

## Relazione Scientifica

Luciano Telesca

ISTITUTO DI METODOLOGIE PER L'ANALISI AMBIENTALE (IMAA),  
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE,  
C.DA S.LOJA,  
85050 TITO(PZ), ITALY

---

1.1 Titolo del programma di ricerca:

**“Analisi statistica della dinamica temporale in  
variazioni geochimiche associate ad attività  
sismica”**

Il proponente

Il fruitore

1.2 **Keywords** : Terremoti, metodi statistici, serie storiche, geochimica

1.3 **Dipartimento: Terra e Ambiente**

1.3 **Durata: 21 giorni**

1.4 **Periodo: dal 28/06/2007 al 18/07/2007**

---

## 2 ATTIVITA' SVOLTE

Durante la permanenza presso la Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, an der TU Bergakademie Freiberg, l'attività di ricerca è stata rivolta all'analisi statistica di segnali geochimici, correlati ad attività sismica.

Sono state analizzate, in particolare, le variazioni di temperatura acqua ( $T_w$ ), temperatura ambiente ( $T_a$ ) e flusso di acqua ( $F_w$ ), misurati con tempo di campionamento di 30 minuti nella stazione geochimica di Miano. Tale stazione, installata dal gruppo di lavoro del Dr. J. Heinicke, è localizzata vicino al fiume Parma a Nord della città di Corniglio (Nord Italia) ( $44.488^\circ\text{N}$ ,  $10.095^\circ\text{E}$ ).

### 2.1 ANALISI STATISTICA DI $T_w$ e $T_a$

Sono stati analizzati i seguenti periodi di misura:

- dal 04/04/2006 al 29/08/2006
- dal 30/11/2006 al 11/04/2007

#### 2.1.1 ANALISI PERIODO DI MISURA 04/04/2006-29/08/2006

Fig. 1 mostra i dati sperimentali di  $T_w$  e  $T_a$  misurati nel periodo 04/04/2006-29/08/2006 dalla stazione geochimica di Miano.

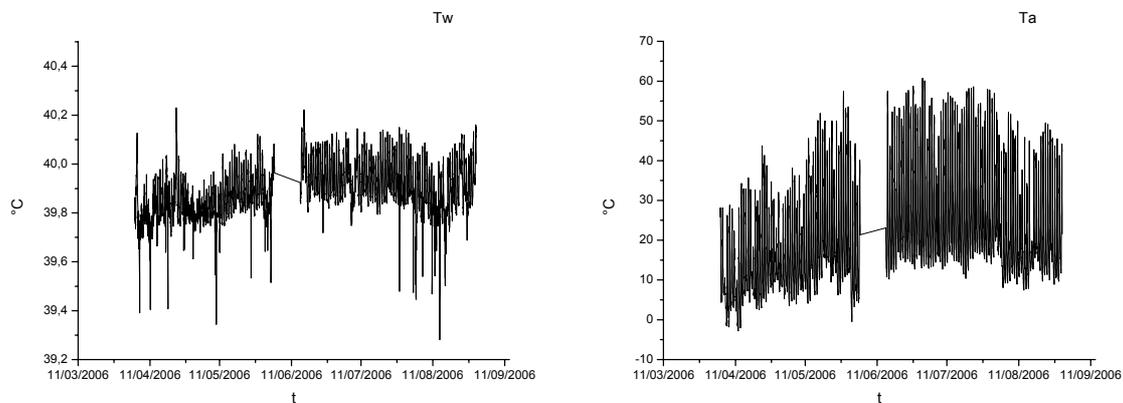


Fig. 1. Temperatura dell'acqua ( $T_w$ ) e temperatura ambiente ( $T_a$ ) misurate dalla stazione di Miano dal 04/04/2006 al 29/08/2006.

I segnali si presentano alquanto irregolari. Per evidenziare la presenza di periodicità legate a fenomeni meteo-climatici, si è effettuata un'analisi delle proprietà spettrali dei due segnali calcolandone lo spettro densità di potenza (PSD).

Fig. 2 mostra gli spettri densità di potenza (PSD) di entrambi i segnali, calcolati con il metodo del periodogramma.

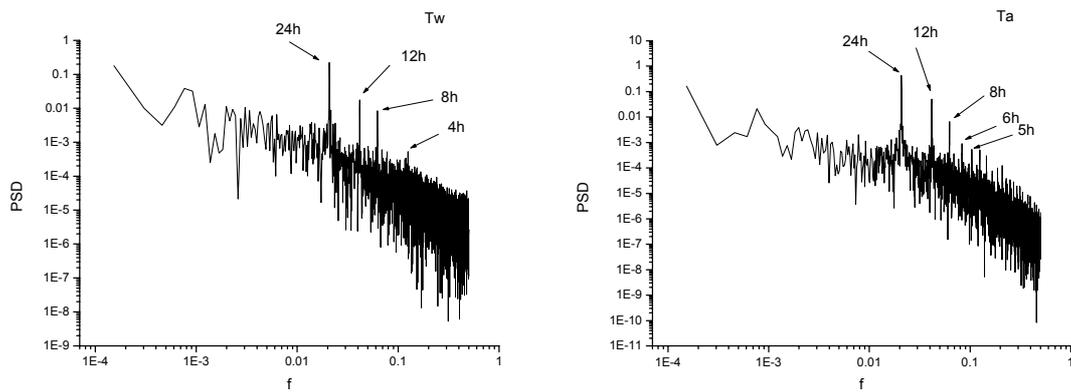


Fig. 2. Spettri densita' di potenza della temperatura di acqua (Tw) e temperatura ambiente (Ta).

I due spettri mostrano la presenza di componenti periodiche, rivelate dai picchi in frequenza centrate su particolari periodi. Tw in particolare presenta periodicit  di 24h, 12h, 8h e 4h; mentre Ta presenta picchi in frequenza a 24h, 12h, 8h, ma anche a 6h, 5h e altre di minore ampiezza localizzate a periodi minori.

Sono state rimosse dalle serie temporali di Tw e Ta le frequenze delle componenti periodiche individuate precedentemente nei rispettivi spettri e si sono normalizzati i residui ottenendo i risultati mostrati in Fig. 3 (Tw-res and Ta-res indicano i residui normalizzati).

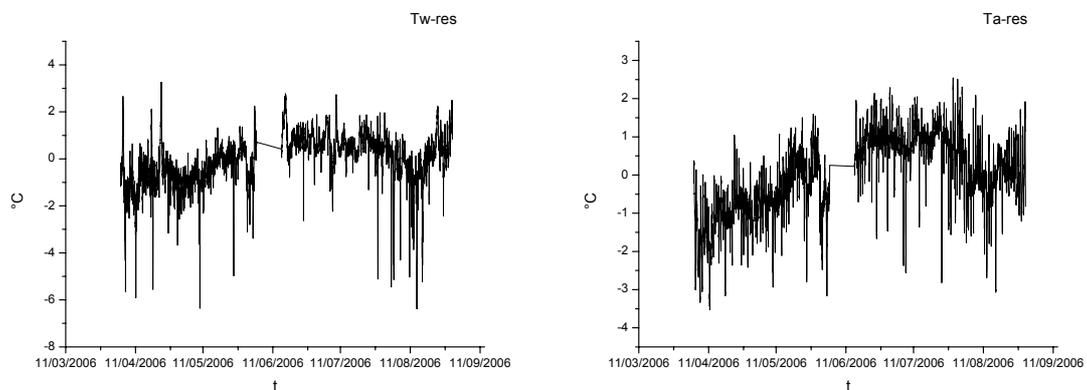


Fig. 3. Residui della temperatura di acqua (Tw) e temperatura ambiente (Ta) dopo la rimozione delle periodiche individuate in Fig. 2.

Data la nota influenza della temperatura dell'ambiente esterno su quella dell'acqua, si   valutata la correlazione tra le due serie residue: il risultato   mostrato in Fig. 4, in cui si osserva una certa correlazione tra le due variabili,  $R \sim 0.7$ .

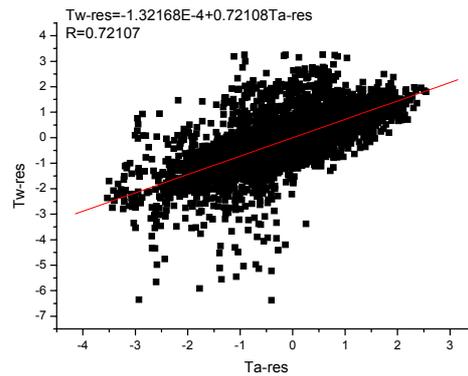


Fig. 4. Correlazione tra i residui Tw-res e Ta-res.

Da Tw-res è stata rimossa la correlazione con Ta-res. Il risultato è mostrato in Fig. 5, dove Tw2 indica la temperatura dell'acqua priva sia delle periodiche individuate con l'analisi della PSD sia della correlazione con la temperatura ambiente.

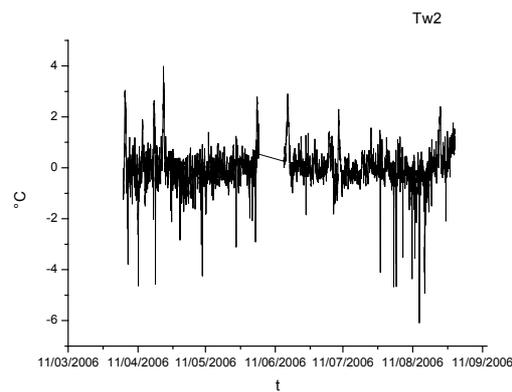


Fig. 5. Temperatura dell'acqua, dopo la rimozione delle periodiche e della correlazione con la temperatura ambiente.

Per valutare l'esistenza di eventuali anomalie correlate con attività sismica, si è studiata la funzione distribuzione di Tw2 plottata in Fig. 6.

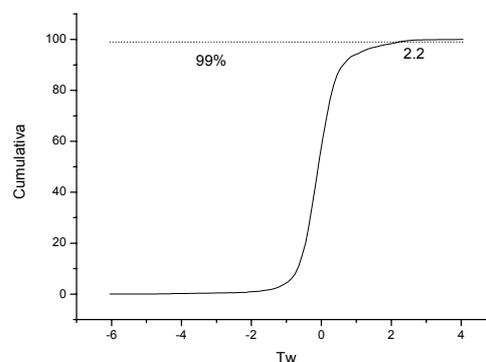


Fig. 6. Funzione distribuzione di Tw2 e indicazione del valore di soglia al 99%.

Scegliendo un livello del 99%, la soglia oltre la quale un valore di Tw2 si puo' considerare anomalia è 2.2.

La Fig. 7 mostra gli stessi dati mostrati in Fig. 5 con la soglia al 99% e i terremoti verificatisi nel periodo di riferimento nell'area investigata.

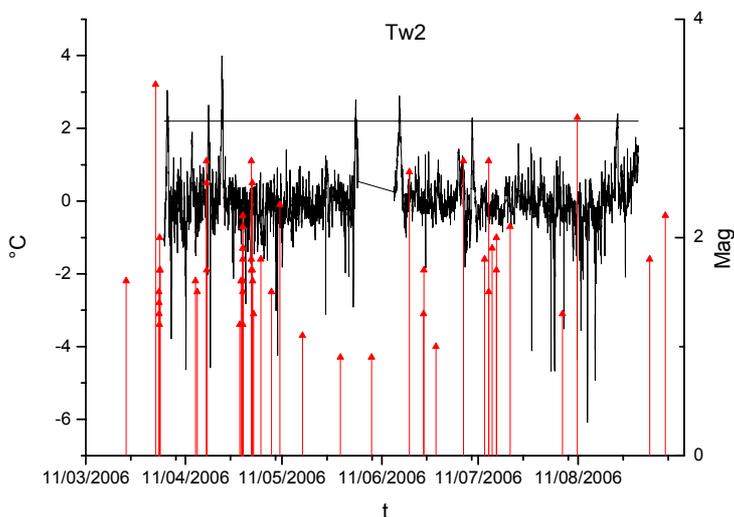


Fig. 7. Tw2 e soglia al 99%. Le frecce verticali indicano l'occorrenza dei terremoti.

Fig. 7 mette in evidenza una certa correlazione tra anomalie e eventi sismici con magnitudo maggiore di 2.

### 2.1.2 ANALISI PERIODO DI MISURA 30/11/2006-11/04/2007

Fig. 8 mostra i dati sperimentali di Tw e Ta misurati nel periodo 30/11/2006-11/04/2007 dalla stazione geochimica di Miano.

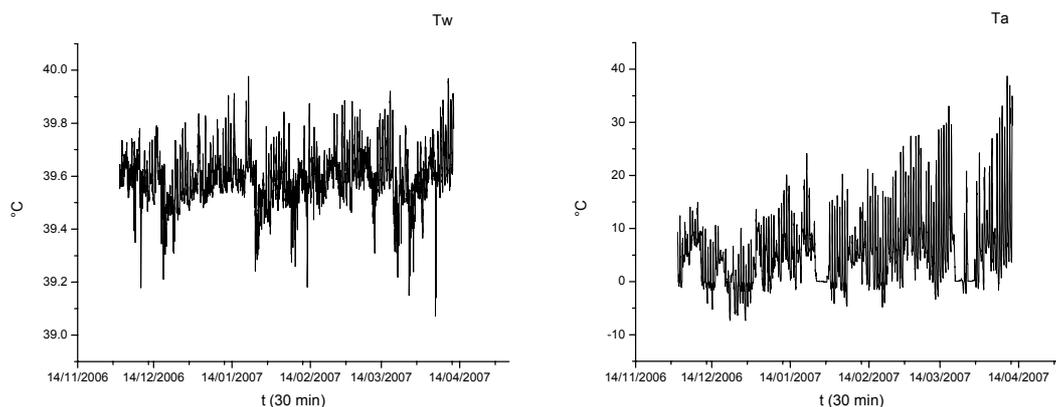


Fig. 8. Temperatura dell'acqua (Tw) e temperatura ambiente (Ta) misurate dal 30/11/2006 al 11/04/2007.

I segnali sembrano alquanto irregolari e la valutazione della presenza di periodicità è stata condotta analizzando i relativi spettri di potenza.

Fig. 9 mostra gli spettri densità di potenza (PSD) di entrambi i segnali, calcolati con il metodo del periodograma.

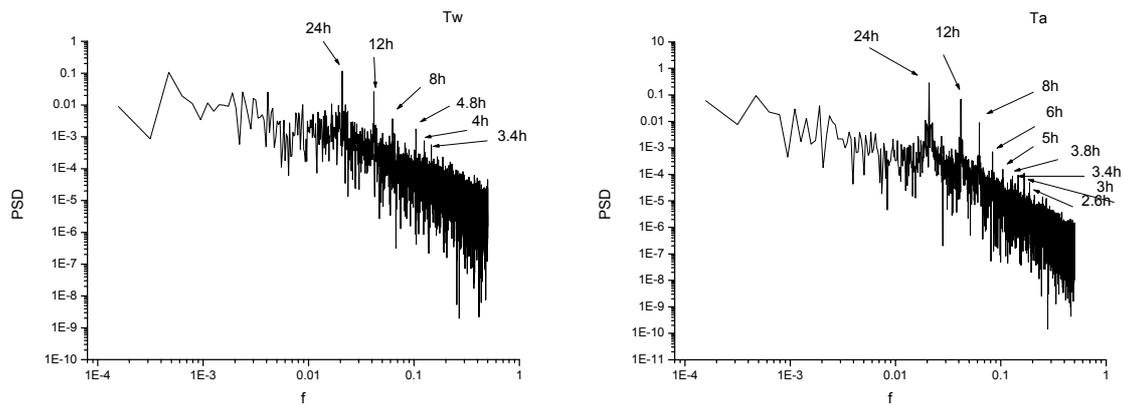


Fig. 9. Spettri densita' di potenza (PSD) della temperatura dell'acqua (Tw) e temperatura ambiente (Ta).

I due spettri mostrano la presenza di componenti periodiche. Tw in particolare evidenzia oscillazioni a 24h, 12h, 8h, 4.8h, 4h e 3.4h; mentre la presenta picchi di frequenza a 24h, 12h, 8h, ma anche a 6h, 5h, 3.8h e altre di minore ampiezza localizzate a periodi minori.

Sono state rimosse dalle serie temporali di Tw e Ta le frequenze delle periodiche individuate precedentemente e si sono normalizzati i residui ottenendo i risultati mostrati in Fig. 10.

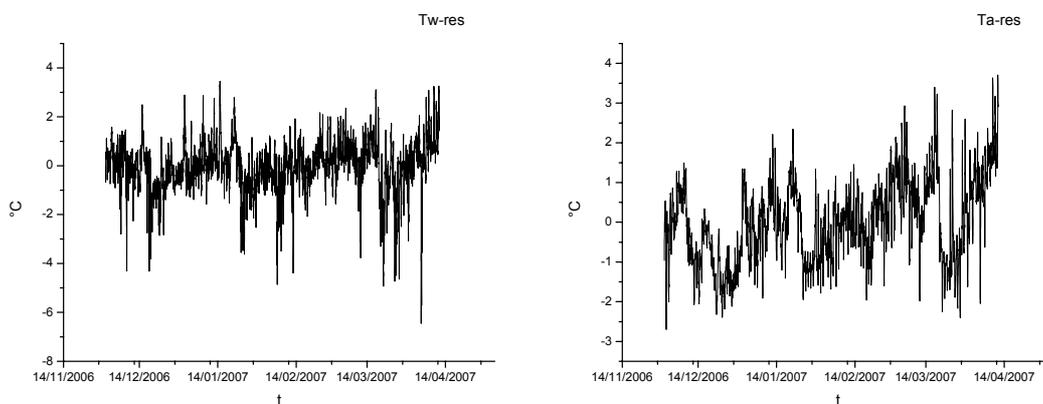


Fig. 10. Residui della temperatura dell'acqua (Tw) e temperatura ambiente (Ta).

Per evidenziare il legame tra le due variabili, si è valutata la correlazione tra le due serie residue: il risultato è mostrato nella Fig.11, in cui si osserva una certa correlazione tra le due variabili di circa 0.6.

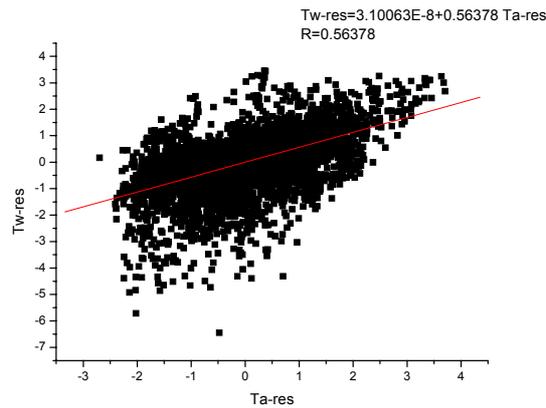


Fig. 11. Correlazione tra Tw-res e Ta-res.

Da Tw-res è stata rimossa la correlazione con Ta-res. Il risultato è mostrato in Fig. 12, in cui è plottata la temperatura dell'acqua da cui sono state rimosse le periodiche e in seguito la correlazione con la Ta, come spiegato sopra. La nuova quantità è stata definita come Tw2.

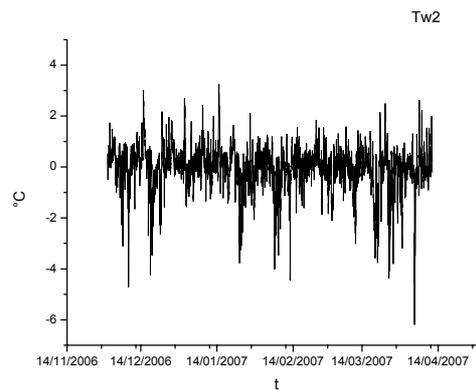


Fig. 12. dell'acqua, dopo la rimozione delle periodiche e della correlazione con la temperatura ambiente..

La ricerca dell'esistenza di eventuali anomalie richiede un'analisi del calcolo della funzione distribuzione dei valori, plottata in Fig. 13.

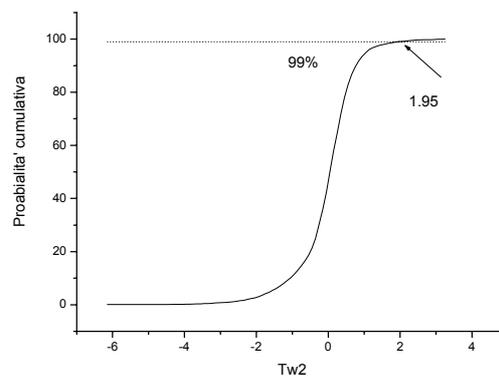


Fig. 13. Funzione distribuzione di Tw2 e indicazione del valore di soglia al 99%.

Scegliendo un livello del 99%, la soglia oltre la quale un valore di Tw2 si puo' considerare anomalia è 1.95.

Fig. 14 mostra gli stessi dati mostrati in Fig. 12 con la soglia al 99% e i terremoti verificatisi nel periodo di riferimento nell'area investigata.

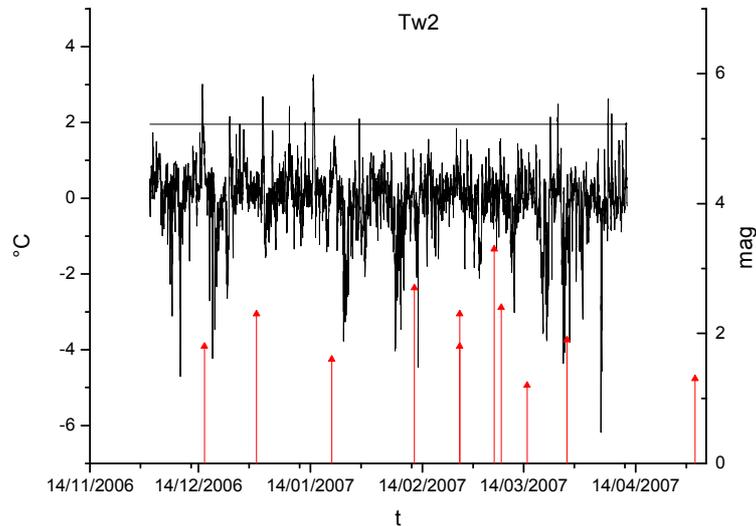


Fig. 14. Tw2 e soglia al 99%. Le frecce verticali indicano l'occorrenza dei terremoti

Fig. 14 mette in evidenza una certa correlazione tra anomalie e eventi sismici, anche se piu' debole rispetto al primo periodo di misura.

## 2.2 ANALISI STATISTICA DI Fw

E' stato analizzato il seguente periodo: dal 18/02/2006 al 29/08/2006

Fig.15 riporta la variazione del flusso di acqua nel periodo considerato. Il tempo di campionamento è di 10 minuti.

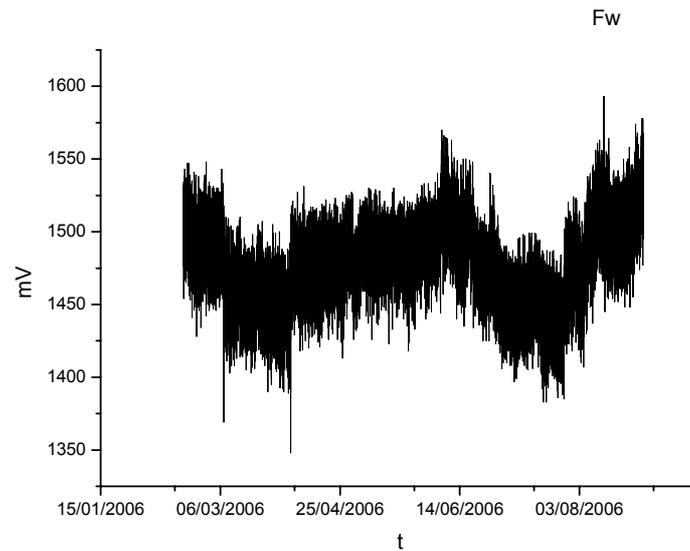


Fig. 15. Flusso di acqua dal 18/02/2006 al 29/08/2006.

Fig. 15 mette in evidenza una notevole rumorosità nella misura della grandezza in questione.

Per valutare il range di frequenze e la potenza di tale rumore di è eseguito uno spettro di potenza.

Fig. 16 mostra i risultati.

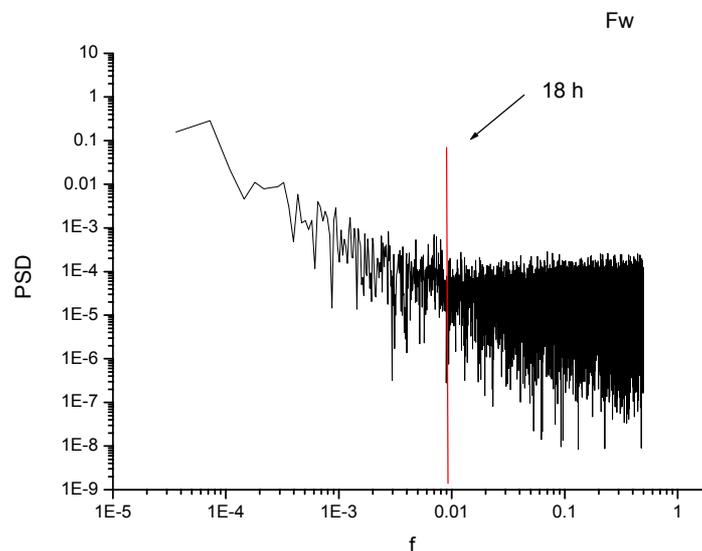


Fig. 16. PSD di Fw.

Lo PSD del flusso d'acqua mostra un comportamento scaling alle basse frequenze e un andamento piatto alle alte frequenze. La barra verticale rossa separa i due regimi. Alle alte frequenze pertanto il rumore bianco predomina sul segnale.

Per eliminare il rumore si è filtrato il segnale con un filtro ideale passa-basso con frequenza di taglio corrispondente alla barra verticale rossa.

Il segnale filtrato è mostrato in Fig. 17.

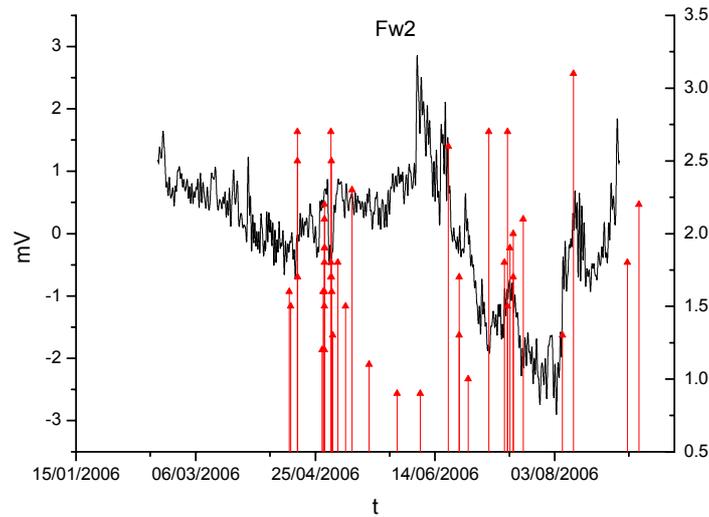
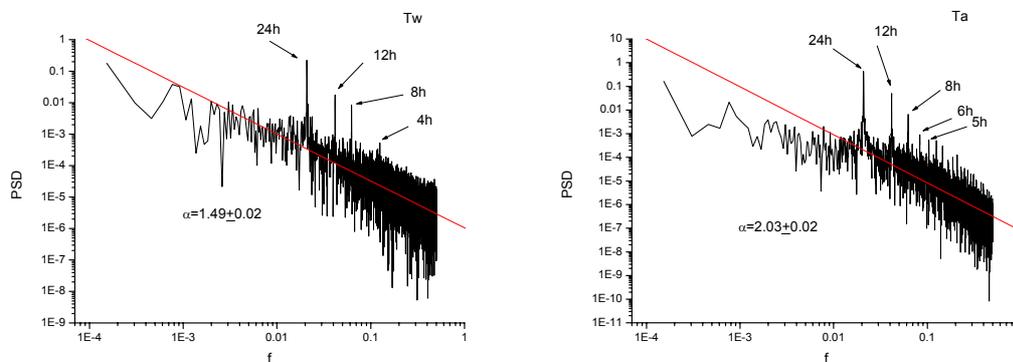


Fig. 17. Fw2 e i terremoti verificatisi nel periodo di misura nell'area investigata.

Considerando solo gli eventi di magnitudo maggiore o uguale a 2.0, si osserva un'interessante correlazione con le anomalie di tale segnale, date dalle subitanee variazioni positive del segnale stesso.

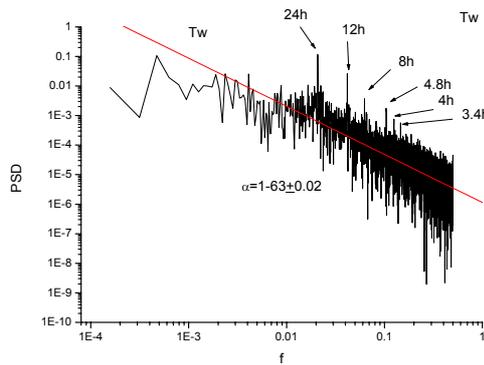
### 2.3 ANALISI MONOFRATTALE CON LA PSD

**Brevi cenni teorici:** Lo spettro densità di potenza consente (i) l'individuazione di periodicità particolarmente influenti e (ii) la discriminazione tra rumore bianco (spettro piatto), tipico di segnali privi di memoria, e spettro colorato (power-law), tipico di segnali caratterizzati da proprietà di correlazioni long-range. Lo spettro viene calcolato effettuando il modulo quadro della trasformata di Fourier del segnale.

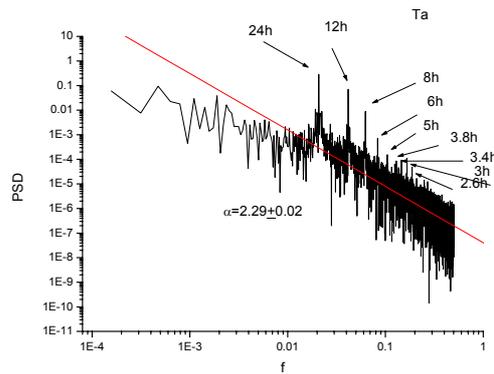


a)

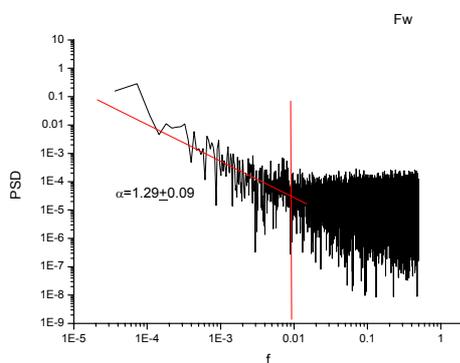
b)



c)



d)



e)

Fig. 18. PSD con stima del coefficiente spettrale dei dati analizzati

La Fig. 18 mostra gli spettri dei segnali analizzati. Si nota che lo scaling della temperatura ambiente è sempre intorno a 2, mentre quello della temperatura dell'acqua intorno a 1.4. Lo scaling del flusso d'acqua è intorno a 1.3. Questi valori indicano che i processi sono tutti persistenti con un grado di persistenza maggiore evidenziato dalla Ta.

## 2.4 ANALISI MONOFRATTALE CON IL METODO DELLA DETRENDED FLUCTUATION ANALYSIS

**Brevi cenni teorici:** Il metodo della Detrended Fluctuation Analysis (DFA) rivela correlazioni long-range in segnali che possono essere affetti da nonstazionarietà, di cui non si conosce l'origine (Peng, 1995).

Viene calcolata la fluttuazione quadratica media  $F(n)$  dalla seguente formula

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y(k) - y_n(k)]^2}$$

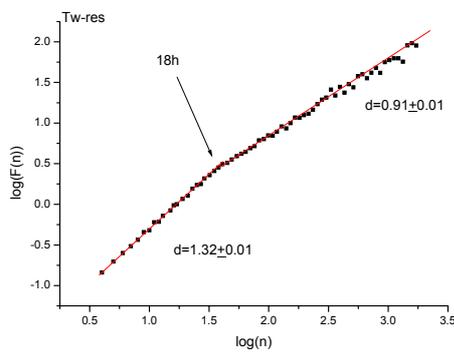
Ripetendo questo calcolo per tutte le scale  $n$  si ottiene una relazione tra  $F(n)$  e  $n$ , che se power-law indica correlazioni long-range:

$$F(n) \propto n^d.$$

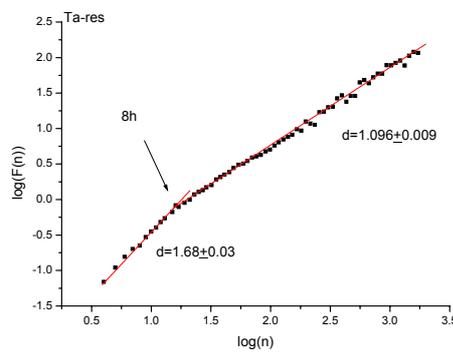
Sotto queste condizioni si ha che: se  $d=0.5$  il segnale è scorrelato,  $d \neq 0.5$  sono presenti correlazioni long-range; se  $d=1.0$  il segnale è di tipo flicker-noise; se  $d=1.5$  il segnale è di tipo Browniano.

La relazione tra l'esponente  $d$  e l'esponente spettrale  $\alpha$  è dato da  $d=(1+\alpha)/2$ .

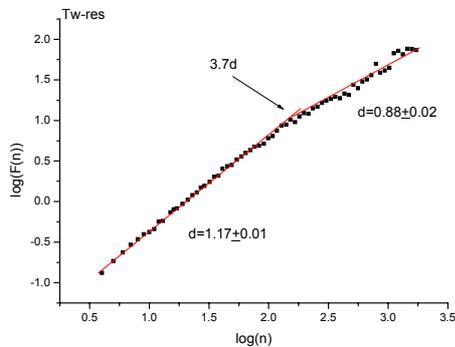
L'analisi DFA è stata effettuata sulle serie residue Tw-res, Ta-res (nei due periodi di misura) e su Fw2.



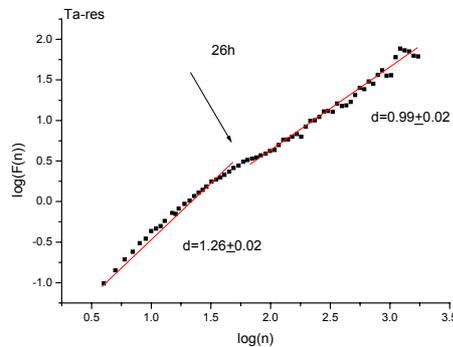
a)



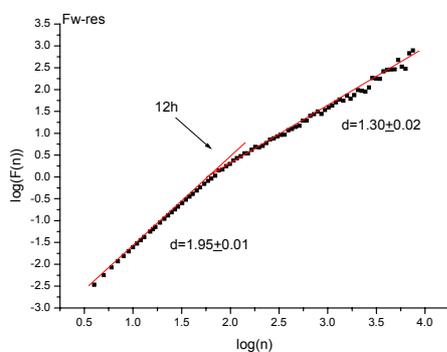
b)



c)



d)



e)

L'analisi della DFA mostra l'esistenza di due range temporali con dinamiche diverse. In tutti i casi il range temporale corrispondente alle scale temporali minori presenta un coefficiente  $d$  maggiore rispetto a quello corrispondente alle scale temporali maggiori.

Alle scale temporali minori  $d$  varia tra 1.17 e 1.95, corrispondenti a una variazione di  $\alpha$  tra 1.2 e 2.9. Questi risultati sono abbastanza consistenti con quelli ottenuti utilizzando la PSD. Alle scale temporali maggiori  $d$  varia tra 0.88 e 1.30, corrispondenti a valori di  $\alpha$  tra 0.76 e 1.6.

Poco chiara è la posizione dei tempi di crossover che variano tra 8h e 3.7d, a parte il crossover di 12h in Fw2 che può essere ascritta alla variazione semigiornaliera del flusso d'acqua, probabilmente per motivi meteo-climatici.

### 3. RISULTATI OTTENUTI

#### 3.1 Individuazione di leggi di invarianza di scala

Le tecniche frattali usate hanno evidenziato sia negli spettri di potenza sia nella DFA la presenza comportamento scaling. Solo nel segnale Fw è emersa una dinamica puramente random alle alte frequenze.

#### 3.2 Individuazione di fenomeni di persistenza

Analizzando le serie sia con lo spettro di potenza sia con la DFA, esse sono risultate persistenti ossia positivamente correlate (l'esponente spettrale positivo, e esponente  $d$  maggiore di 0.5).

#### 3.4 Individuazione di correlazioni con attività sismica

L'analisi statistica delle serie residue di Tw, Ta e Fw rivela la presenza di una certa correlazione tra le anomalie e gli eventi sismici, specie quelli con magnitudo maggiore di 2.0.

### 4 VALUTAZIONE CRITICA DELL'INIZIATIVA

La qualità della attività di ricerca condotta nel corso della permanenza presso la Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, an der TU Bergakademie Freiberg è testimoniata dai seguenti indicatori oggettivi:

- Pianificazione di sottomissione a rivista internazionale di almeno un lavoro con citazione del CNR
  - Presentazione dei risultati ottenuti nell'ambito di questo programma di ricerca alla **9th International Conference of Gas Geochemistry, in Taipei (Taiwan) 1-8 Ottobre 2007** nel lavoro "A 1000 m water well as a test monitoring system for the
-

*detection of possibile earthquake related anomalies in fluids by J. Heinicke, G. Martinelli, L. Telesca”.*

- Rafforzamento dell'attività di collaborazione internazionale

L'attività svolta nell'ambito di questo programma di ricerca ha ulteriormente rafforzato la collaborazione con la Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, an der TU Bergakademie Freiberg, nella persona del Dr. J. Heinicke, con cui sono stati presi accordi sull'analisi di ulteriori dati di tipo geochimico.

## 5 RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano:

- il CNR, per la concessione del finanziamento nell'ambito del programma di “Short-term mobility 2007” con il quale la presente attività di ricerca è stata svolta;
- la Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, an der TU Bergakademie Freiberg, per l'ospitalità concessa durante il periodo di soggiorno a Freiberg per condurre la presente ricerca;
- il Prof. Dr. Jens Heinicke, per la collaborazione fornita, per i dati messi a mia disposizione per l'analisi effettuata nell'ambito della presente ricerca;
- l'INGV per i dati sismici pubblicamente disponibili sul sito [www.ingv.it](http://www.ingv.it), utilizzati nella presente ricerca.

Il proponente

Il fruitore

---