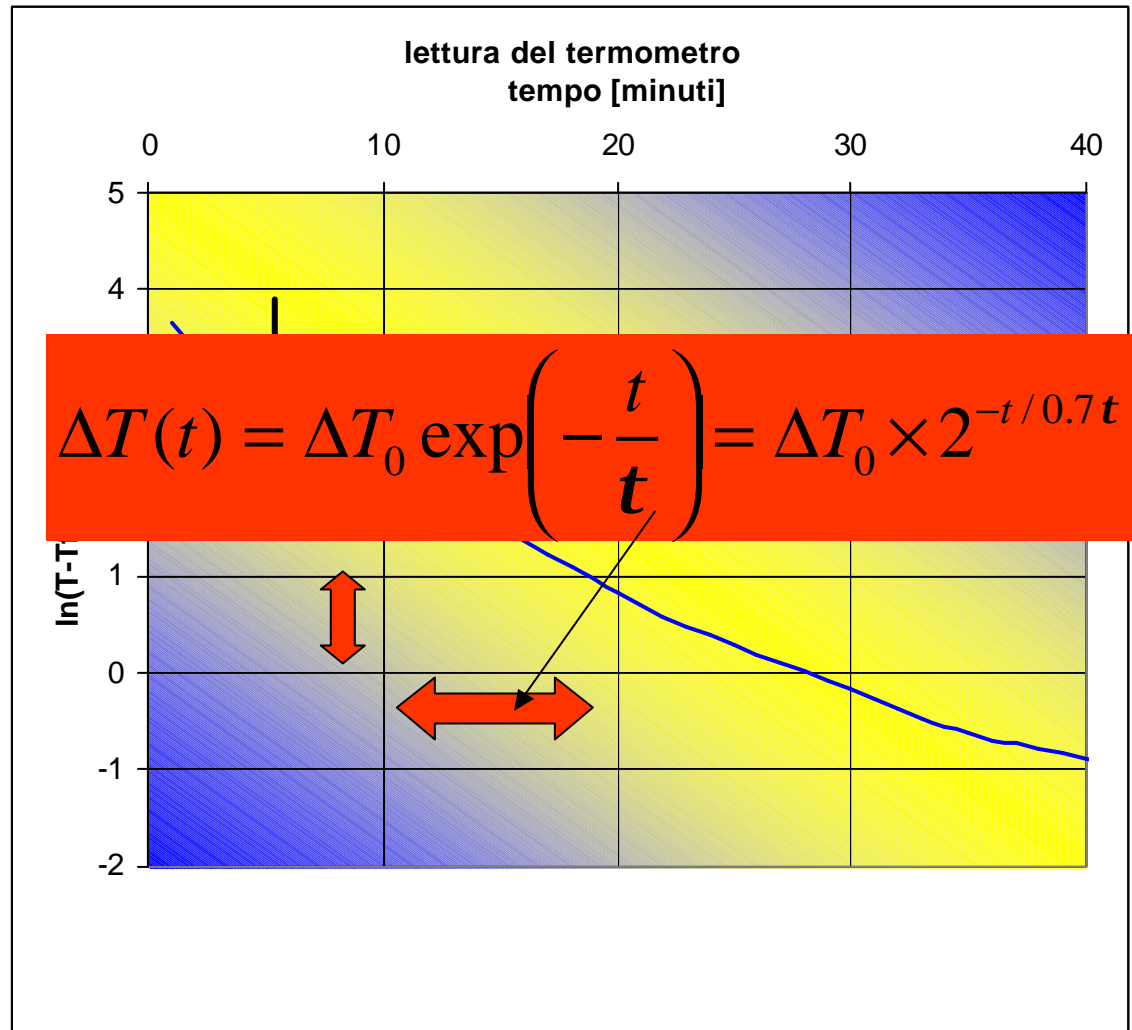
Ciò che si misura è la temperatura del termometro, non quella dell'ambiente



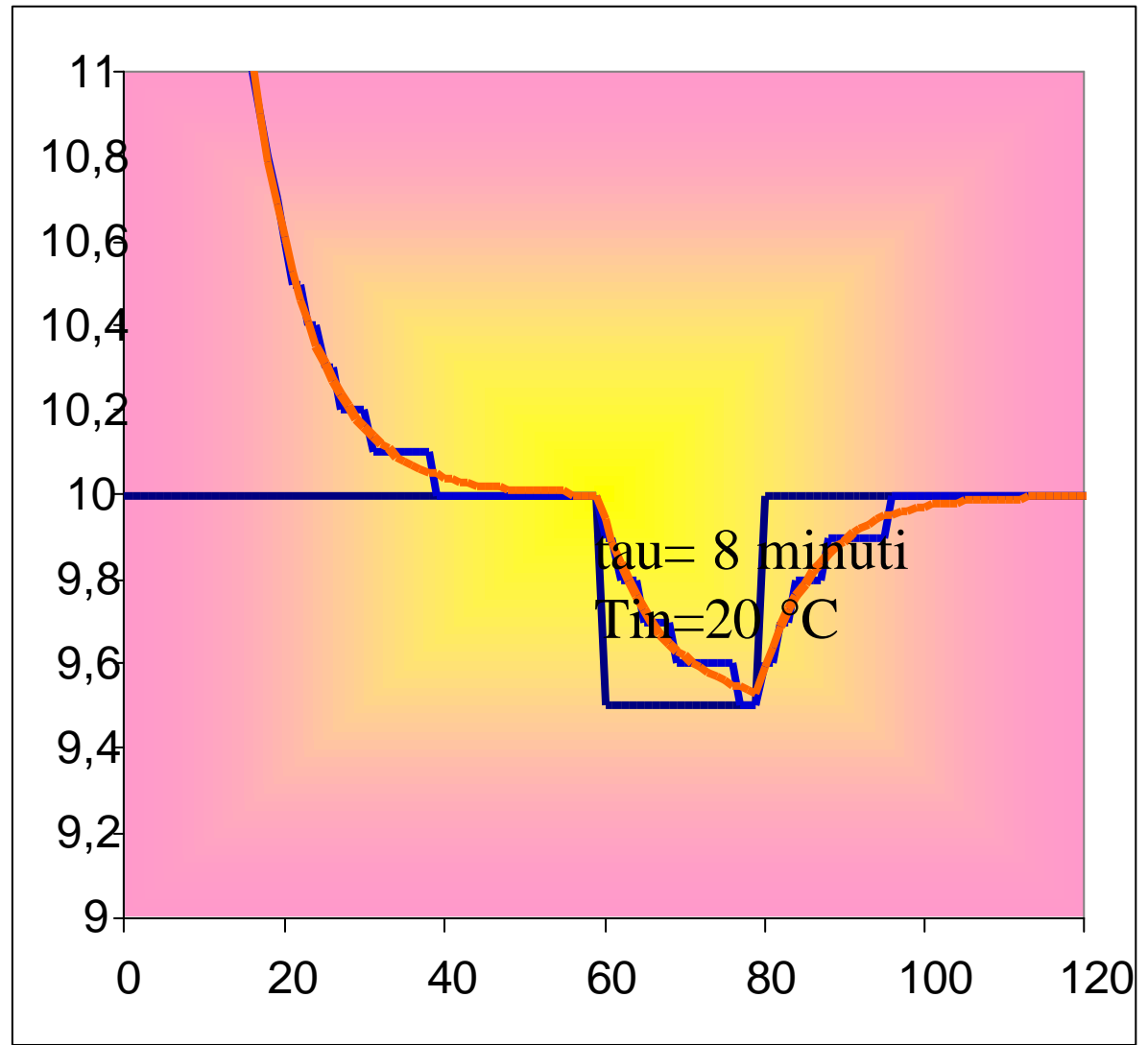
Analizzando i
logaritmi della
differenza fra la
temperatura finale
e quella
istantanea...



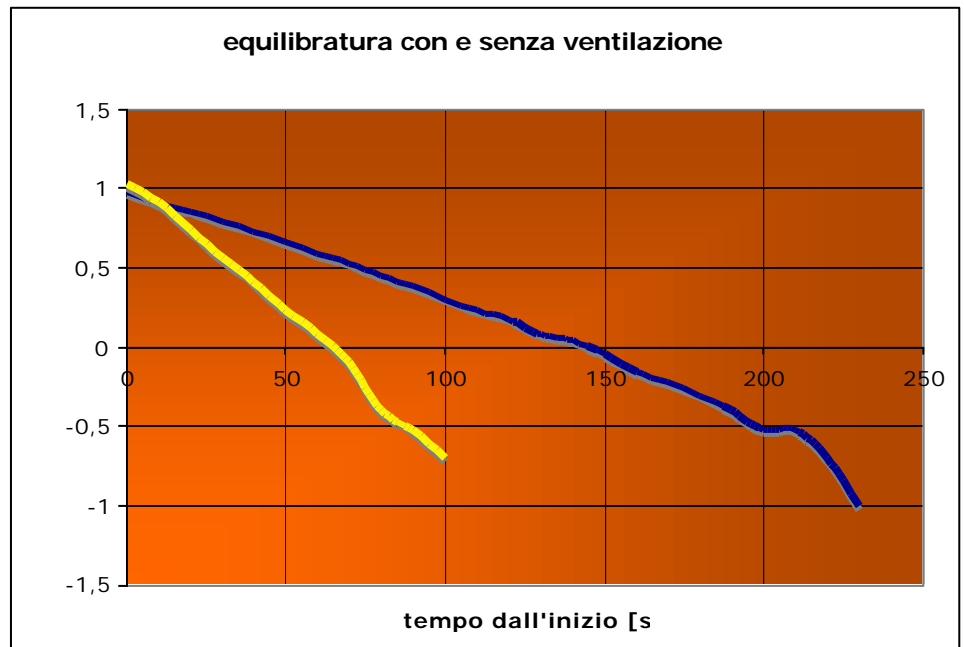
- La prima parte di riscaldamento si comporta bene, descrive una retta.
- Perché?
- Ci permette di determinare quanto tempo dobbiamo aspettare data una certa precisione richiesta.



- Il fatto di leggere la temperatura del termometro e non quella dell'ambiente, sottoterra ha diverse implicazioni.
- Soprattutto perché in genere fa freddo...

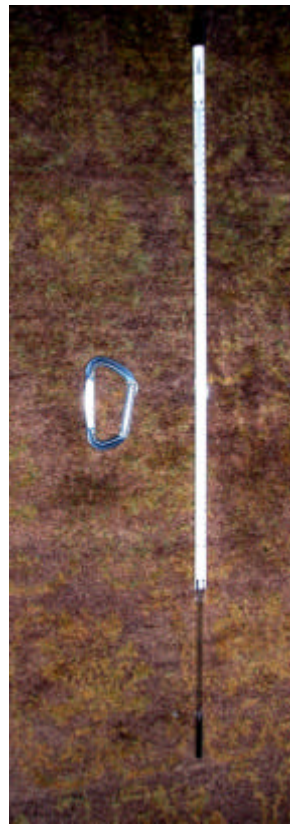


- Il tempo di risposta dipende dalle condizioni di esposizione.



STABILITÀ

- La stabilità a lungo termine degli strumenti per la meteorologia sotterranea è un problema gravissimo.
- Per i termometri può essere risolto con l'acquisizione di dati su almeno due canali paralleli, uno elettronico e l'altro con una tecnologia completamente diversa.





INDICE

Il fattore tempo

Le escursioni termiche sotteranee (Santa Barbara e Rio martino)

Termometria sotterranea: estrazione di segnali debolissimi (Rio Martino, Cristales)

Tempo di risposta e stabilità delle misure

Significato delle temperature locali (Mottera, Castellana, Hundida, Rio Martino)

Umidità



TEMPERATURA LOCALE

- Il sistema grotta è in equilibrio, ma esso fluttua attorno ad uno stato di equilibrio con ampiezze dell'ordine del centesimo di grado o meno.
- Questo rende difficile definire, ad esempio, la temperatura di una galleria, dato che essa varia nel tempo su ampiezze piccole.
- Ma il problema più grave è quello della sedimentazione termica.



Autore:
Prof. Giovanni Badino

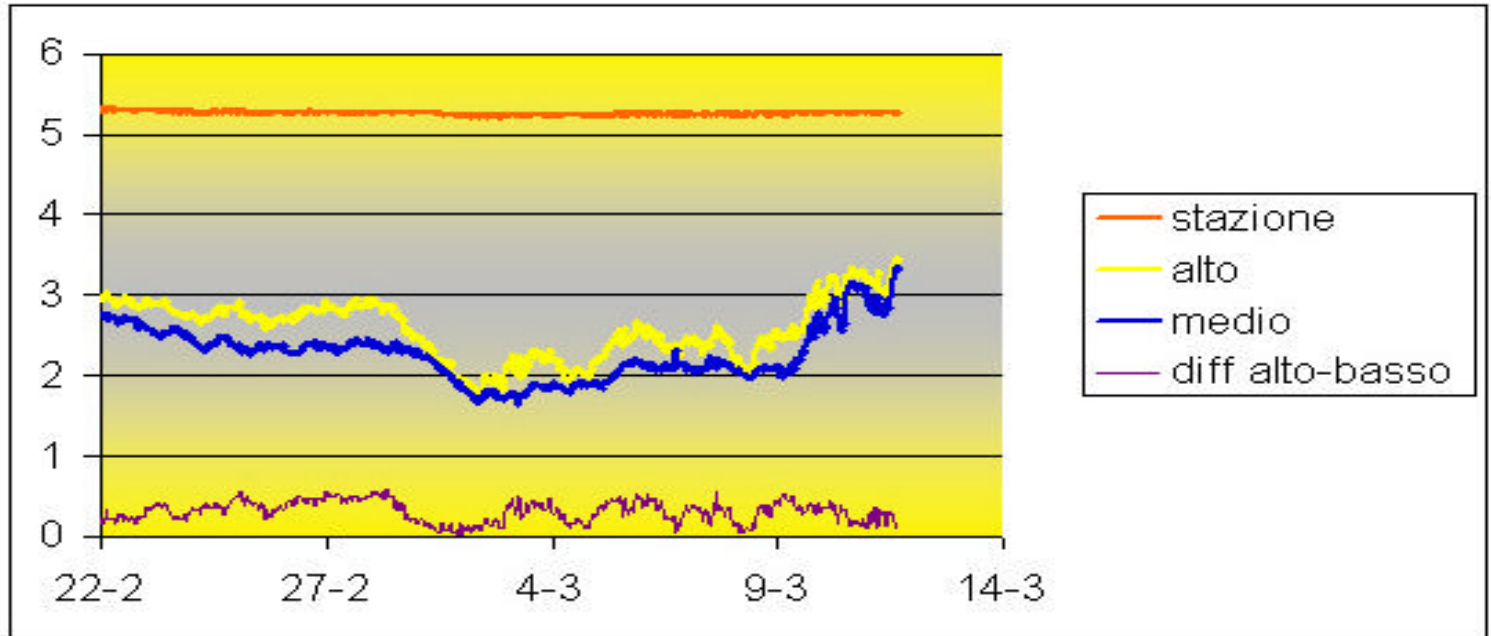
COS'È LA TEMPERATURA LOCALE?

- Nella grotta della Mottera in una diaclasi ventilata alta venti metri abbiamo misurato 5.1°C a 10 m, 5.0°C a 6 m e 4.8 a un metro di altezza. Questo corrisponde ad un gradiente di 0.03°C m⁻¹
- In condizioni effettivamente eccezionali (Cueva Hundida) abbiamo misurato 18.6°C sul pavimento, ma 19.9°C tre metri più in alto, per un gradiente di 0.4°C m⁻¹!



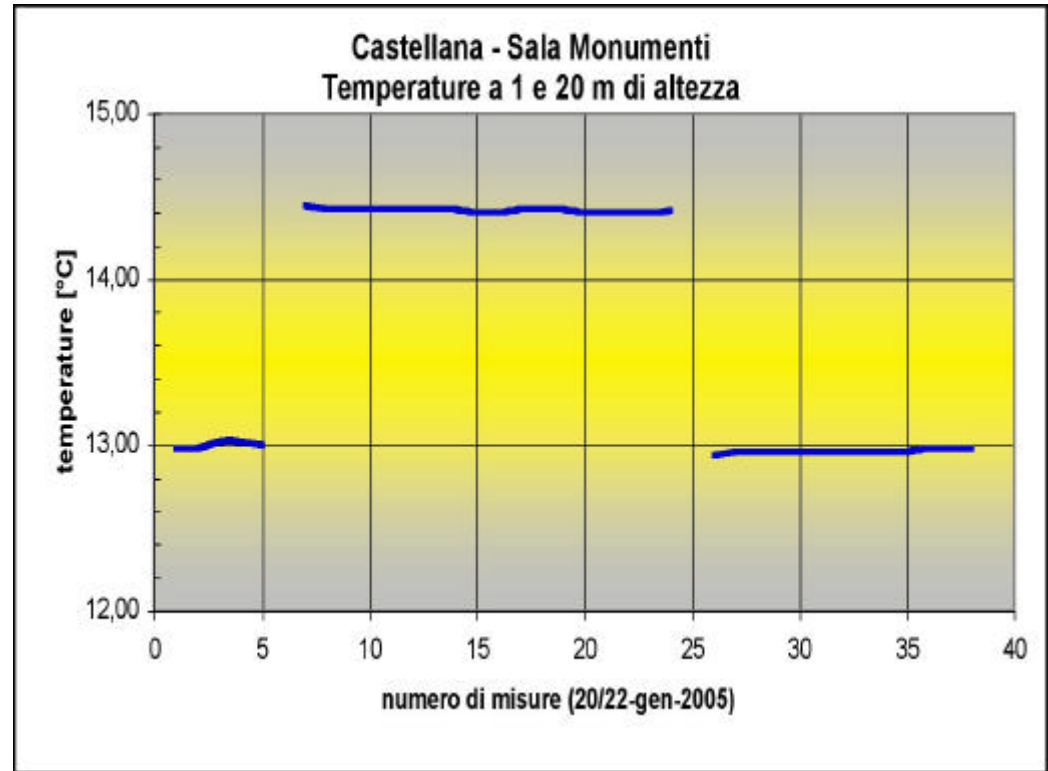
RIO MARTINO - PIEMONTE

Attualmente la stazione di Rio Martino è in acquisizione per misurare gli effetti della sedimentazione termica.



CASTELLANA - PUGLIA

- Nelle grotte turistiche il problema è probabilmente ancora più grave.





INDICE

Il fattore tempo

Le escursioni termiche sotteranee (Santa Barbara e Rio martino)

Termometria sotterranea: estrazione di segnali debolissimi (Rio Martino, Cristales)

Tempo di risposta e stabilità delle misure

Significato delle temperature locali (Mottera, Castellana, Hundida, Rio Martino)

[Umidità](#)



UMIDITÀ

- I sensori attualmente in produzione sono di due tipi: psicrometri a bulbo secco-umido e psicrometri capacitivi.
- Sta di fatto che i primi hanno una massima accuratezza di $\pm 1\%$, i secondi di $\pm 2\%$, entrambi limitati sino a 98 o 99%.



Autore:
Prof. Giovanni Badino

SCARTI DALL'EQUILIBRIO

- I dati psicrometrici sono in genere privi di significato: la massima parte delle atmosfere ipogee contiene vapor d'acqua all'equilibrio (in quasi tutte le grotte si potrebbero tarare gli psicometri al punto "100%") ma a quel livello le differenze tendono a perdere significato fisico.
- Le sovrasaturazioni, legate alla presenza di aerosol (da frammentazione di getti d'acqua o da risalita di aria umida), sono dell'ordine dello 0.01-0.1% e dunque almeno due ordini di grandezza al di sotto del limite strumentale.
- In realtà quel che in realtà importa è stimare se l'aria sia sovra- o sotto-satura di umidità.

CONCLUSIONI



- Il dato di temperatura è sempre utile, ma il segnale “meteorologico” è sepolto a livelli del centesimo di grado.
- Il valore dell’umidità relativa fornisce solo notizie sullo stato dello strumento e dunque è interessante solo in grotte secche.
- Per estrarre il segnale meteorologico occorre una conoscenza molto approfondita delle strumentazioni in uso e l’applicazione di tecniche di analisi dati non troppo ovvie.
- Va assolutamente approfondita la fenomenologia della sedimentazione termica all’interno delle grotte, che da sola è in grado di rendere vane tutte le misure climatiche sotterranee.