

Rapporti tecnici

INGV

Procedura automatica per lo studio
dei segnali registrati da una
stazione tiltmetrica

115



Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Anna Grazia Chiodetti (AC)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Lucia Margheriti (CNT)

Simona Masina (BO)

Nicola Pagliuca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - coordinatore (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it



Rapporti tecnici INGV

PROCEDURA AUTOMATICA PER LO STUDIO DEI SEGNALI REGISTRATI DA UNA STAZIONE TILTMETRICA

Ciro Ricco, Ida Aquino, Carlo Del Gaudio

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli -Osservatorio Vesuviano)

115

Indice

Introduzione			5
1.	Labbook	AGGIORNA	7
1.1.	Worksheet	Aggiornamento	7
1.2.	Worksheet	1 ^a Correzione	8
1.3.	Worksheet	2 ^a Correzione	10
1.4.	Worksheet	Rappresentazione Segnali	12
1.5.	Worksheet	Analisi Spettrale	15
1.6.	Worksheet	Confronto Segnali	19
2.	Labbook	DECORREL	20
2.1.	Worksheet	Preparazione Segnali	20
2.2.	Worksheet	Calcolo Polinomi	22
2.3.	Worksheet	Decorrelazione Segnali	24
2.4.	Worksheet	Rappresentazione Tilt decorrelato	28
Bibliografia			31
Allegato A			33

Introduzione

La Tiltmetria costituisce un metodo di misura in continuo della deformazione del suolo attraverso il monitoraggio delle variazioni di inclinazione nel tempo sia in ampiezza che in direzione ed è particolarmente utilizzata nelle aree vulcaniche e sismogenetiche attive [Wyatt et al., 1988; Ricco et al., 1991; Ricco et al., 2000; Ricco et al., 2003; Ricco et al., 2007].

La rete tiltmetrica gestita dalla Sezione Osservatorio Vesuviano dell' INGV è composta da 7 stazioni in registrazione continua ai Campi Flegrei, 5 delle quali (DMA, DMB, DMC, BAI ed OLB) sono equipaggiate con sensori di superficie e 2 (OLB e TOI) anche con sensori *borehole*; al Vesuvio invece esistono 2 stazioni con sensori di superficie (OVO e CMD) (fig. 1) [Aquino et al., 2006].



Figura 1 Rete tiltmetrica flegreo-vesuviana.

I tiltmetri utilizzati sono sensori elettronici biassiali con trasduttori a bolla della Applied Geomechanics mod. 702 da superficie (fig. 2a) e mod. 722 borehole (fig. 2b); essi misurano le variazioni di inclinazione del suolo dell'ordine di $0.1 \mu\text{rad}$, lungo direzioni ortogonali X e Y e sono corredati da un sensore termico [AGI, 1995].

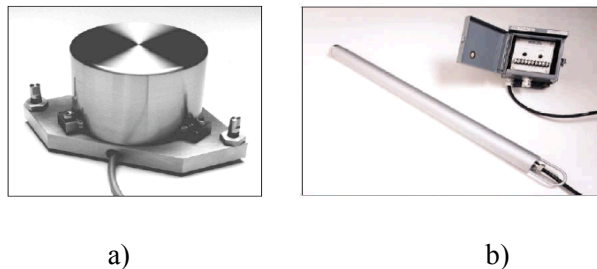


Figura 2 Tiltmetri elettronici biassiali della Applied Geomechanics
a) mod. 702 da superficie, b) mod. 722 borehole.

Il mod. 702 ha un aspetto subtriangolare ed è costituito da un contenitore di acciaio inox per una maggiore resistenza ambientale sia agli agenti fisici che chimici, è sigillato e sommergibile ed al suo interno è collocata l'elettronica nonché gli switch per il controllo del guadagno e l'attivazione del filtro passa-basso. Il mod. 722 consiste in un cilindro di acciaio inox, l'elettronica è collocata alla sua base mentre l'alimentazione, gli switch e le uscite dei segnali sono collocati in un box esterno e collegate al tiltmetro tramite un cavo impermeabile rinforzato in acciaio.

I sensori A.G.I. (mod. 702 e 722) hanno un range di misura di $\pm 800 \mu\text{rads}$ in alto guadagno (H.G.) e di $\pm 8000 \mu\text{rads}$ in basso guadagno (L.G.), una risoluzione di $0.1 \mu\text{rads}$, una sensibilità di $10\text{mV}/\mu\text{rads}$, una ripetibilità di $1 \mu\text{rad}$, una massima non linearità del 1% (H.G.) e 3% (L.G.) [AGI, 2001].

I dati di inclinazione del suolo sono acquisiti con una frequenza di 5 minuti, memorizzati in un *datalogger* e poi trasmessi via modem al centro di monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano I.N.G.V. dove vengono inviati al *server* per essere archiviati e ad una postazione dedicata per l'elaborazione.

Va ricordato che le variazioni di temperatura deformano il terreno su cui poggiano i sensori tiltmetrici in modo non prevedibile a causa delle disomogeneità presenti e della sua inerzia termica creando delle

periodicità nei segnali registrati. Poiché la deformazione termoelastica dello strato superficiale del suolo in corrispondenza dei siti stazione non è nota, la rimozione dall'inclinazione del suolo apparente registrata dal sensore degli effetti di dilatazione o contrazione del substrato può essere effettuata solo per via statistica.

In questo rapporto si intende spiegare nel dettaglio il metodo utilizzato per l'elaborazione dei segnali acquisiti dalla Rete Tiltmetrica flegreo-vesuviana, che è parte integrante dell'analisi di *routine* dei dati tiltmetrici acquisiti quotidianamente da ognuna delle 9 stazioni e che utilizza il *software* grafico interattivo sviluppato dalla *DSP Development Corporation (DADISP)* [DADISP 1996], suddiviso in *labbooks* e *worksheets*, che si differenzia dagli altri *spreadsheets* in quanto utilizza al posto delle celle delle finestre.

Il *labbook* è una cartella in cui sono archiviati i fogli di lavoro; in ogni foglio di lavoro (*worksheet*) sono disponibili 100 finestre tra di loro collegabili in ognuna delle quali possono essere importate lunghe serie temporali (rappresentabili numericamente o graficamente) su cui effettuare calcoli attraverso espressioni algebriche o sequenze di comandi e macro.

L'elaborazione dei segnali è strutturata in 2 *labbooks* (figg. 3 e 5) organizzati in 10 *worksheets* (figg. 4 e 6) secondo il seguente schema:

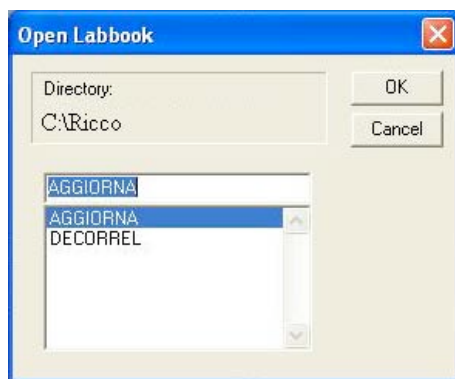


Figura 3 Finestra di dialogo relativa all'apertura del *labbook* AGGIORNA (evidenziato in blu).

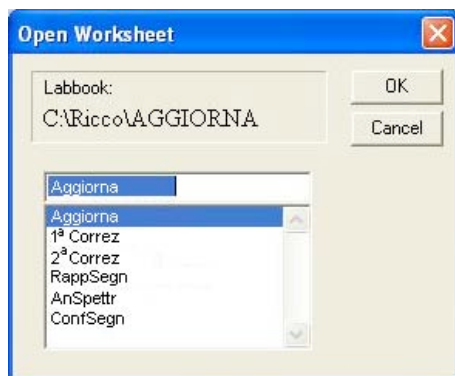


Figura 4 Finestra di dialogo relativa all'apertura delle *worksheets* all'interno del *labbook* AGGIORNA.

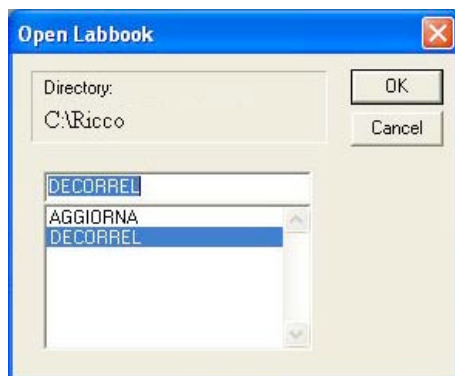


Figura 5 Finestra di dialogo relativa all'apertura del *labbook* DECORREL (evidenziato in blu).

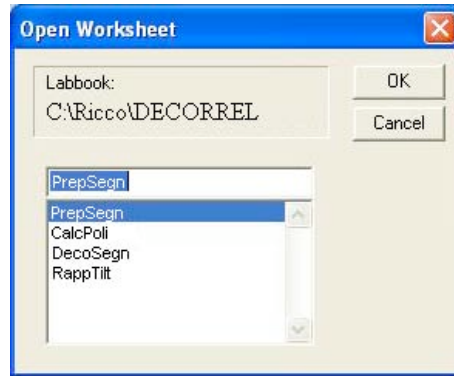


Figura 6 Finestra di dialogo relativa all'apertura delle *worksheets* all'interno del *labbook* DECORREL.

Ogni *worksheet* elabora il *file* dati in uscita da quella precedente ed a sua volta crea un altro file che costituisce l'input della *worksheet* successiva.

Utilizzando le funzioni del pacchetto *Dadisp* sono state realizzate nel 1° *labbook* le *routines* (attraverso l'immissione di linee di comando) che importano automaticamente i dati *raw* (*sheet* Aggiorna), li elaborano (1^aCorrez e 2^aCorrez) e successivamente li rappresentano sotto forma di grafici semplici (*ConfSegn*) e/o vettoriali (*RappSegn*), istogrammi e/o spettri (*AnSpettr*).

Nel 2° *labbook* invece avviene la depurazione del segnale tiltmetrico dalle periodicità essenzialmente dovute a fenomeni mareali e ad effetti stagionali attraverso la preelaborazione (*PrepSegn* e *CalcPoli*) e la decorrelazione (*DecoSegn*) ed infine viene effettuata la rappresentazione grafica (*RappTilt*).

Qui di seguito sono riportate le *worksheets* utilizzate per l'elaborazione dei segnali acquisiti dalla stazione DMA (appartenente alla rete flegrea) e per ognuna di esse sono spiegate le finalità, indicati i *file* in entrata ed in uscita, descritte le operazioni effettuate in ogni *routine* di calcolo e riportate infine le linee di comando applicate ad ogni finestra.

Tutte le costanti utilizzate nelle varie procedure di calcolo con le relative spiegazioni sono riportate nell'allegato A.

1. *Labbook* AGGIORNA

1.1. *Worksheet* Aggiornamento

Finalità del foglio di calcolo:

Accodamento del *data file* scaricato dal *server* ai dati acquisiti dall'inizio dell'anno (fig.7).

File input NOMEzero.dat

File output NOMEzero.dat

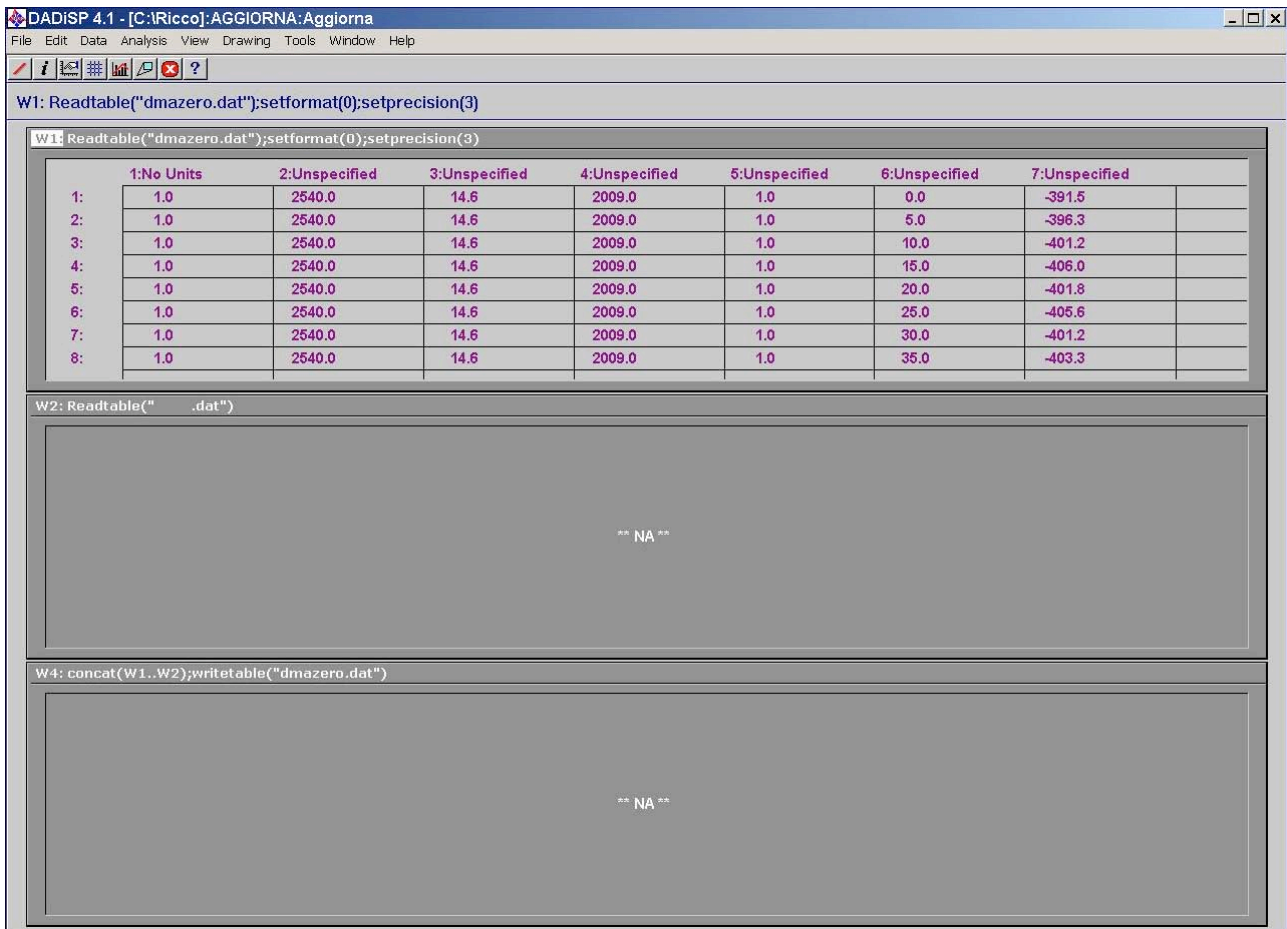


Figura 7 Worksheet relativa all'accodamento del *file* scaricato dal *server* ai dati acquisiti dall'inizio dell'anno.

1.2. Worksheet 1^a Correzione

Finalità del foglio di calcolo:

Lettura dei dati aggiornati; eliminazione delle acquisizioni effettuate con tempi sbagliati; interpolazione lineare dei dati eventualmente mancanti; cambio di formato della data (fig.8).

File input NOMEzero.dat

File output NOME.dat

a) Lettura della tabella con i dati aggiornati

W1 readtable("NOMEzero.dat");A1=288;A3=365;A4=2009;A5=28;setdeltax(1/A1);setxtic(1);setformat(0);setprecision(3)

W2 w1;scmt("ID",1);scmt("N.",2);scmt("Al.V",3);scmt("Y",4);scmt("JD",5);scmt("H/M",6);scmt("XmV",7);scmt("YmV",8);scmt("Te°C",9);scmt("Pr hPa",10);label("NOME")

b) Eliminazione delle acquisizioni fatte con tempi sbagliati

W3 w1;(col(curr,6)-int(col(curr,6)/100)*100+5)/5+int(col(curr,6)/100)*(A1/24)+(col(curr,5)-1)*A1);setdeltax(1)

W4 w3;not(curr-int(curr))*curr;(lderiv(curr)>0);((curr<1)*-1+(curr==1)*col(w1,6));water(col(w1,1),col(w1,2),col(w1,3),col(w1,4),col(w1,5),curr,col(w1,7),col(w1,8),col(w1,9),col(w1,10));delete(curr,col(curr,6)<0);label("elimina letture con tempi sbagliati")

W5 w4;(col(curr,6)-int(col(curr,6)/100)*100+5)/5+int(col(curr,6)/100)*(A1/24)+(col(curr,5)-1)*A1

c) Interpolazione lineare dei dati di tensione, di temperatura e pressione atmosferica eventualmente

mancanti in caso di interruzione nell'acquisizione

- W6 xy(w5,col(w4,3));xyinterp(curr);label("tensione batteria V")
- W7 xy(w5,col(w4,7));xyinterp(curr);label("X mV")
- W8 xy(w5,col(w4,8));xyinterp(curr);label("Y mV")
- W9 xy(w5,col(w4,9));xyinterp(curr);label("Te °C")
- W10 xy(w5,col(w4,10));xyinterp(curr);label("PR. ATM. hPa")

d) Creazione di una tabella a 4 colonne riportante anno, mese, giorno, ora e minuti (un solo numero a 4 cifre = ora*100+minuti) per l'anno in corso

- W11 successione di 288 termini in progressione aritmetica di ragione 5 (generazione di 288 intervalli di campionamento equispaziati di 5 minuti)
- W12 unravel(replicate(transpose(gline(31,1,1,1)),A1))
- W13 water(gline(31*A1,1,0,1),gline(A5*A1,1,0,2),gline(31*A1,1,0,3),gline(30*A1,1,0,4),gline(31*A1,1,0,5),gline(30*A1,1,0,6),gline(31*A1,1,0,7),gline(31*A1,1,0,8),gline(30*A1,1,0,9),gline(31*A1,1,0,10),gline(30*A1,1,0,11),gline(31*A1,1,0,12));unravel(curr)
- W14 w12;concat(curr,extract(curr,1,A5*A1),curr,extract(curr,1,30*A1),curr,extract(curr,1,30*A1),curr,extract(curr,1,30*A1),curr,extract(curr,1,30*A1),curr,extract(curr,1,30*A1),curr)
- W15 w1;water(gline(A1*A3,1,0,A4),w13,w14,replicate(w11,A3))

e) Riorganizzazione del data file e scrittura su disco secondo il formato:

anno, mese, giorno, ora e minuti, tensione batteria (V), tensione comp. X e Y (mV), temp. (°C), press. atm. (hPa)

- W16 water(extract(w15,1,length(w6)),w6..w10);scmt("Y",1);scmt("M",2);scmt("D",3);scmt("H/M",4);scmt("A1 V",5);scmt("X mV",6);scmt("Y mV",7);scmt("Te °C",8);scmt("Pr hPa",9);writetable("NOME.dat")

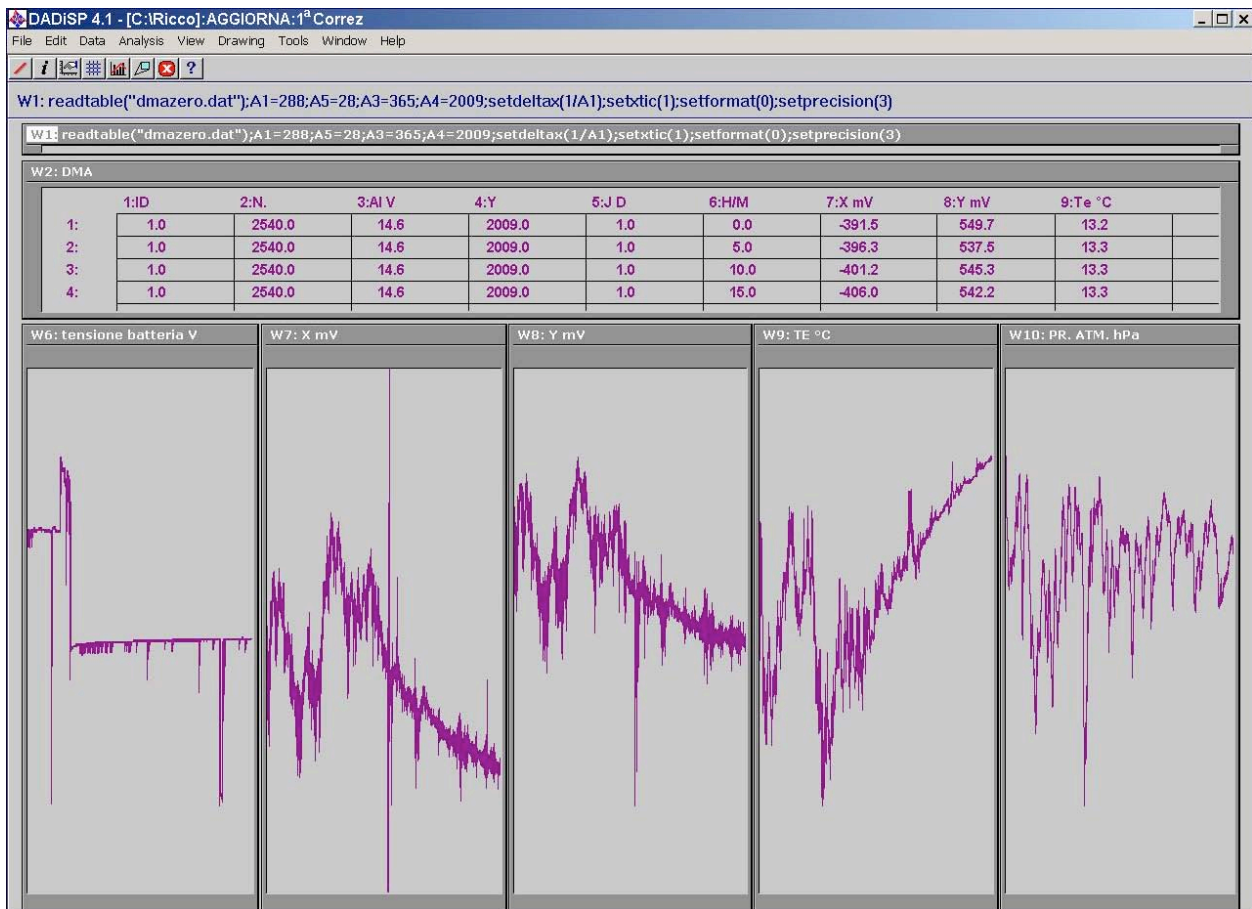


Figura 8 Worksheet relativa alla lettura dei dati aggiornati, eliminazione delle acquisizioni effettuate con tempi sbagliati, interpolazione lineare dei dati eventualmente mancanti, cambio di formato della data.

1.3. Worksheet 2^a Correzione

Finalità del foglio di calcolo:

Correzione dei segnali acquisiti dagli *spikes*, conversione dei valori da mV a μ rad e correzione per la termica strumentale (fig. 9). Quest'ultima correzione utilizza la relazione:

$$Tilt = SF_{cal} [1 + K_s (T_e - T_{cal})] \cdot V - K_z (T_e - T_{cal})$$

in cui Tilt rappresenta l'angolo di tilt compensato in μ rad, SF_{cal} il fattore di scala in μ rad/mV, K_s e K_z sono 2 costanti calcolate sperimentalmente in laboratorio per ogni sensore, T_e e V rispettivamente la temperatura in °C e la tensione in mV registrate dal sensore, T_{cal} la temperatura a cui è avvenuta la calibrazione.

File input NOME.dat

Files output NOMEcor.dat; NOME1.dat

a) Lettura dati ed impostazione delle costanti

```
W31 readtable("NOME.dat");A1=288;AA1=30;EW=(0.1001/2);NS=(0.09966/2);TCAL=16.6;TE=0.1;TEM  
P1=0.05;TILT1=300;KS=0.0005;KZ=1.5; setformat(0);setxtic(AA1);setprecision(3)
```

b) Lettura componente Y, correzione per eventuali *spikes* imponendo una soglia alle differenze prime (TILT1) e ricostruzione del segnale

```
W1 col(w31,7)  
W2 lderiv(w1)  
W3 mag(w2)  
W4 w3>TILT1;curr==0  
W5 w2*w4;concat(extract(curr,1,1)+.0001,extract(curr,2,length(w1)-2),extract(curr,length(curr),1)+.0001)  
W6 xyinterp(xy(delete(xvals(w1),w5==0),delete(w1,w5==0)),1);setdeltax(1/A1)
```

c) Correzione del segnale (comp. Y) per la termica strumentale e conversione da mV in μ rad

```
W7 NS*(1+KS*(w29-TCAL));label("NS scale factor corretto per il Ks")  
W8 w7*w6  
W9 KZ*(w29-TCAL)  
W10 extract(lderiv(linreg2(w8,w9)),2,1);w8-w9*replicate(curr/abs(curr),length(w31));curr-  
replicate(extract(curr,1,1),length(curr));setdeltax(1/A1);label("NS corretto per il Kz  $\mu$ rad")
```

d) Conversione del segnale (comp. Y) non corretto da mV in μ rad

```
W11 NS*w6;curr-replicate(extract(curr,1,1),length(curr));label("NS non corretto per il Kz  $\mu$ rad")
```

e) Riproduzione grafica dei due segnali sovrapposti

```
W12 w10;overplot(w11,white);setylabel("μradianti");setxlabel("giorni");label("componente NS (in bianco  
segnale originale)");setlinewidth(1);setxtic(xtic(w31))
```

f) Lettura componente X, correzione per eventuali *spikes* imponendo una soglia alle differenze prime (TILT1) e ricostruzione del segnale

```
W13 col(w31,6)  
W14 lderiv(w13)  
W15 mag(w14)  
W16 w15>TILT1;curr==0  
W17 w14*w16;concat(extract(curr,1,1)+.0001,extract(curr,2,length(w1)2),extract(curr,length(curr),1)+.0001  
)  
W18 xyinterp(xy(delete(xvals(w13),w17==0),delete(w13,w17==0)),1);setdeltax(1/A1)
```

g) Correzione del segnale(comp. X) per la termica strumentale e conversione da mV in μ rad

```
W19 EW*(1+KS*(w29-TCAL));label("EW scale factor corretto per il Ks")  
W20 w19*w18  
W21 extract(lderiv(linreg2(w20,w9)),2,1);w20-w9*replicate(curr/abs(curr),length(w31));curr-  
replicate(extract(curr,1,1),length(curr));setdeltax(1/A1);label("EW corretto per il Kz  $\mu$ rad")
```

h) Conversione del segnale(comp. X) non corretto da mV in μ rad

W22 EW*w18;curr-replicate(extract(curr,1,1),length(curr));label("EW non corretto per il Kz μ rad")

i) Riproduzione grafica dei due segnali sovrapposti

W23 w21;overplot(w22,white);setylabel("μradianti");setxlabel("giorni");label("componente EW (in bianco segnale originale)");setlinewidth(1);setxtic(xtic(w31))

l) Lettura componente Te, correzione per eventuali spikes imponendo una soglia alle differenze prime (TEMP1) e ricostruzione del segnale

W24 col(w31,8)

W25 lderiv(w24)

W26 mag(w25)

W27 w26>TEMP1;curr==0

W28 w25*w27;concat(extract(curr,1,1)+.0001,extract(curr,2,length(w1)-2),extract(curr,length(curr),1)+.0001)

W29 xyinterp(xy(delete(xvals(w24),w28==0),delete(w24,w28==0)),1);setdeltax(1/A1)

W30 w29;setdeltax(1/A1);setylabel("gradi centigradi");setxlabel("giorni");label("temperatura");setlinewidth(1);setxtic(xtic(w31))

m) Estrazione della data dell'ultima acquisizione, calcolo dei giorni di acquisizione, della lunghezza del data file e loro rappresentazione numerica

W32 extract(w31,length(w31),1);water(col(curr,1),col(curr,2),col(curr,3),col(curr,4))

W33 water(gser(AA1),gser(length(w31)/A1),gser(length(w31)))

W34 water(w32,w33);scmt("ANNO",1);scmt("MESE",2);scmt("GIORNO",3);scmt("ORA/MIN",4);scmt("SCALAgg",5);scmt("N.GIORNI",6);scmt("N.DATI",7);label("NOME")

n) Riorganizzazione e scrittura su disco del data file secondo il formato:

anno, mese, giorno, ora e minuti, tensione batteria (V), tensione comp. X e Y (mV), temp. (°C), press. atm. (hPa), comp. NS ed EW (μ rad) corrette dagli spikes e dalla termica strumentale, comp. Te (°C) corretta dagli spikes

W35 water(w31,w12,w23,w29);writetable("NOMEcor.dat")

o) Riorganizzazione e scrittura su disco del data file secondo il formato:

anno, mese, giorno, ora e minuti, tensione batteria (V), comp. NS, EW (μ rad) e Te (°C) corrette dagli spikes, press. atm. (hPa)

W36 w31;water(col(curr,1),col(curr,2),col(curr,3),col(curr,4),col(curr,5),w11,w22,w29,col(w31,9));writetable("NOME1.dat")

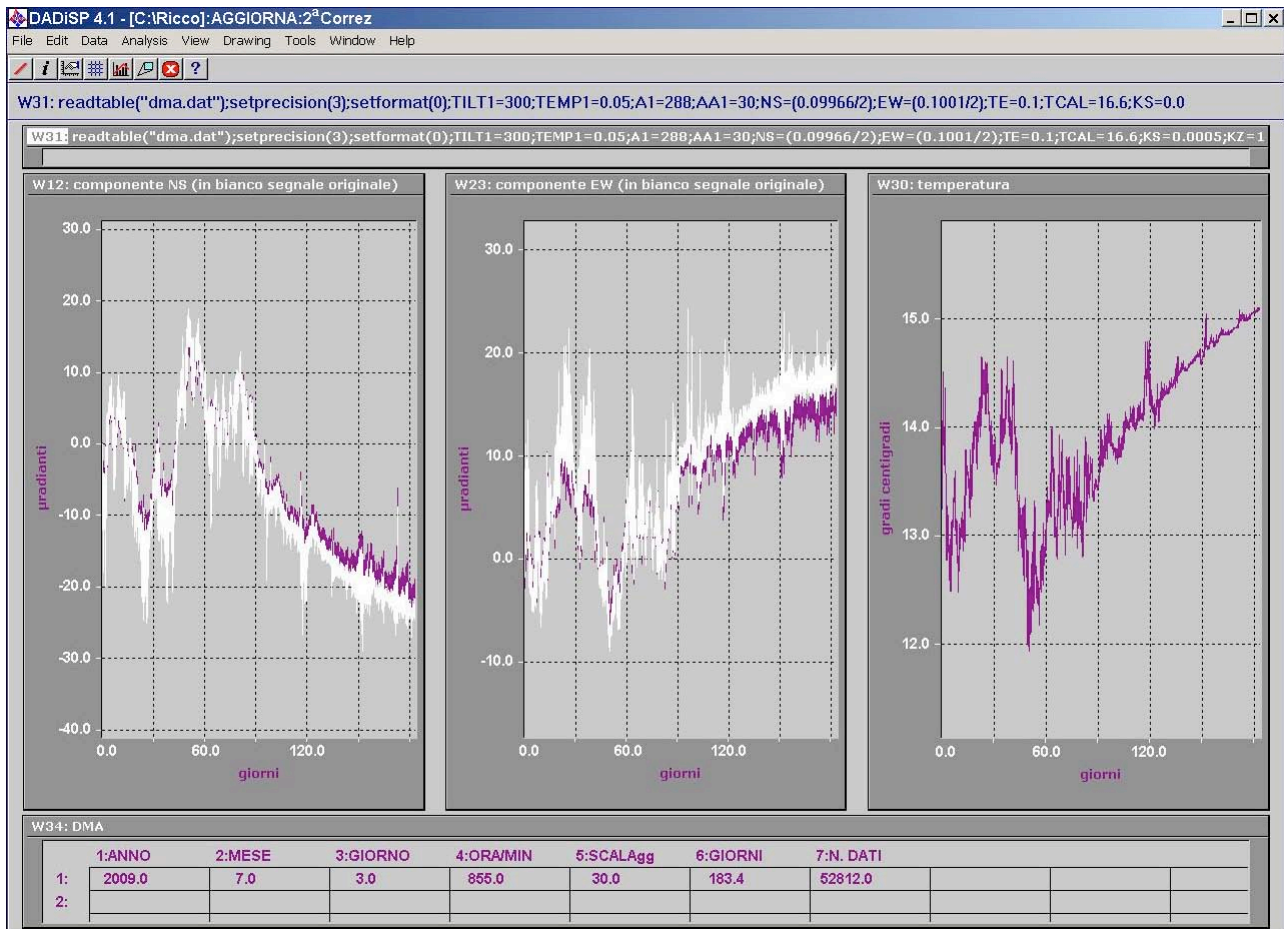


Figura 9 Worksheet utilizzata per la correzione dei segnali acquisiti dagli spikes, la conversione dei valori da mV a μrad e la correzione per la termica strumentale.

1.4. Worksheet RappresentazioneSegnali

Finalità del foglio di calcolo:

Rappresentazione bidimensionale dell'inclinazione (vettore tilt) registrata dal sensore tiltmetrico nel tempo; grafico delle singole componenti NS, EW, Te, pressione atmosferica, dell'azimuth orario da N del vettore tilt ed istogramma delle frequenze relative degli azimuth (fig. 10).

Ogni segmento congiungente due punti successivi del plot (riportato in W10 di fig. 10) rappresenta il vettore

tilt con modulo = $\sqrt{NS^2 + EW^2}$ e direzione = $\tan^{-1}\left(\frac{NS}{EW}\right)$. Il sensore biassiale è orientato in modo tale da

fornire sulle 2 componenti valori positivi in corrispondenza di una inclinazione a NE e valori negativi per una inclinazione a SW.

File input NOME1.dat

a) Lettura dati ed impostazione delle costanti; estrazione della parte di segnale da rappresentare

W11 readtable("NOME1.dat");A1=288;AA1=30;B1=1;D1=length(curr);E1=1;F1=A1*1;G1=F1*1;ORIZ1=0;T1=5;VERT1=0;setdegree;setformat(0);setprecision(1);setxtic(AA1);scmt("NS μd ",6);scmt("EW μd ",7);scmt("Te °C",8);scmt("Pr hPa",9)

W12 extract(w11,B1,D1);delete(curr,rowtotal(curr)==0);setxoffset(0);setdeltax(1/A1)

b) Lettura componente NS, rappresentazione grafica e calcolo della media del segnale su F1 acquisizioni

W1 col(w12,6);setdeltax(1/A1);setylabel(" μrad ");setxlabel("giorni");label(strcat("comp. NS",strnum(length(w12)), "acquisiz. ogni 5'"));setlinewidth(3);sety(min(curr)-E1,max(curr)+E1);setxtic(xtic(w11))

W2 extract(unravel(replicate(colmean(ravel(w1,F1)),F1)),1,length(w12));curr-

```
replicate(extract(curr,1,1),length(curr));setdeltax(deltax(w1))
```

c) Lettura componente EW, rappresentazione grafica e calcolo della media del segnale

```
W3 col(w12,7);setdeltax(1/A1);setylabel("μrad");setxlabel("giorni");label(strcat("comp. EW  
(",strnum(length(w12)),"acquisiz. ogni 5'"));setlinewidth(3);sety(min(curr)-  
E1,max(curr)+E1);setxtic(xtic(w11))
```

```
W4 extract(unravel(replicate(colmean(ravel(w3,F1)),F1)),1,length(w12));curr-  
replicate(extract(curr,1,1),length(curr));setdeltax(deltax(w1))
```

d) Lettura componente Te, rappresentazione grafica e calcolo della media del segnale

```
W5 col(w12,8);setdeltax(deltax(w1));setylabel("°c");setxlabel("giorni");label(strcat("temp.(",strnum(length  
(w12))," acquisiz. ogni 5'"));setlinewidth(3);sety(min(curr)-.1,max(curr)+.1);setxtic(xtic(w11))
```

```
W6 extract(unravel(replicate(colmean(ravel(w5,F1)),F1)),1,length(w12));setdeltax(deltax(w1))
```

e) Lettura della pressione atmosferica e rappresentazione grafica

```
W7 col(w12,9);setxoffset(0);setdeltax(1/A1);setylabel("hPa");setxlabel("giorni");label(strcat("press. atm.  
NOME (" ,strnum(length(w12)),"acq. ogni 5'"));setlinewidth(3);sety(min(curr)-  
.1,max(curr)+.1);setxtic(xtic(w11))
```

f) Calcolo delle coordinate della finestra in cui viene proiettato il vettore tilt mediato su F1 acquisizioni e sua rappresentazione bidimensionale

```
W52 extract(movavg(water(col(w12,6),col(w12,7)),A1),int(A1/2)+1,length(w12));curr-  
extract(curr,1,1);setxoffset(1);setdeltax(1)
```

```
W8 w52;xy(col(curr,2),col(curr,1));setsymbol(0,1,1,1)
```

```
W13 w8;ravel(unravel(curr),length(curr));concat(colmin(curr),colmax(curr));replicate(extract(curr,1,1),2)+ra  
vel(replicate(concat(gser(0),colmax(unravel(deriv(curr))))),2,2);transpose(concat(col(curr,2),col(curr,1)  
));(curr/abs(curr))*abs(int(curr*10+.5))/10
```

```
W17 w13;water(col(curr,1)E1+ORIZ1,col(curr,2)+E1+ORIZ1,col(curr,3)E1+VERT1,col(curr,4)+E1+VERT  
1);ravel(unravel(curr),2);xy(col(curr,1),col(curr,2));sety(min(curr),max(curr))
```

```
W9 w8;setx(getxl(w17),getxr(w17));sety(getyb(w17),getyt(w17));setxtic(T1);setytic(T1)
```

```
W50 w52;concat(extract(curr,1,1),extract(curr,length(curr),1));xy(col(curr,2),col(curr,1));setsymbol(2,1,1,1)
```

```
W53 w52;extract(decimate(extract(curr,0,length(curr)),G1),2,length(curr));xy(col(curr,2),col(curr,1));setsy  
mbol(1,0,1,2);points
```

```
W10 w9;label(strcat("Stazione NOME: plot del TILT (quadrantini bianchi ogni  
",strnum(G1/A1),"giorni"));setxlabel("variazioni positive =inclinazione verso  
E");overplot(w50,yellow);overplot(w53,white);setwlike(w9,3);textann(-.1,-.1,0,1,"")
```

g) Calcolo dell'azimuth orario da N del vettore tilt, istogramma delle frequenze relative degli azimuth e loro rappresentazione grafica

```
W18 w2;extract(unravel(replicate(transpose(deriv(decimate(curr,F1))),F1)),1,length(w12))
```

```
W19 w4;extract(unravel(replicate(transpose(deriv(decimate(curr,F1))),F1)),1,length(w12))
```

```
W20 water((w2/abs(w2)),(w4/abs(w4)));label("SEGNI")
```

```
W22 atan(w2/w4);label("ATAN(NS/EW)")
```

```
W24 gline(length(w2),1,0,1);water(curr,curr-1)
```

```
W25 (rowtotal(water(col(w24,1),col(w24,1))==w20)==2)*(90-w22);label("1° QUADRANTE")
```

```
W26 (rowtotal(water(-col(w24,1),col(w24,1))==w20)==2)*(90+abs(w22));label("2° QUADRANTE")
```

```
W27 (rowtotal(water(-col(w24,1),-col(w24,1))==w20)==2)*(270-w22);label("3° QUADRANTE")
```

```
W28 (rowtotal(water(col(w24,1),-col(w24,1))==w20)==2)*(270+abs(w22));label("4° QUADRANTE")
```

```
W29 (rowtotal(water(col(w24,1),col(w24,2))==w20)==2)*0;label("DIREZ. N")
```

```
W30 (rowtotal(water(col(w24,2),col(w24,1))==w20)==2)*90;label("DIREZ. E")
```

```
W31 (rowtotal(water(-col(w24,1),col(w24,2))==w20)==2)*180;label("DIREZ. S")
```

```
W32 (rowtotal(water(col(w24,2),-col(w24,1))==w20)==2)*270;label("DIREZ. W")
```

```
W41 sums(w25..w32);extract(curr,F1+1,length(curr)-F1)
```

```
W42 w41;setxoffset(0);setylabel("gradi");setxlabel("giorni");label(strcat("AZIMUTH del tilt da N ogni  
",strnum(F1/A1)," giorni"));setdeltax(deltax(w1));sety(0,360);setxtic(xtic(W11));textann(0,0,0,5,-  
1,1,"range t(n)-t(0)")
```

W45 ampdist(int(sort(concat(gser(0),w42),1)+.5),10);100*curr/coltotal(curr);setylabel("%conteggi");setxlabel("gradi");sety(min(curr),max(curr));setx(0,360);label("Istogr.delle freq. rel. degli AZIMUTH");setxtic(90)

h) Calcolo della variazione dell' azimuth orario da N del vettore tilt, istogramma delle frequenze relative delle variazioni di azimuth e loro rappresentazione grafica

W21 water((w18/abs(w18)),(w19/abs(w19)));label("SEGNI diff.")
W23 atan(w18/w19);label("ATAN(NS/EW) diff.")
W33 (rowtotal(water(col(w24,1),col(w24,1))==w21)==2)*(90-w23);label("1° QUADRANTE diff.")
W34 (rowtotal(water(-col(w24,1),col(w24,1))==w21)==2)*(90+abs(w23));label("2° QUADRANTE diff.")
W35 (rowtotal(water(-col(w24,1),-col(w24,1))==w21)==2)*(270-w23);label("3° QUADRANTE diff.")
W36 (rowtotal(water(col(w24,1),-col(w24,1))==w21)==2)*(270+abs(w23));label("4° QUADRANTE diff.")
W37 (rowtotal(water(col(w24,1),col(w24,2))==w21)==2)*0;label("DIREZ. N diff.")
W38 (rowtotal(water(col(w24,2),col(w24,1))==w21)==2)*90;label("DIREZ. E diff.")
W39 (rowtotal(water(-col(w24,1),col(w24,2))==w21)==2)*180;label("DIREZ. S diff.")
W40 rowtotal(water(col(w24,2),-col(w24,1))==w21)==2)*270;label("DIREZ. W diff.")
W43 sums(w33..w40);extract(curr,F1+1,length(curr)-F1)
W44 w43;setxoffset(0);setylabel("gradi");setxlabel("giorni");label(strcat("AZIMUTH del tilt da N ogni",strnum(F1/A1),"giorni"));setdeltax(deltax(w1));sety(0,360);setxtic(xtic(W11));textann(0,0,0,5,-1,1,"range t(n)-t(n-1)")
W46 ampdist(int(sort(concat(gser(0),w44),1)+.5),10);100*curr/coltotal(curr);setylabel("%conteggi");setxlabel("gradi");sety(min(curr),max(curr));setx(0,360);label("Istogr.delle freq. rel. degli AZIMUTH");setxtic(90)

i) Estrazione della data dell'ultima acquisizione e dell'intervallo in giorni; calcolo dei giorni di acquisizione, della lunghezza del data file, del modulo del tilt totale registrato dal sensore e dell'azimuth

W14 concat(extract(w12,1,1),extract(w12,length(w12),1));water(col(curr,1),col(curr,2),col(curr,3),col(curr,4))
W15 water(gser(AA1),gser(length(w12)/A1),gser(length(w12)))
W48 W8;concat(extract(col(curr,1),length(curr),1),extract(col(curr,2),length(curr),1));sqrt(coltotal(curr^2))
W49 W42;extract(curr,length(curr),1)
W16 water(w14,w15,w48,w49);scmt("ANNO",1);scmt("MESE",2);scmt("GIORNO",3);scmt("ORA/MIN",4);scmt("SCALAgg",5);scmt("N. GIORNI",6);scmt("N. DATI",7);scmt("TILT",8);scmt("AZIMUTH",9);label("NOME")

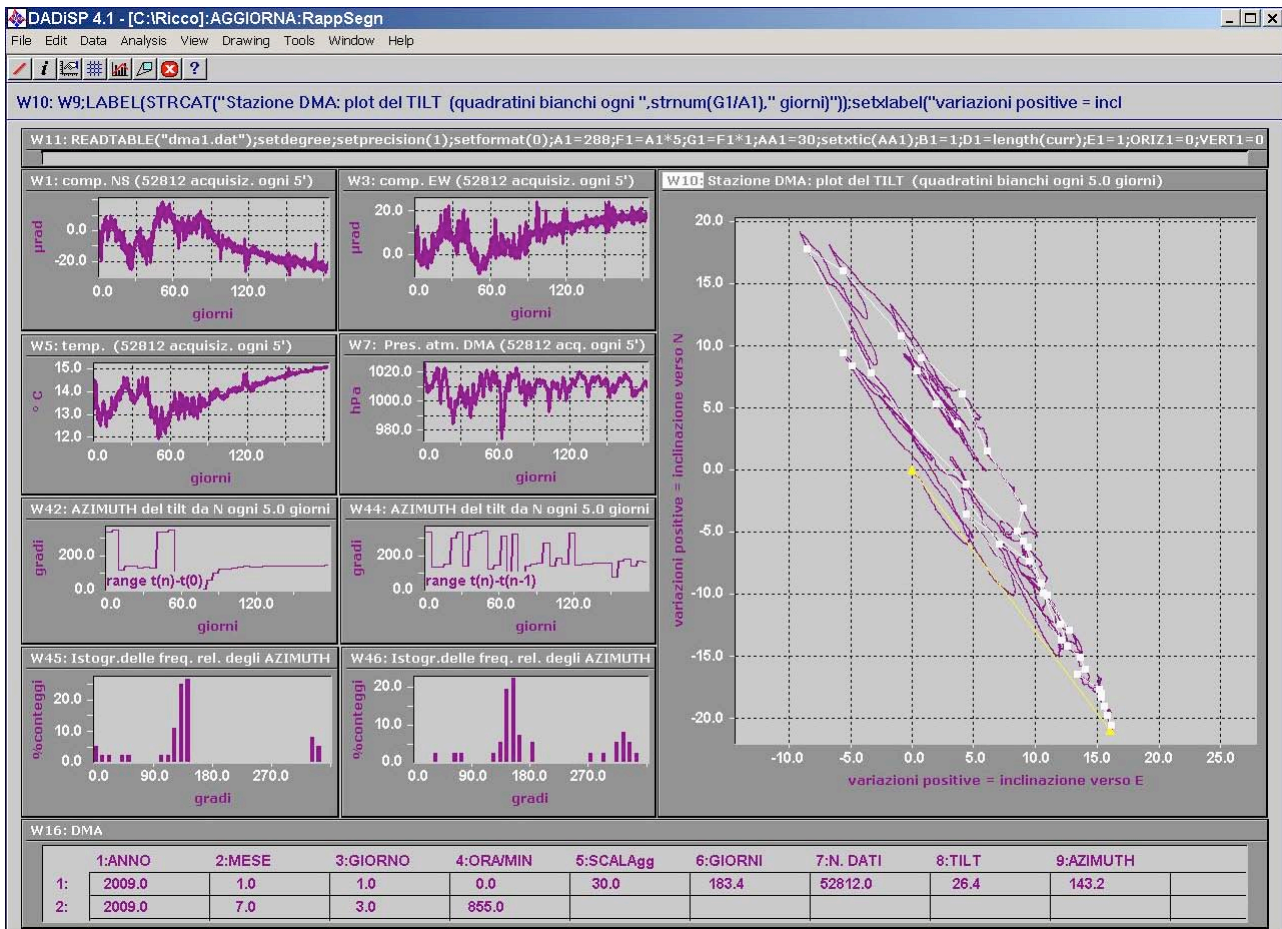


Figura 10 Worksheet dedicata alla rappresentazione bidimensionale dell'inclinazione (vettore tilt) registrata dal sensore tiltmetrico nel tempo, al grafico delle singole componenti NS, EW, Te, pressione atmosferica, dell'azimuth orario da N del vettore tilt e dell'istogramma delle frequenze relative degli azimuth.

1.5. Worksheet AnalisiSpettrale

Finalità del foglio di calcolo:

Calcolo della densità di potenza spettrale (Psd) sui segnali tiltmetrici, termico e barico per evidenziare quelle componenti periodiche in corrispondenza delle quali si riscontra un aumento di energia (visibile nei grafici semilogaritmici prodotti) (fig.11).

Tali periodicità si manifestano principalmente attraverso le seguenti componenti (solari e mareali):

- solare diurna S1 e semidiurna S2, dovute al riscaldamento giornaliero dell'atmosfera che induce oscillazioni nella pressione atmosferica;
- mareale lunisolare K1 (23.93 h) e principale-lunare M2 (12.42 h);
- mareale lunare mensile Mm (27.55 g) e lunare quindicinale Mf (13.66 g).

Il calcolo del rapporto spettrale tra le componenti solari e mareali giornaliere presenti nei segnali tiltmetrici può tornare utile nel caso si voglia stimare il contributo della marea (oceanica e/o crostale) o l'influenza dell'onda termica in stazioni diverse.

Inoltre, l'eventuale preponderanza di questi effetti nella banda a lungo periodo (da quindicinale a mensile) viene invece quantificata calcolando ai minimi quadrati l'aumento medio di energia presente nell'intervallo tra 10 e 32 giorni (su registrazioni maggiori di 2 mesi) attraverso una legge di potenza del tipo

$$P_f = P_0 \left(\frac{f}{f_0} \right)^\gamma$$

in cui i termini P_f e P_0 rappresentano le densità spettrali relative agli estremi dell'intervallo ed

in cui il rapporto $\left(\frac{f}{f_0} \right)$ normalizza le frequenze a quella più alta f_0 . Il termine γ (indice spettrale)

rappresenta il coefficiente angolare della retta di regressione $\text{Log}_{10}P_f = \text{Log}_{10}P_0 + \gamma \text{Log}_{10}\left(\frac{f}{f_0}\right)$; quando

$\frac{f}{f_0} = 2$ si ha $2^\gamma = \frac{P_f}{P_0}$ e quindi il decremento della densità spettrale per ottava.

File input NOME1.dat

a) Lettura dati ed impostazione delle costanti.

L'algorithmo FFT utilizzato in *DADISP* calcola ricorsivamente la *DFT* partendo da una lunghezza del segnale non necessariamente pari ad una potenza di 2 e dividendola in *DFT* più piccole di lunghezza (radice) uguale ai fattori primi e non primi della dimensione del segnale originario (calcolo a radice mista). Poiché tale algoritmo rallenta in proporzione alla lunghezza dei campioni, in particolar modo se questa è rappresentata da un numero primo, viene in tal caso effettuata la reiezione di una piccolissima parte del segnale in modo che la *FFT* operi su campioni di piccole dimensioni.

```

W1  readtable("NOME1.dat");A1=288;LIM1=6;LIM2=16;LIM3=350;ORD=1;setdegree;setdeltax(1/A1);set
    format(0);setprecision(1);scmt("NS µd",6);scmt("EW µd",7);scmt("Te°C",8);scmt("Pr. atm hPa",9)
W62  water(factors(length(w1)-5),factors(length(w1)-4),factors(length(w1)-3),factors(length(w1)-
    2),factors(length(w1)-
    1),factors(length(w1)),factors(length(w1)+1),factors(length(w1)+2),factors(length(w1)+3),factors(lengt
    h(w1)+4),factors(length(w1)+5))
W63  w62;unravel(row(reverse(curr),1));transpose(transpose(colmin(curr)==curr)*w62);extract(unravel(dele
    te(curr,rowtotal(curr)==0)),1,9);(curr==0)+curr;row(curr,1)*row(curr,2)*row(curr,3)*row(curr,4)*row(
    curr,5)*row(curr,6)*row(curr,7)*row(curr,8)*row(curr,9)
W64  ampdist(concat(gser(1),w63),1)>=0
W3   w1;extract(concat(curr,replicate(extract(curr,length(curr),1),200)),1,length(w64));setdeltax(1/A1)

```

b) Rimozione dalla componente NS del *trend* attraverso regressione polinomiale di ordine ORD (generalmente 1) e calcolo della Psd, espressa in dB con dimensione ($\frac{\mu\text{rad}^2}{\text{cpd}}$).

```

W4   col(w3,6)
W5   w4;polygraph(polyfit(curr,ORD),xvals(curr));overplot(w4)
W6   w4-w5;curr-extract(curr,1,1)
W16  psd(w6)

```

c) Rimozione dalla componente EW del *trend* (idem punto b).

```

W7   col(w3,7)
W8   w7;polygraph(polyfit(curr,ORD),xvals(curr));overplot(w7)
W9   w7-w8;curr-extract(curr,1,1)
W17  psd(w9)

```

d) Rimozione dalla componente Te del *trend* (idem punto b).

```

W10  col(w3,8)
W11  w10;polygraph(polyfit(curr,ORD),xvals(curr));overplot(w10)
W12  w10-w11;curr-extract(curr,1,1)
W18  psd(w12)

```

e) Rimozione dalla press. atm. del *trend* (idem punto b).

```

W13  col(w3,9)
W14  w13;polygraph(polyfit(curr,ORD),xvals(curr));overplot(w13)
W15  w13-w14;curr-extract(curr,1,1)
W19  psd(w15)

```

f) Caratteristiche della componente NS nel dominio delle frequenze.

Trasformazione in decibel ($dB = 10 \cdot \log_{10} \frac{A}{A_r}$ con ampiezza di rif. A_r unitaria). Estrazione della Psd nella

banda a lungo periodo, da quindicinale a mensile (LIM2 e LIM1) e normalizzazione alla frequenza più alta f_0 (≈ 10 giorni su registrazioni maggiori di 2 mesi). Calcolo dei coefficienti di regressione ai minimi quadrati P_0 e γ per stimare l'aumento medio di energia nell'intervallo $\approx (10 \div 32)$ giorni. Estrazione della PSD sulla banda giornaliera e semigiornaliera (LIM2 e LIM3).

Nella *worksheet* sono inoltre visualizzati sia il range di frequenze nella banda a lungo periodo sia l'incremento della Psd in dB/ottava.

- W21** w16;extract(curr,LIM1,LIM2-LIM1+1);label("estr. della psd nel range d'interesse e trasformaz. in dB");10*log10(curr);xy(xvals(curr),curr);setxlog(1);setlinewidth(3)
- W22** w21/10;xy(log10(xvals(curr)/extract(xvals(curr),length(curr),1)),(curr));label("normalizzazione alla frequenza più alta")
- W23** polyfit(w22,1);label("calcolo parametri di regressione P0 y")
- W24** xy(xvals(w22),xvals(w22)*row(w23,2)+row(w23,1));overplot(w22);label("Log10(Pf)=Log10(P0)+yLog10(f/f0)")
- W25** xy(xvals(w22),10^row(w23,1)*(10^(xvals(w22)))^row(w23,2));xy(xvals(w21),curr);overlay(w24,green,3);label("Pf=P0*(f/f0)^y")
- W26** w25;10*log10(curr);xy(xvals(w21),curr);setlinewidth(3)
- W2** xvals(w26);ampdist(concat(transpose(gser(1,1)),int(transpose(concat(extract(curr,1,1),extract(curr,length(curr),1)))*1000+.5)),1)>=0;label(strcat("PSD (nero) nel range ",strnum(length(col(curr,1))/1000), "",strnum(length(col(curr,2))/1000),"cpd"))
- W27** w16;10*log10(curr);extract(curr,LIM1,LIM3-LIM1+1);setxlog(1);xy(xvals(curr),curr);overplot(w21,yellow);overplot((w26,black));label("NOME comp. NS PSD in dB sull'intero segnale");setylabel("μrad^2/cpd");setxlabel("cicli/giorno (cpd)");setx(.025,2.5)
- W28** gser(2^abs(row(w23,2)));water(curr,10*log10(curr));label(strcat("PSD: dim. di",strnum(max(col(curr,2))),"dB/ottava(",strnum(max(col(curr,1))),"volte"))
- W29** w16;10*log10(curr);extract(curr,LIM2,LIM3-LIM2+1);setxlog(1);xy(xvals(curr),curr);label("PSD in dB sulla banda giornaliera e semigiornal.");setylabel("μrad^2/cpd");setxlabel("cicli/giorno (cpd)");setlinewidth(3)

g) Caratteristiche della componente EW nel dominio delle frequenze (idem punto f).

- W31** w17;extract(curr,LIM1,LIM2-LIM1+1);label("estr. della psd nel range d'interesse e trasformaz. in dB");10*log10(curr);xy(xvals(curr),curr);setxlog(1);setlinewidth(3)
- W32** w31/10;xy(log10(xvals(curr)/extract(xvals(curr),length(curr),1)),(curr));label("normalizzazione alla frequenza più alta")
- W33** polyfit(w32,1);label("calcolo parametri di regressione P0 y")
- W34** xy(xvals(w32),xvals(w32)*row(w33,2)+row(w33,1));overplot(w32);label("Log10(Pf)=Log10(P0)+yLog10(f/f0)")
- W35** xy(xvals(w32),10^row(w33,1)*(10^(xvals(w32)))^row(w33,2));overlay(w34,green,3);label("Pf=P0*(f/f0)^y")
- W36** w35;10*log10(curr);xy(xvals(W31),curr);setlinewidth(3)
- W37** w17;10*log10(curr);extract(curr,LIM1,LIM3-LIM1+1);setxlog(1);xy(xvals(curr),curr);overplot(w31,yellow);overplot(w36,black);label("NOME comp. EW PSD in dB sull'intero segnale");setylabel("μrad^2/cpd");setxlabel("cicli/giorno (cpd)");setwlike(w27,1)
- W38** gser(2^abs(row(w33,2)));water(curr,10*log10(curr));label(strcat("PSD: dim. di",strnum(max(col(curr,2))),"dB/ottava(",strnum(max(col(curr,1))),"volte"))
- W39** w17;10*log10(curr);extract(curr,LIM2,LIM3-LIM2+1);setxlog(1);xy(xvals(curr),curr);label("PSD in dB sulla banda giornaliera e semigiornal.");setylabel("μrad^2/cpd");setxlabel("cicli/giorno (cpd)");setlinewidth(3);setwlike(w29,1)

h) Caratteristiche della componente Te nel dominio delle frequenze (idem punto f).

- W41** w18;extract(curr,LIM1,LIM2-LIM1+1);label("estr. della psd nel range d'interesse e trasformaz. in

dB"); $10 \cdot \log_{10}(\text{curr})$;xy(xvals(curr),curr);setxlog(1);setlinewidth(3)
W42 w41/10;xy(log10(xvals(curr))/extract(xvals(curr),length(curr),1)),(curr));label("normalizzazione alla
frequenza più alta")
W43 polyfit(w42,1);label("calcolo parametri di regressione P0 y")
W44 xy(xvals(w42),xvals(w42)*row(w43,2)+row(w43,1));overplot(w42);label("Log10(Pf)=Log10(P0)+yL
og10(f/f0)")
W45 xy(xvals(w42), $10^{\text{row}(w43,1)} \cdot (10^{(xvals(w42))})^{\text{row}(w43,2)}$);xy(xvals(w41,curr));overlay(w44,green,
3);label("Pf=P*(f/f0)^y")
W46 w45; $10 \cdot \log_{10}(\text{curr})$;xy(xvals(W41),curr);setlinewidth(3)
W47 w18; $10 \cdot \log_{10}(\text{curr})$;extract(curr,LIM1,LIM3-
LIM1+1);setxlog(1);xy(xvals(curr),curr);overplot(w41,yellow);overplot(w46,black);label("NOME
comp. Te PSD in dB sull'intero segnale");setylabel("°C^2/cpd");setxlabel("cicli/giorno
(cpd)");setwlike(w27,1)
W48 gser(2^abs(row(w43,2)));water(curr, $10 \cdot \log_{10}(\text{curr})$);label(strcat("PSD: dim. di
",strnum(max(col(curr,2))),"dB/ottava (" ,strnum(max(col(curr,1)))," volte"))
W49 w18; $10 \cdot \log_{10}(\text{curr})$;extract(curr,LIM2,LIM3-LIM2+1);setxlog(1);xy(xvals(curr),curr);label("PSD in
dB sulla banda giornaliera e semigiornal.");setylabel("°C^2/cpd");setxlabel("cicli/giorno
(cpd)");setlinewidth(3);setwlike(w29,1)

i) Caratteristiche della press. atm. nel dominio delle frequenze (idem punto f).

W51 w19;extract(curr,LIM1,LIM2-LIM1+1);label("estr. della psd nel range d'interesse e trasformaz.
indB"); $10 \cdot \log_{10}(\text{curr})$;xy(xvals(curr),curr);setxlog(1);setlinewidth(3)
W52 w51/10;xy(log10(xvals(curr))/extract(xvals(curr),length(curr),1)),(curr));label("normalizzazione alla
frequenza più alta")
W53 polyfit(w52,1);label("calcolo parametri di regressione P0 y")
W54 xy(xvals(w52),xvals(w52)*row(w53,2)+row(w53,1));overplot(w52);label("Log10(Pf)=Log10(P0)+yL
og10(f/f0)")
W55 xy(xvals(w52), $10^{\text{row}(w53,1)} \cdot (10^{(xvals(w52))})^{\text{row}(w53,2)}$);xy(xvals(w51,curr));overlay(w54,green,
3);label("Pf=P*(f/f0)^y")
W56 w55; $10 \cdot \log_{10}(\text{curr})$;xy(xvals(W51),curr);setlinewidth(3)
W57 w19; $10 \cdot \log_{10}(\text{curr})$;extract(curr,LIM1,LIM3-
LIM1+1);setxlog(1);xy(xvals(curr),curr);overplot(w51,yellow);overplot(w56,black);label("NOME
Press. Atm. PSD in dB sull'intero segnale");setylabel("hPa^2/cpd");setxlabel("cicli/giorno
(cpd)");setwlike(w27,1)
W58 gser(2^abs(row(w53,2)));water(curr, $10 \cdot \log_{10}(\text{curr})$);label(strcat("PSD: dim. di
",strnum(max(col(curr,2))),"dB/ottava (" ,strnum(max(col(curr,1)))," volte"))
W59 w19; $10 \cdot \log_{10}(\text{curr})$;extract(curr,LIM2,LIM3-LIM2+1);setxlog(1);xy(xvals(curr),curr);label("PSD in
dB sulla banda giornaliera e semigiornaliera");setylabel("hPa^2/cpd");setxlabel("cicli/giorno
(cpd)");setlinewidth(3);setwlike(w29,1)

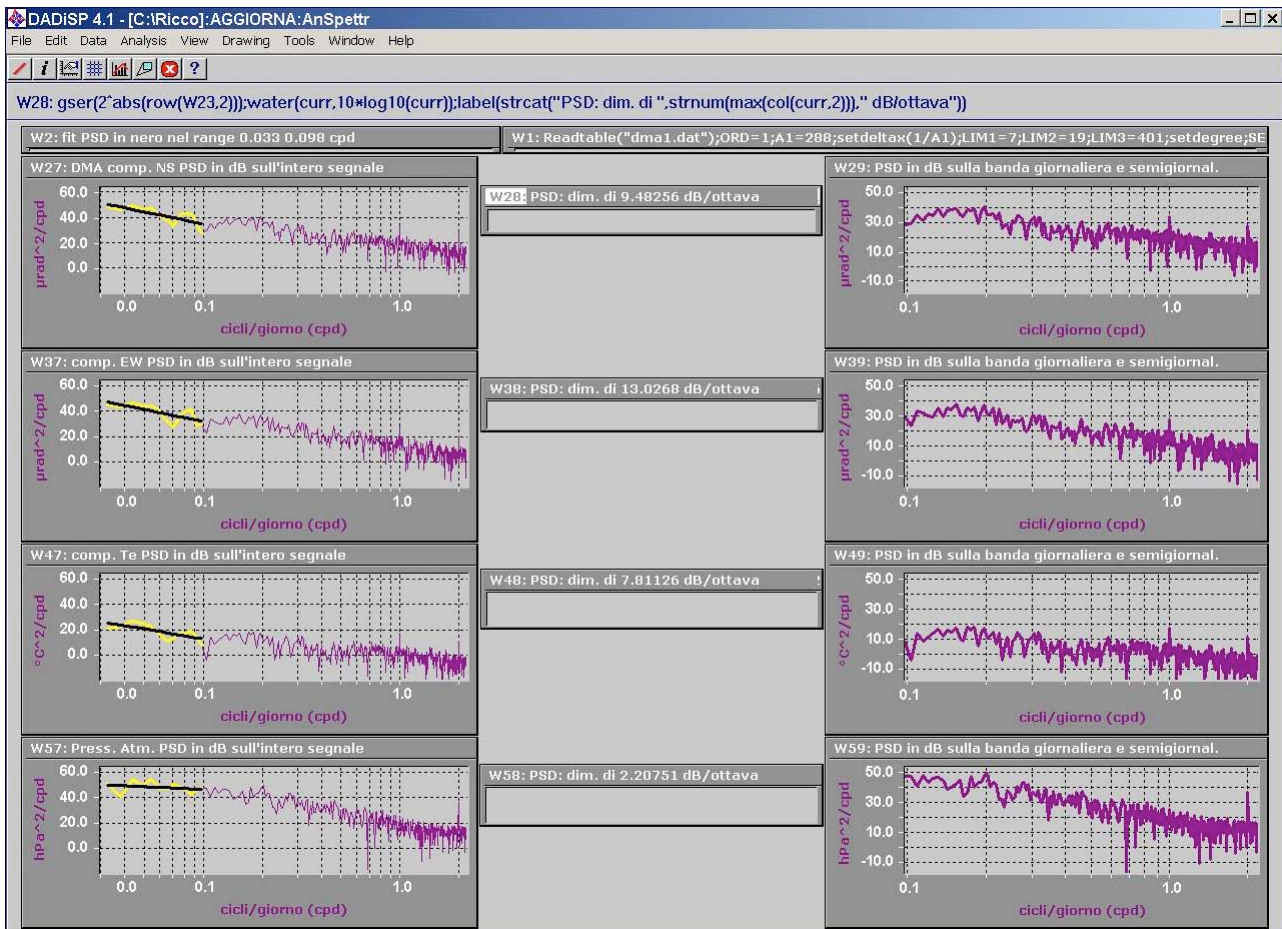


Figura 11 Worksheet utilizzata per il calcolo della densità di potenza spettrale (Psd) sui segnali tiltmetrici, termico e barico allo scopo di evidenziare quelle componenti periodiche in corrispondenza delle quali si riscontra un aumento di energia (visibile nel grafico semilogaritmico prodotto).

1.6. Worksheet ConfrontoSegnali

Finalità del foglio di calcolo:

Riproduzione grafica dei segnali tiltmetrici registrati e della pressione atmosferica con sovrapposizione della temperatura nella stessa scala, per la stima grossolana del grado di correlazione tra quest'ultima e l'inclinazione o pressione (fig. 12).

File input NOME1.dat

a) Lettura dati, impostazione delle costanti e riproduzione dei segnali.

- W1** readtable("NOME.dat");A1=288;AA1=30;ORD=1;setdegree;setdeltax(1/A1);setformat(0);setprecision(3);scmt("NS μ d",6);scmt("EW μ d",7);scmt("Te°C",8);scmt("Pr. atm hPa",9)
- W2** col(w1,6);setylabel(" μ rad");setxlabel("giorni");label(strcat("comp. NS ",strnum(length(w1))," acquisiz. ogni 5'"));setxtic(AA1)
- W3** col(w1,7);setxoffset(0);setylabel(" μ rad");setxlabel("giorni");label(strcat("comp. EW",strnum(length(w1))," acquisiz. ogni 5'"));setxtic(AA1)
- W4** col(w1,8);setylabel("°C");setxlabel("giorni");label(strcat("temperatura ",strnum(length(w1))," acquisiz. ogni 5'"));setxtic(AA1);
- W5** col(w1,9);setylabel("hPa");setxlabel("giorni");label(strcat("press. atm. ",strnum(length(w1))," acquisiz. ogni 5'"));setxtic(AA1)

b) Rimozione dai segnali del trend attraverso regressione polinomiale di ordine ORD (generalmente 1) e calcolo dei coefficienti da moltiplicare ad essi, ad esclusione della temperatura, per riportarli alla stessa scala di quest'ultima.

W9 water(w2..w5);curr-polygraph(polyfit(curr,ORD),xvals(curr))
W10 colmax(col(w9,3))-colmin(col(w9,3));water(((max(col(w9,1))-min(col(w9,1)))/curr),((max(col(w9,2))-min(col(w9,2)))/curr),((max(col(w9,4))-min(col(w9,4)))/curr))

c) Sovrapposizione dei segnali nella stessa scala e rappresentazione numerica dei fattori di scala e del segno (SIGN) della correlazione.

W6 w2;setylabel("μrad|°C");setxlabel("giorni");SIGN=-1;curr/col(w10,1);curr-extract(curr,1,1)+extract(w4*SIGN,1,1);setdeltax(1/A1);overplot(w4*SIGN,white);label(strcat("in viola comp.NS/",strnum(max(col(w10,1)))," | in bianco Te*",strnum(SIGN)," "))
W7 w3;setylabel("μrad|°C");setxlabel("giorni");SIGN=1;curr/col(w10,2);curr-extract(curr,1,1)+extract(w4*SIGN,1,1);setdeltax(1/A1);overplot(w4*SIGN,white);label(strcat("in viola comp.EW/",strnum(max(col(w10,2)))," | in bianco Te * ",strnum(SIGN)," "))
W8 w5;setylabel("hPa|°C");setxlabel("giorni");SIGN=-1;curr/col(w10,3);curr-extract(curr,1,1)+extract(w4*SIGN,1,1);setdeltax(1/A1);overplot(w4*SIGN,white);label(strcat("in viola press.atm./",strnum(max(col(10,3)))," | in bianco Te* ",strnum(SIGN)," "))

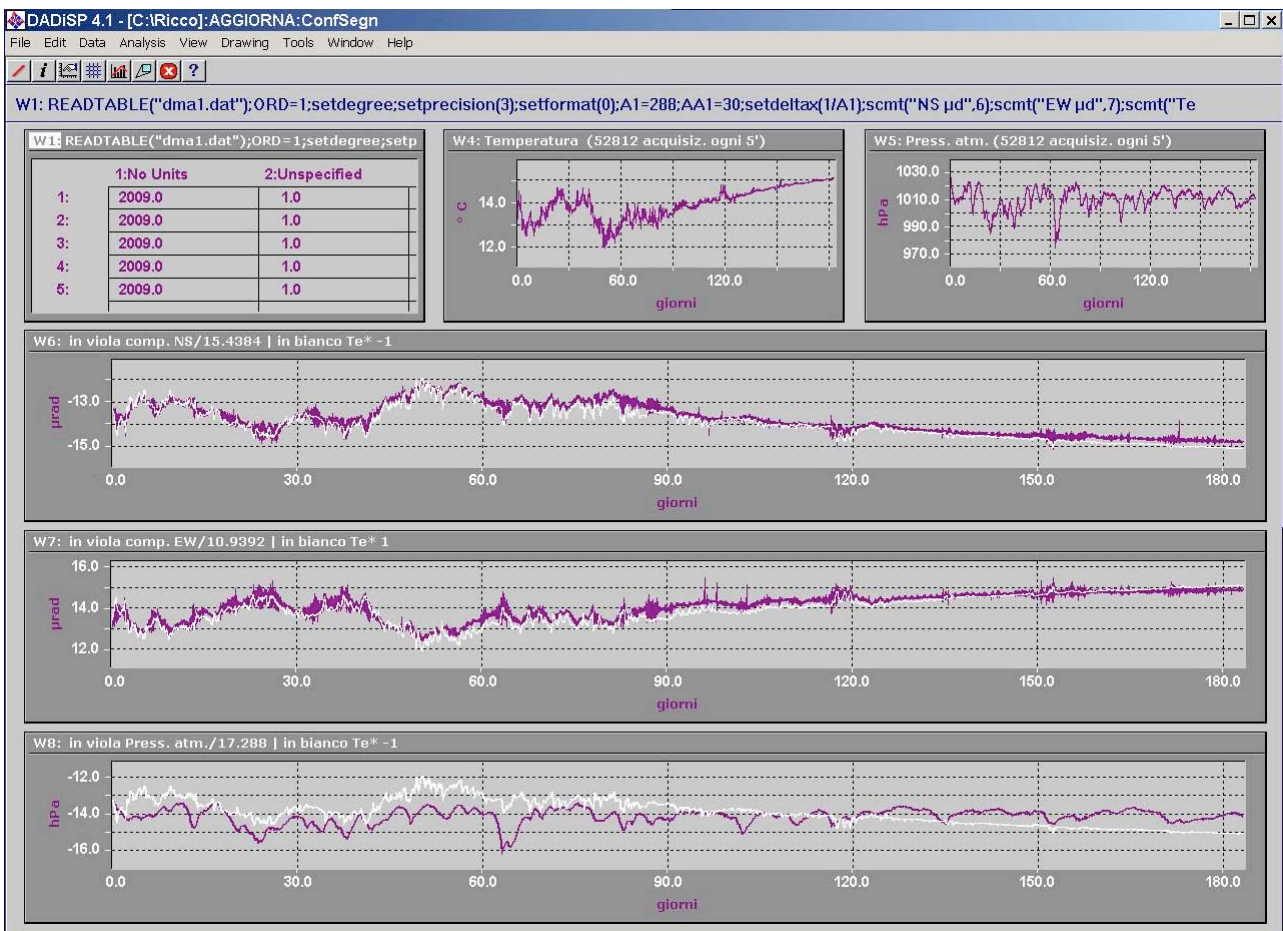


Figura 12 Riproduzione grafica dei segnali tiltmetrici registrati e della pressione atmosferica con sovrapposizione della temperatura nella stessa scala.

2. Labbook DECORREL

2.1. Worksheet PreparazioneSegnali

Finalità del foglio di calcolo:

Preparazione dei segnali tiltmetrici e termico per la successiva procedura di decorrelazione statistica, attraverso i passaggi sottoelencati (fig. 13).

Smoothing dei dati, scomposizione del segnale di temperatura in n parti il cui andamento temporale è marcatamente crescente o decrescente in una banda spettrale di periodo superiore a 5 giorni, identificazione dei punti estremanti con dei *flags* e ricomposizione del segnale di temperatura filtrato.

File input NOME1.dat

File output rav.dat

a) Lettura ed impostazione delle costanti.

Operazione di media ogni 6 campioni sui segnali tiltmetrici e termico (si passa da 288 a 48 acquisizioni al giorno) per ridurne la lunghezza. Convoluzione delle sequenze così ottenute con una *boxcar* avente una lunghezza (CON) di 4 giorni (equivalente ad una *moving average*) previa aggiunta di un determinato numero (LEN1) di valori nulli alle estremità delle stesse per evitare effetti di distorsione. Riproduzione grafica degli segnali originali e sovrapposizione di quelli sottoposti a *smoothing*.

```

W1 readtable("NOME1.dat");A1=48;AA1=30;CON=A1*4;L1=A1;LEN1=A1*45;LIM=500;setprecision(3);setxtic(AA1);scmt("NS µd",6);scmt("EW µd",7);scmt("Te°C",8);scmt("Pr. atm hPa",9)
W2 w1;extract(curr,1,6*int(length(curr)/6));water(decimate(water(col(curr,1),col(curr,2),col(curr,3),col(curr,4),col(curr,5)),6),unravel(colmean(ravel(col(curr,6),6))),unravel(colmean(ravel(col(curr,7),6))),unravel(colmean(ravel(col(curr,8),6))))
W3 col(w2,6);extract(conv(concat(replicate(extract(curr,1,1),LEN1),curr,replicate(extract(curr,length(curr),1),LEN1)),gline(CON,1,0,1)/CON),LEN1+CON/2+1,length(w2));setxoffset(0);overplot(col(w2,6),white)
W4 col(w2,7);extract(conv(concat(replicate(extract(curr,1,1),LEN1),curr,replicate(extract(curr,length(curr),1),LEN1)),gline(CON,1,0,1)/CON),LEN1+CON/2+1,length(w2));setxoffset(0);overplot(col(w2,7),white)
W5 col(w2,8);extract(conv(concat(replicate(extract(curr,1,1),LEN1),curr,replicate(extract(curr,length(curr),1),LEN1)),gline(CON,1,0,1)/CON),LEN1+CON/2+1,length(w2));setxoffset(0);overplot(col(w2,8),white)

```

b) Ricerca dei massimi e minimi nel segnale di temperatura filtrato, al fine di individuare i punti in cui esso deve essere tagliato per ottenerne porzioni il cui andamento è o crescente o decrescente, ottenendo una sequenza di valori 0,1 in cui gli 1 (*flags*) identificano i limiti delle porzioni stesse di segnale.

Tale calcolo non viene effettuato solo in assenza di segnale per un periodo (LIM) di oltre 10 giorni circa; inoltre la distanza tra i *flags* viene imposta cautelativamente superiore a 1 giorno (L1) per evitare eventuali estremanti fittizi.

Visualizzazione di tutti i passaggi dell'algorithmo per un ulteriore controllo visivo.

```

W6 w5+200;(getpeak(curr)+getvalley(curr))>0;concat(gser(0),extract(curr,2,length(curr)-2),gser(0));setxoffset(1);curr*xvals(curr);delete(curr,curr==0);ldderiv(curr)
W7 w6;if(row(curr,1)<L1,concat(row(curr,1)*(row(curr,1)<L1)+row(curr,2),extract(curr,3,length(curr)-2)));((curr>=L1)*partsum(curr));delete(curr,curr==0);ldderiv(curr);concat(curr,length(W2)-coltotal(curr));setplotstyle(4)
W8 reverse(w7);if(row(curr,1)<L1,concat(row(curr,1)*(row(curr,1)<L1)+row(curr,2),extract(curr,3,length(curr)-2)));reverse(curr);setplotstyle(4)
W9 w8;concat(gser(0),curr);ampdist(partsum(curr),1);extract(curr,2,length(curr)-1);extract(curr,1,length(w2)-1);concat(curr,gser(1))
W10 w5;setxoffset(1);setdeltax(1);not(ldderiv(curr)==0)*xvals(curr);delete(curr,curr==0);((ldderiv(curr)>LIM)+extract((ldderiv(curr)>LIM),2,length((ldderiv(curr)>LIM))1))*curr;delete(curr,curr==0);setplotstyle(4);setnavaue(curr,0)
W11 w10;ravel(sort(concat(gser(1),curr,extract(replicate(gser(-1,1),100),1,length(curr))+curr,gser(length(w9))),1,2);unravel((ampdist(curr,1)>=0)*transpose(extract(replicate(gser(1,0),100),1,length(transpose(curr)))));label("corr. per mancanza di segnale")
W12 w9*w11+extract(ampdist(concat(gser(0),w10),1,2,length(w9))>0);if(w10==0,w9);
W13 w12;setxoffset(1);setdeltax(1);curr*xvals(curr);delete(curr,curr==0);ldderiv(curr)
W14 w13;if(row(curr,1)<L1,concat(row(curr,1)*(row(curr,1)<L1)+row(curr,2),extract(curr,3,length(curr)-2)));((curr>=L1)*partsum(curr));delete(curr,curr==0);ldderiv(curr);concat(curr,length(w2)-coltotal(curr));setplotstyle(4)

```

- W15 reverse(w14);if(row(curr,1)<L1,concat(row(curr,1)*(row(curr,1)<L1)+row(curr,2),extract(curr,3,length(curr)-2)));reverse(curr);setplotstyle(4)
- W16 w15;concat(gser(0),curr);ampdist(partsum(curr),1);extract(curr,2,length(curr)1);extract(curr,1,length(w2),1);concat(curr,gser(1));label("lunghezza dei subsegnali a pendenza quasi costante")

c) Riorganizzazione e scrittura su disco del data file secondo il formato:

anno, mese, giorno, ora e minuti, tensione batteria (V), comp. NS, EW (µrad) e Te (°C) mediate su 30 minuti, comp. NS, EW e Te filtrate, sequenza di valori 0,1.

- W17 water(w2..w5,w16);scmt("NSm µd",6);scmt("EWm µd",7);scmt("Tem °C",8);scmt("NSf µd",9);scmt("EWf µd",10);scmt("Tef °C",11);scmt("0 1",12);writetable("rav.dat")

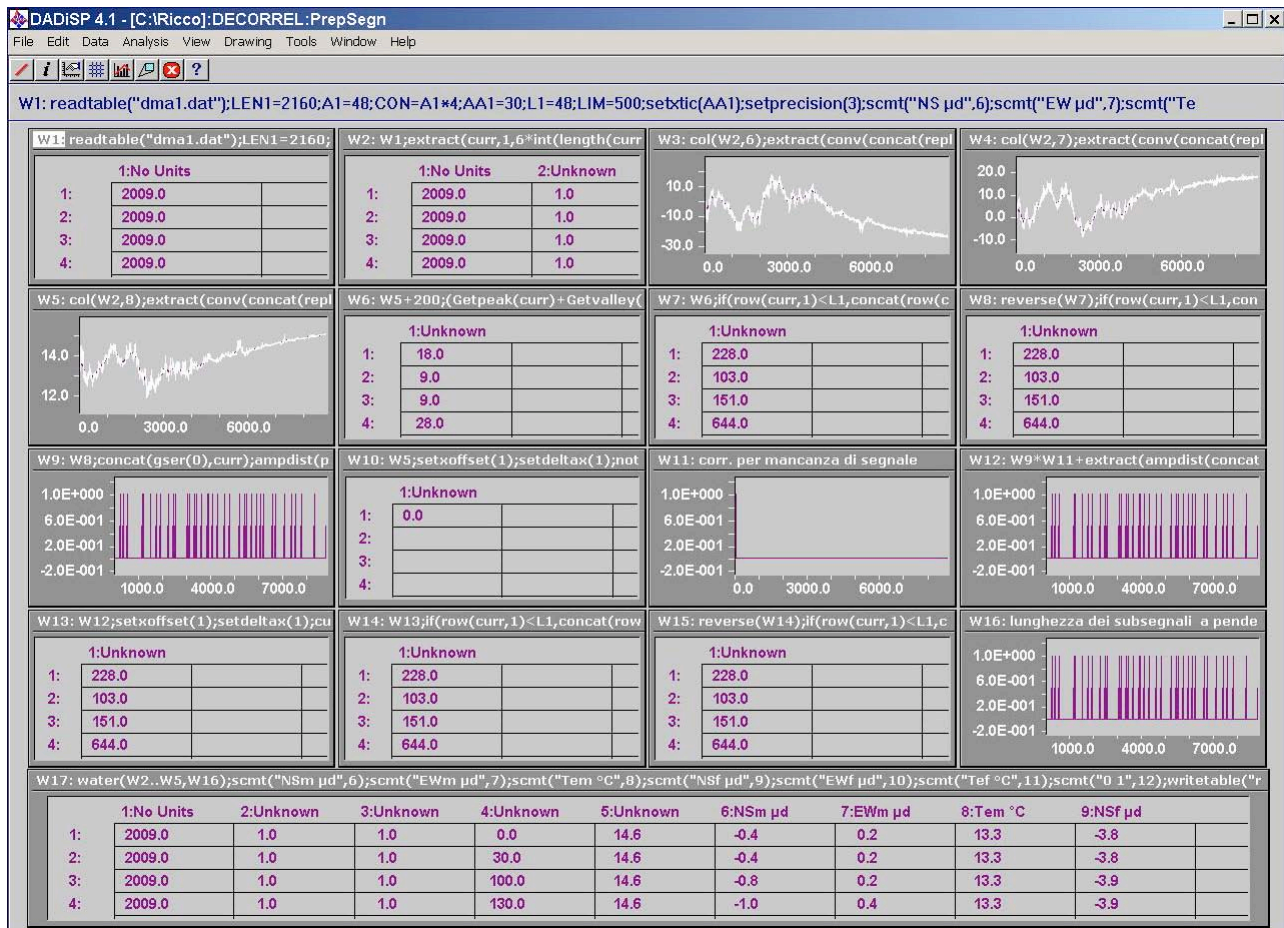


Figura 13 Worksheet relativa alla preparazione dei segnali tiltmetrici e termico per la successiva procedura di decorrelazione statistica.

2.2. Worksheet CalcoloPolinomi

Finalità del foglio di calcolo:

Nell'ipotesi di una dipendenza non lineare del tilt dalla temperatura attraverso un modello polinomiale del tipo $\hat{y} = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m$, dove m è l'ordine del polinomio, viene calcolata attraverso

regressione polinomiale la miglior curva interpolante le coppie ordinate di valori (Te,Tilt), assumendo come variabile indipendente la temperatura. Tale dipendenza $Tilt = f(Te)$ viene ritenuta valida solo negli intervalli in cui il segnale di temperatura, mediato e filtrato dalle frequenze più alte, presenta un andamento crescente o decrescente nel tempo; per questo motivo vengono considerati gli intervalli calcolati nella precedente **worksheet PreparazioneSegnali** e trascritti nel **file rav.dat**.

Le sequenze di dati in esso contenute sono quindi scomposte in n subsegnali attraverso riletture della colonna di valori 0,1 e le coppie ordinate (Te,Tilt) sono così sottoposte a regressione polinomiale prima con m=3 e

poi con $m=2$; l'algoritmo provvede infine a scegliere per ogni intervallo la curva interpolante che presenta un minore errore standard (fig.14).

File input rav.dat
File output dec0.dat

a) Lettura dei dati, impostazione dell'ordine più alto (O1) del polinomio, scomposizione dei segnali tiltmetrici e termico filtrati in p parti i cui limiti sono identificati dai *flags* ricavati dalla colonna di valori 0,1.

```
W1  readtable("rav.dat");O1=3;setdegree;setprecision(3)
W2  col(w1,12);setxoffset(1);setdeltax(1);curr*xvals(curr);delete(curr,curr==0);ldderiv(curr)
W3  col(w1,11);reshape(curr,w2);label("TE")
W4  col(w1,9);reshape(curr,w2);label("NS")
W5  col(w1,10);reshape(curr,w2);label("EW")
```

b) Regressione polinomiale di ordine 3 e 2 tra le coppie ordinate di valori (Te,NS) appartenenti alla prima

delle p sequenze, calcolo dell'errore standard della stima $es = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - (m + 1)}}$ con n lunghezza di ogni

sequenza e scelta del *best fit* con *es* minore.

```
W6  w5;O4=1+O4;col(w3,O4);water(polygraph(polyfit(xy(curr,col(w4,O4)),O1),xvals(xy(curr,col(w4,O4))),polygraph(polyfit(xy(curr,col(w4,O4)),O1-1),xvals(xy(curr,col(w4,O4)))));setplotstyle(4);label("comp.NS:fit con polin. ordine 3 e 2")
W8  water(sqrt(coltotal((col(w4,O4)-col(w6,1))^2)/(row(w2,O4)-(O1+1))),sqrt(coltotal((col(w4,O4)-col(w6,2))^2)/(row(w2,O4)-(O1-1+1))));if(col(curr,1)>=col(curr,2),col(w6,2),col(w6,1));label("comp.NS: migliore fit")
```

c) Regressione polinomiale di ordine 3 e 2 tra le coppie ordinate di valori (Te,EW) appartenenti alla prima delle p sequenze, calcolo di *es* e scelta del polinomio con *es* minore.

```
W7  w6;col(w3,O4);water(polygraph(Polyfit(xy(curr,col(w5,O4)),O1),xvals(xy(curr,col(w5,O4))),Polygraph(Polyfit(xy(curr,col(w5,O4)),O1-1),xvals(xy(curr,col(w5,O4)))));setplotstyle(4);label("comp. EW: fit con polin. ordine 3 e 2")
W9  water(sqrt(coltotal((col(w5,O4)-col(w7,1))^2)/(row(w2,O4)-(O1+1))),sqrt(coltotal((col(w5,O4)-col(w7,2))^2)/(row(w2,O4)-(O1-1+1))));if(col(curr,1)>=col(curr,2),col(w7,2),col(w7,1));label("comp. EW: migliore fit")
```

d) Scrittura su disco delle p sequenze con il loro indice.

```
W10 water(w8,w9,gser(O4));writetable("polin",2)
W15 water(w13,w14,gser(O4));writetable("polin",2)
W20 water(w18,w19,gser(O4));writetable("polin",2)
W25 water(w23,w24,gser(O4));writetable("polin",2)
W30 water(w28,w29,gser(O4));writetable("polin",2)
W35 water(w33,w34,gser(O4));writetable("polin",2)
W40 water(w38,w39,gser(O4));writetable("polin",2)
W45 water(w43,w44,gser(O4));writetable("polin",2)
W50 water(w48,w49,gser(O4));writetable("polin",2)
W55 water(w53,w54,gser(O4));writetable("polin",2)
W60 water(w58,w59,gser(O4));writetable("polin",2)
W65 water(w63,w64,gser(O4));writetable("polin",2)
W70 water(w68,w69,gser(O4));writetable("polin",2)
W75 water(w73,w74,gser(O4));writetable("polin",2)
W80 water(w78,w79,gser(O4));writetable("polin",2)
W85 water(w83,w84,gser(O4));writetable("polin",2)
W90 water(w88,w89,gser(O4));writetable("polin",2)
W95 water(w93,w94,gser(O4));writetable("polin",2)
```

e) Il calcolo e la scrittura su disco con accodamento del file vengono eseguiti sulle prime 18 sequenze per un totale di 90 finestre della *worksheet* impegnate, dopodiché attraverso l'esecuzione automatica del file comando *pol.dsp*, il programma reitera il calcolo sulle successive 18 sequenze fino all'esaurimento del file di lettura *rav.dat*.

```
96 w95;load("pol.dsp")
```

f) Rilettura del file *polin*, reset memoria, cancellazione dell'indice, riorganizzazione e scrittura su disco del *data file* secondo il formato:

anno, mese, giorno, ora e minuti, tensione batteria (V), comp. NS, EW (μ rad) e Te ($^{\circ}$ C) mediate su 30 minuti, comp. NS, EW e Te filtrate e ricomposte, sequenza di valori 0 1, massima lunghezza delle sequenze, colonna contenente i polinomi ordinati relativi a tutte le sequenze con *es* più basso per le 2 componenti tiltmetriche.

```
W97 O4=0;readtable("polin");run("cancella",-1)
W98 col(w97,3);delete(curr,curr==0);setplotstyle(0)
W99 w98;water(w1,replicate(colmax(unravel(collength(w3))),length(w1)),col(w97,1),col(w97,2));extract(curr,1,length(w97));writetable("dec0.dat",2);setplotstyle(4)
```

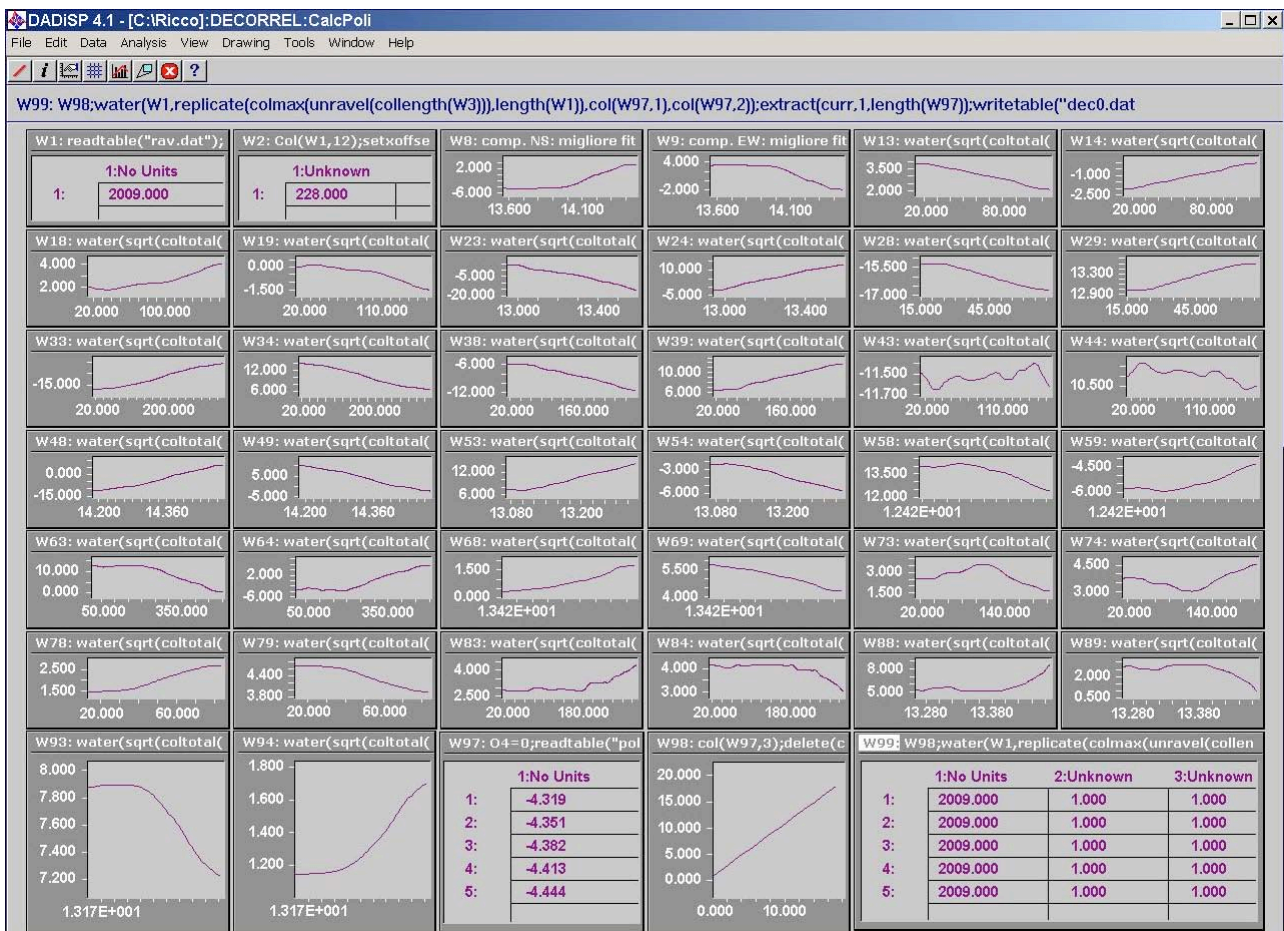


Figura 14 Worksheet relativa al calcolo attraverso regressione polinomiale della miglior curva interpolante le coppie ordinate di valori (Te,Tilt), assumendo come variabile indipendente la temperatura.

2.3. Worksheet DecorrelazioneSegnali

Finalità del foglio di calcolo:

Rimozione dall'inclinazione del suolo apparente registrata dal sensore degli effetti di dilatazione o contrazione del substrato su cui esso è appoggiato oppure in cui esso è incassato, dovuti essenzialmente alle variazioni termiche in banda giornaliera e mensile (fig.15).

Si tratta di una decorrelazione di tipo statistico in quanto l'algoritmo utilizzato effettua la residuazione delle p sequenze tiltmetriche filtrate (vedi *worksheet PreparazioneSegnali*) rispetto ai corrispondenti polinomi di regressione (vedi *worksheet CalcoloPolinomi*).

Le sequenze tiltmetriche così ricalcolate risultano scalate in ampiezza e molto meno correlate alla temperatura.

Pur tuttavia, possono essere talvolta presenti parti di segnale decorrelato in cui resta una residua correlazione, dovuta all'esistenza di sfasamenti tra tilt e temperatura che si traduce operativamente nella non contemporaneità dei punti estremanti nei 2 segnali che a sua volta si traduce in un *fit* polinomiale che non approssima bene le coppie ordinate di valori (Te, Tilt).

Risulta utile quindi affiancare alle sequenze decorrelate anche due indicatori statistici della attendibilità del *fit* come il coefficiente di correlazione R e l'errore stitico della stima es .

Si ritiene inoltre non attendibile la decorrelazione di una data sequenza quando R risulta inferiore a 0.8 oppure es ricade all'esterno della supposta distribuzione normale costruita sui valori di es stesso (OR logico;

$$R < .8 \cup es > 2\sigma$$

File input dec0.dat

File output dec.dat

a) Lettura dei dati, impostazione dell'ordine più alto (O1) del polinomio, calcolo del denominatore $n-(m+1)$ di es , scomposizione dei segnali tiltmetrici e termico filtrati e dei polinomi di regressione in p sequenze, rappresentazione grafica dei segnali tiltmetrici e termico mediati e della sequenza di valori 0 1.

```

W1 readtable("dec0.dat");O1=3;S1=2;A1=48;AA1=30;setprecision(3);setdegree;scmt("NSm $\mu$ d",6);scmt("
EWm  $\mu$ d",7);scmt("Tem °C",8);scmt("NSf  $\mu$ d",9);scmt("EWf  $\mu$ d",10);scmt("Tef °C",11);scmt("0
1",12);scmt("max",13);scmt("NSfit",14);scmt("EWfit",15)
W2 col(w1,12);setxoffset(1);setdeltax(1);curr*xvals(curr);delete(curr,curr==0);ldderiv(curr)
W3 transpose(w2)-(O1+1)
W4 col(w1,13);concat(gser(0),extract(curr,1,1));ampdist(curr,1)>-1;extract(curr,2,length(curr)-
1);ravel(replicate(curr,length(w2)),length(curr));curr*reshape(Col(w1,4)>-1000,w2)
W5 w4;delete(curr,curr==0)
W6 (reshape(col(w1,14),w2)+1000)*w4;delete(curr,curr==0);curr-1000;label("comp. NS calcolata
attraverso la curva di regressione")
W7 (reshape(col(w1,15),W2)+1000)*w4;delete(curr,curr==0);curr-1000;label("comp. EW calcolata
attraverso la curva di regressione")
W8 col(w1,6);label("NS");setxtic(AA1);setdeltax(1/A1)
W9 col(w1,7);label("EW");setxtic(AA1);setdeltax(1/A1)
W10 col(w1,8);label("TE");setxtic(AA1);setdeltax(1/A1)
W11 (reshape(col(w1,9),w2)+1000)*w4;delete(curr,curr==0);curr-1000;label("comp. NS filtrata")
W12 (reshape(col(w1,10),w2)+1000)*w4;delete(curr,curr==0);curr-1000;label("comp. EW filtrata")
W13 (reshape(col(w1,11),w2)+1000)*w4;delete(curr,curr==0);curr-1000;label("comp. TE filtrata")
W14 col(w1,12);setxtic(AA1);setdeltax(1/A1);label("campionatura")

```

b) Residuazione delle p sequenze tiltmetriche NS filtrate rispetto ai corrispondenti polinomi di regressione e ricomposizione dell'intero segnale.

Eliminazione degli *offset* tra sequenze contigue e calcolo di una spezzata congiungente gli estremi delle sequenze residue (che rappresenta il *trend* dell'inclinazione del suolo corretta). Rappresentazione della temperatura (in bianco), della comp. NS originaria (in viola), di quella decorrelata (in nero) e del suo *trend* (in giallo).

```

W15 w11-w6;label("deviazione residua")
W16 W15+1000*w4;delete(curr,curr==0);curr-1000
W17 lookup(partsum(w2),unravel(w16));writea("temp",1);reada("temp")
W18 lookup(partsum(w2)+1,unravel(w16));writea("temp",1);reada("temp")
W19 ravel(lookup(sort(concat(partsum(w2)+1,partsum(w2)),1),col(w1,9)),2);transpose(partsum(concat(gser
(0),unravel(row(curr,2)-row(curr,1))))))
W20 partsum(concat(gser(0),w18-w17));w16+w19-transpose(curr)*w5
W21 unravel(w20);curr-extract(curr,1,1);extract(curr,1,length(w1));setlinewidth(3);label("tilt decorrelato
NS");setxoffset(0);setxtic(AA1);setdeltax(1/A1)

```

W22 w21;setxoffset(1);setdeltax(1);water(xvals(curr),curr)
W23 concat(gser(0),partsum(w2));unravel(transpose(water(curr,curr+1)));delete(curr,curr==0);lookup(curr,w22);writetable("temp",1);readtable("temp");delete(curr,rowtotal(curr)==0);xyinterp(xy(col(curr,1),col(curr,2)),1);setxoffset(0);setdeltax(1/A1)
W32 xy(concat(gser(1),unravel(extract(reverse(reshape(gline(length(w23),1,1,1),w2)),1,1))),concat(gser(0),unravel(extract(reverse(reshape(curr,w2)),1,1)))));xyinterp(curr,1);setxoffset(0);setdeltax(1/A1)
W24 w8;overplot(w21,black);overplot(w32,yellow);overplot(w10,WHITE);label("comp. NS in viola temperatura in bianco comp. NS decorrelata e filtrata in nero/giallo");setxtic(AA1);setxlabel("giorni");setylabel("μradianti | °C")

c) Residua delle p sequenze tiltmetriche EW filtrate rispetto ai corrispondenti polinomi di regressione e ricomposizione dell'intero segnale.

Eliminazione degli offset tra sequenze contigue e calcolo di una spezzata congiungente gli estremi delle sequenze residue. Rappresentazione della temperatura (in bianco), della comp. EW originaria (in viola), di quella decorrelata (in nero) e del suo trend (in giallo).

W35 w12-w7;label("deviazione residua")
W36 W35+1000*w4;delete(curr,curr==0);curr-1000
W37 lookup(partsum(w2),unravel(w36));writea("temp",1);reada("temp")
W38 lookup(partsum(w2)+1,unravel(w36));writea("temp",1);reada("temp")
W39 ravel(lookup(sort(concat(partsum(w2)+1,partsum(w2)),1),col(w1,10)),2);transpose(partsum(concat(gser(0),unravel(row(curr,2)-row(curr,1))))))
W40 partsum(concat(gser(0),w38-w37));w36+w39-transpose(curr)*w5
W41 unravel(w40);curr-extract(curr,1,1);extract(curr,1,length(w1));setlinewidth(3);label("tilt decorrelato EW");setxoffset(0);setxtic(AA1);setdeltax(1/A1)
W42 w41;setxoffset(1);setdeltax(1);water(xvals(curr),curr)
W43 concat(gser(0),partsum(w2));unravel(transpose(water(curr,curr+1)));delete(curr,curr==0);lookup(curr,w42);writetable("temp",1);readtable("temp");delete(curr,rowtotal(curr)==0);xyinterp(xy(col(curr,1),col(curr,2)),1);setxoffset(0);setdeltax(1/A1)
W52 xy(concat(gser(1),unravel(extract(reverse(reshape(gline(length(w43),1,1,1),w2)),1,1))),concat(gser(0),unravel(extract(reverse(reshape(curr,w2)),1,1)))));xyinterp(curr,1);setxoffset(0);setdeltax(1/A1)
W44 w9;overplot(w41,black);overplot(w52,yellow);overplot(w10,WHITE);label("comp. EW in viola temperatura in bianco comp. EW decorrelata e filtrata in nero/giallo");setxtic(AA1);setxlabel("giorni");setylabel("μradianti | °C")

d) Per ogni sequenza di tilt decorrelato NS, computo della devianza spiegata ESS e totale TSS per calcolare il coefficiente di correlazione

$$R = \sqrt{\frac{ESS}{TSS}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Computo della devianza residua RSS per calcolare l'errore standard della stima es .

Attribuzione ad ogni sequenza di un coefficiente 1 (bassa attendibilità della decorrelazione) nel caso in cui R risulti inferiore a 0.8 oppure (OR logico) es sia superiore a S1 (generalmente 2) volte la dev. standard σ di tutti gli es calcolati e di un coefficiente 0 negli altri casi.

Preparazione di un vettore riga per R e es .

W25 replicate(colmean(w11),length(w4))*w4;label("media subserie comp. NS")
W26 w6-w25;coltotal(curr^2);label("ESS o devianza spiegata")
W27 w11-w25;coltotal(curr^2);label("TSS o devianza totale")
W28 unravel(sqrt(w26/w27))*10;not(int(curr)>10)
W29 transpose(unravel(sqrt(w26/w27))*w28+not(w28))
W30 coltotal(w15^2);label("RSS o devianza residua")
W31 sqrt(w30/w3)
W32 w23;xy(concat(gser(1),unravel(extract(reverse(reshape(gline(length(curr),1,1,1),w2)),1,1))),concat(gser(0),unravel(extract(reverse(reshape(curr,w2)),1,1)))));xyinterp(curr,1);setxoffset(0);setdeltax(1/A1)

- W33** `extract(unravel(w31),1,length(w2));curr>(colmean(curr)+S1*stdev(curr));or(curr,(unravel(w29)<.8));`
 label("subsegnali in cui l'err. st. della stima del tilt sulla temp. ricade all'esterno dell'int. +/- S1 SIGMA
 oppure il coeff. di corr. è < di 0.8")
- W34** `replicate(transpose(w33)+1000,length(w4))*w4;delete(curr,curr==0);curr-1000`

e) Per ogni sequenza di tilt decorrelato EW, computo della devianza spiegata ESS e totale TSS per calcolare R ; computo della devianza residua RSS per calcolare es , calcolo di $R < .8 \cup es > 2\sigma$ come al

punto d. Preparazione di un vettore riga per R e es .

- W45** `replicate(colmean(w12),length(w4))*w4;label("media subserie comp. EW")`
- W46** `w7-w45;coltotal(curr^2);label("ESS o devianza spiegata")`
- W47** `w12-w45;coltotal(curr^2);label("TSS o devianza totale")`
- W48** `unravel(sqrt(w46/w47))*10;not(int(curr)>10)`
- W49** `transpose(unravel(sqrt(w46/w47))*w48+not(w48))`
- W50** `coltotal(w35^2);label("RSS o devianza residua")`
- W51** `Sqrt(w50/w3)`
- W52** `W43;xy(concat(gser(1),unravel(extract(reverse(reshape(gline(length(curr),1,1,1),w2)),1,1))),concat(gser(0),unravel(extract(reverse(reshape(curr,w2)),1,1)))));xyinterp(curr,1);setxoffset(0);setdeltax(1/A1)`
- W53** `extract(unravel(w51),1,length(w2));curr>(colmean(curr)+S1*stdev(curr));or(curr,(unravel(w49)<.8));`
 label("subsegnali in cui l'err. st. della stima del tilt sulla temp. ricade all'esterno dell'int. +/- S1 SIGMA
 oppure il coeff. di corr. è < di 0.8")
- W54** `replicate(transpose(w53)+1000,length(w4))*w4;delete(curr,curr==0);curr-1000`

f) Calcolo del max e min valore degli es relativi alle sequenze NS ed EW per la loro riproduzione grafica.

- W55** `unravel(concat(w31,w51));concat(colmin(curr),colmax(curr));sety(min(curr),max(curr))`

g) Grafico dei parametri statistici relativi alla comp. NS.

- W56** `W29+1000*w5;delete(curr,curr==0);curr-1000;unravel(curr);extract(curr,1,length(w1));curr*(curr<=1)+(curr>1);label("coeff. di correlaz. NS");setxoffset(0);setxtic(AA1);setdeltax(1/A1);sety(0,1);setformat(0)`
- W57** `w31+1000*w5;delete(curr,curr==0);curr-1000;unravel(curr);extract(curr,1,length(w1));label("err.standard NS");setxoffset(0);setxtic(AA1);setdeltax(1/A1);sety(getyb(w55),getyt(w55));setformat(0)`
- W58** `w34;extract(unravel(curr),1,length(w1));label(strcat("w31>Mean+",strnum(S1),"rms(w31)ORw29<0.8"));setxoffset(0);setdeltax(1/A1);sety(0,1);setytic(1)`

h) Grafico dei parametri statistici relativi alla comp. EW.

- W59** `W49+1000*w5;delete(curr,curr==0);curr-1000;unravel(curr);extract(curr,1,length(w1));curr*(curr<=1)+(curr>1);label("coeff. di correlaz. EW");setxoffset(0);setxtic(AA1);setdeltax(1/A1);sety(0,1);setformat(0)`
- W60** `W51+1000*w5;delete(curr,curr==0);curr-1000;unravel(curr);extract(curr,1,length(w1));label("err.standard EW");setxoffset(0);setxtic(AA1);setdeltax(1/A1);sety(getyb(w55),getyt(w55));setformat(0)`
- W61** `W54;extract(unravel(curr),1,length(w1));label(strcat("w51>Mean+",strnum(S1),"rms(w51)ORw49<0.8"));setxoffset(0);setdeltax(1/A1);sety(0,1);setytic(1)`

i) Scrittura su disco del *data file* secondo il formato:

comp. NS decorrelata, *trend* della stessa, colonna contenente i valori R ripetuti per ogni sequenza, colonna contenente i valori di es , colonna contenente i valori di attendibilità ripetuti per ogni sequenza, comp. EW decorrelata, *trend* della stessa, colonna contenente i valori R ripetuti per ogni sequenza, colonna contenente i valori di es , colonna contenente i valori di attendibilità ripetuti per ogni sequenza, sequenza di valori 0 1.

- W62** `water(w21,w32,w56..w58,w41,w52,w59..w61,w14);scmt("NSdec",1);scmt("NSdec1",2);scmt("Kcor",3);scmt("err st",4);scmt("OR",5);scmt("EWdec",6);scmt("EWdec1",7);scmt("K cor",8);scmt("err st",9);scmt("OR",10);scmt("01",11);writetable("dec.dat")`

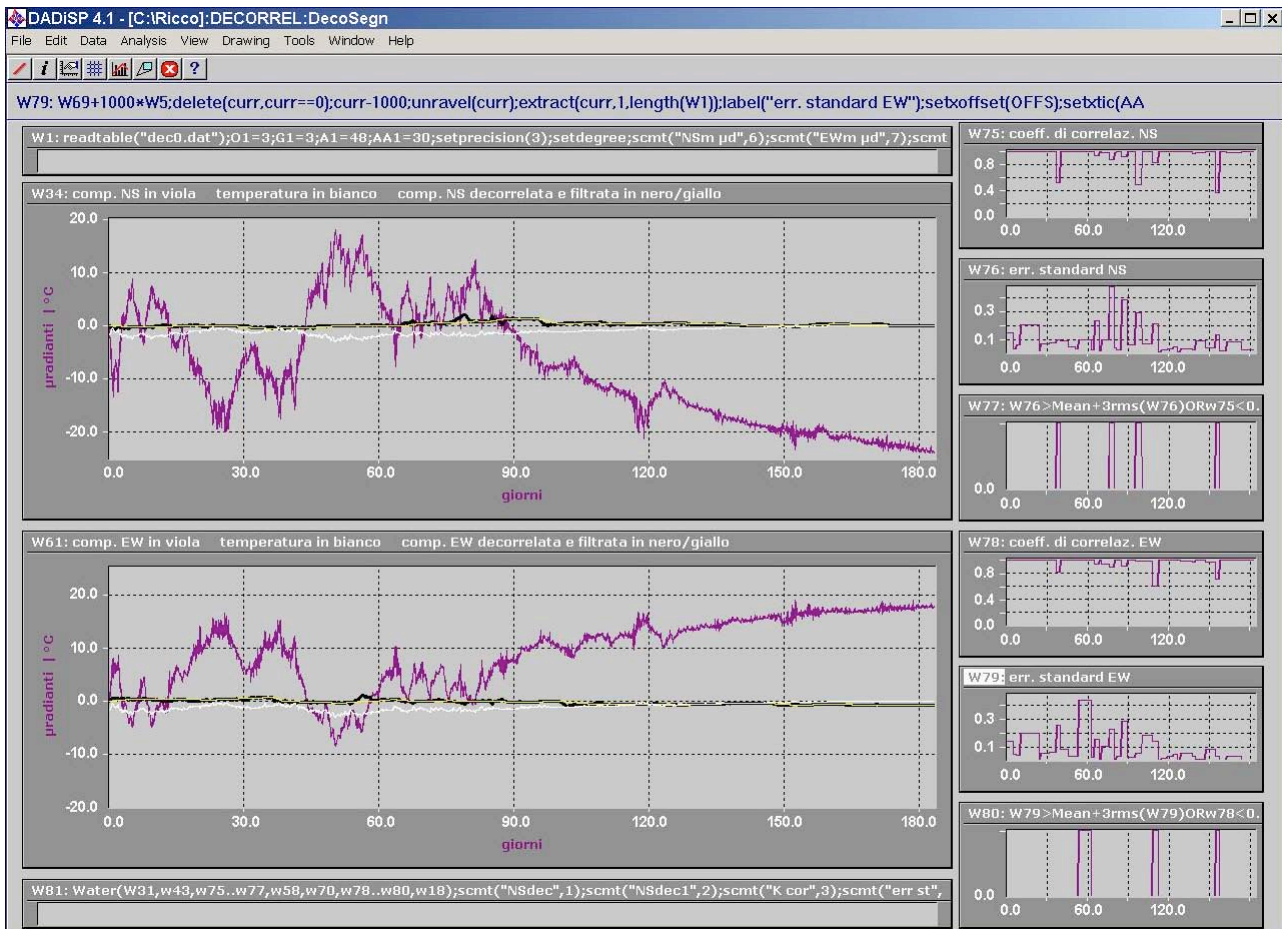


Figura 15 Worksheet per la decorrelazione statistica delle sequenze tiltmetriche filtrate rispetto ai corrispondenti polinomi di regressione (temperatura in bianco, componenti tiltmetriche originarie in viola, componenti tiltmetriche decorrelate in nero e *trend* esibito in giallo). Su ogni sequenza sono calcolati il coefficiente di correlazione, l'errore *standard* della stima e l'operatore logico OR tra questi 2 insiemi.

2.4. Worksheet Rappresentazione Tiltdecorrelato

Finalità del foglio di calcolo:

Rappresentazione bidimensionale dell'inclinazione (vettore tilt) nel tempo; grafico delle singole componenti NS, EW, dell'azimuth orario da N del vettore tilt ed istogramma delle frequenze relative degli azimuth (Fig.16).

File input dec.dat

a) Lettura dati ed impostazione delle costanti; estrazione della parte di segnale da rappresentare.

W5 readtable("dec0.dat");water(col(curr,1),col(curr,2),col(curr,3),col(curr,4))

W9 readtable("dec.dat");water(extract(w5,1,length(curr)),curr);A1=288;AA1=30;B1=1;D1=length(curr);E1=1;F1=A1*1;G1=F1*1;ORIZ1=0;T1=5;VERT1=0;setdegree;setformat(0);setprecision(1);setxoffset(0);setxtic(AA1);Scmt("NSdec",5);scmt("NSdec1",6);scmt("EWdec",10)

W10 extract(w9,B1,D1);delete(curr,rowtotal(curr)==0);setxoffset(0);setdeltax(1/A1);

b) Lettura componente NS decorrelata, rappresentazione grafica e calcolo della media del segnale su F1 acquisizioni.

W1 col(w10,5);overplot(col(w10,6),white);setylabel("μradianti");setxlabel("giorni");label(strcat("comp.NS(",strnum(length(w10)), " acquisiz. ogni 30'"));setlinewidth(3);setxtic(xtic(w9));setY(min(curr)-E1,max(curr)+E1)

W2 extract(unravel(replicate(colmean(ravel(w1,F1)),F1)),1,length(w10));curr-replicate(extract(curr,1,1),length(curr));setdeltax(deltax(w1))

c) Lettura componente EW decorrelata, rappresentazione grafica e calcolo della media del segnale.

- W3** col(w10,10);overplot(col(w10,11),white);setylabel("μradianti");setxlabel("giorni");label(strcat("comp. EW(",strnum(length(w10))," acquisiz. ogni 30'"));setlinewidth(3);setxtic(xtic(w9));setY(min(curr)-E1,max(curr)+E1)
- W4** extract(unravel(replicate(colmean(ravel(w3,F1)),F1)),1,length(w10));curr-replicate(extract(curr,1,1),length(curr));setdeltax(deltax(w1))

d) Calcolo delle coordinate della finestra in cui viene proiettato il vettore tilt mediato su F1 acquisizioni e sua rappresentazione bidimensionale.

- W6** water(col(w10,11),col(w10,6));curr-replicate(extract(curr,1,1),length(curr));xy(col(curr,1),col(curr,2));setlinewidth(3)
- W11** w6;ravel(unravel(curr),length(curr));concat(colmin(curr),colmax(curr));replicate(extract(curr,1,1),2)+ravel(replicate(concat(gser(0),colmax(unravel(deriv(curr)))),2),2);transpose(concat(col(curr,2),col(curr,1)));(curr/abs(curr))*abs(int(curr*10+.5))/10
- W15** w11;water(col(curr,1)-E1+ORIZ1,col(curr,2)+E1+ORIZ1,col(curr,3)-E1+VERT1,col(curr,4)+E1+VERT1);ravel(unravel(curr),2);xy(col(curr,1),col(curr,2));sety(min(curr),max(curr))
- W7** w6;setx(getxl(w15),getxr(w15));sety(getyb(w15),getyt(w15));setxtic(T1);setytic(T1)
- W48** water(col(w10,11),col(w10,6));curr-replicate(extract(curr,1,1),length(curr));concat(extract(curr,1,1),extract(curr,length(curr),1));xy(col(curr,1),col(curr,2));setsymbol(2,1,1,1)
- W49** w10;extract(curr,0,length(curr));decimate(curr,G1);extract(curr,2,length(curr)-1)
- W50** xy(col(w49,11),col(w49,6));setsymbol(1,0,1,2)
- W8** w7;label(strcat("Stazione NOME: plot del TILT (quadrantini bianchi ogni ",strnum(G1/A1)," giorni"));setxlabel("variazioni positive = inclinazione verso E");overplot(w48,yellow);overplot(w50,white);setwlike(w7,3);textann(-.1,-.1,0,1,"")

e) Calcolo dell'azimuth orario da N del vettore tilt, istogramma delle frequenze relative degli azimuth e loro rappresentazione grafica.

- W16** w2;extract(unravel(replicate(transpose(deriv(decimate(curr,F1))),F1)),1,length(w10))
- W17** w4;extract(unravel(replicate(transpose(deriv(decimate(curr,F1))),F1)),1,length(w10))
- W18** water((w2/abs(w2)),(w4/abs(w4)));label("SEGNI")
- W20** atan(w2/w4);label("ATAN(NS/EW)")
- W22** gline(length(w2),1,0,1);water(curr,curr-1)
- W23** (rowtotal(water(col(w22,1),col(w22,1))==w18)==2)*(90-w20);label("1° QUADRANTE")
- W24** (rowtotal(water(-col(w22,1),col(w22,1))==w18)==2)*(90+abs(w20));label("2° QUADRANTE")
- W25** (rowtotal(water(-col(w22,1),-col(w22,1))==w18)==2)*(270-w20);label("3° QUADRANTE")
- W26** (rowtotal(water(col(w22,1),-col(w22,1))==w18)==2)*(270+abs(w20));label("4° QUADRANTE")
- W27** (rowtotal(water(col(w22,1),col(w22,2))==w18)==2)*0;label("DIREZ. N")
- W28** (rowtotal(water(col(w22,2),col(w22,1))==w18)==2)*90;label("DIREZ. E")
- W29** (rowtotal(water(-col(w22,1),col(w22,2))==w18)==2)*180;label("DIREZ. S")
- W30** rowtotal(water(col(w22,2),-col(w22,1))==w18)==2)*270;label("DIREZ. W")
- W39** sums(w23..w30);extract(curr,F1+1,length(curr)-F1)
- W40** W39;setxoffset(0);setylabel("gradi");setxlabel("giorni");label(strcat("AZIMUTH del tilt da N ogni ",strnum(F1/A1)," giorni"));setdeltax(deltax(w1));sety(0,360);textann(0,0,0,5,-1,1,"range t(n)-t(0)")
- W43** ampdist(int(sort(concat(gser(0),w40),1)+.5),10);100*curr/coltotal(curr);setylabel("%conteggi");setxlabel("gradi");sety(min(curr),max(curr));setx(0,360);label("Istogr.delle freq. rel. degli AZIMUTH");setxtic(90)

f) Calcolo della variazione dell' azimuth orario da N del vettore tilt, istogramma delle frequenze relative delle variazioni di azimuth e loro rappresentazione grafica.

- W19** water((w16/abs(w16)),(w17/abs(w17)));label("SEGNI diff.")
- W21** atan(w16/w17);label("ATAN(NS/EW) diff.")
- W31** (rowtotal(water(col(w22,1),col(w22,1))==w19)==2)*(90-w21);label("1° QUADRANTE diff.")
- W32** (rowtotal(water(-col(w22,1),col(w22,1))==w19)==2)*(90+abs(w21));label("2°QUADRANTE diff.")
- W33** (rowtotal(water(-col(w22,1),-col(w22,1))==w19)==2)*(270-w21);label("3° QUADRANTE diff.")

W34 (rowtotal(water(col(w22,1),-col(w22,1))=w19)=2)*(270+abs(w21));label("4°QUADRANTE diff.")
W35 (rowtotal(water(col(w22,1),col(w22,2))=w19)=2)*0;label("DIREZ. N diff.")
W36 (rowtotal(water(col(w22,2),col(w22,1))=w19)=2)*90;label("DIREZ. E diff.")
W37 (rowtotal(water(-col(w22,1),col(w22,2))=w19)=2)*180;label("DIREZ. S diff.")
W38 rowtotal(water(col(w22,2),-col(w22,1))=w19)=2)*270;label("DIREZ. W diff.")
W41 sums(w31..w38);extract(curr,F1+1,length(curr)-F1)
W42 w41;setxoffset(0);setylabel("gradi");setxlabel("giorni");label(strcat("AZIMUTH del tilt da N ogni",strnum(F1/A1),"giorni"));setdeltax(deltax(w1));sety(0,360);textann(0,0,0,5,-1,1,"range t(n)-t(n-1)")
W44 ampdist(int(sort(concat(gser(0),w42),1)+.5),10);100*curr/coltotal(curr);setylabel("%conteggi");setxlabel("gradi");sety(min(curr),max(curr));setx(0,360);label("Istogr.delle freq. rel. degli AZIMUTH");setxtic(90)

g) Estrazione della data dell'ultima acquisizione e dell'intervallo in giorni; calcolo dei giorni di acquisizione, della lunghezza del data file, del modulo del tilt decorrelato e dell'azimuth.

W12 concat(extract(w10,1,1),extract(w10,length(w10),1));water(col(curr,1),col(curr,2),col(curr,3),col(curr,4))
W13 water(gser(AA1),gser(length(w10)/A1),gser(length(w10)))
W46 w6;concat(extract(col(curr,1),length(curr),1),extract(col(curr,2),length(curr),1));sqrt(coltotal(curr^2))
W47 w40;extract(curr,length(curr),1)
W14 water(w12,w13,w46,w47);scmt("ANNO",1);scmt("MESE",2);scmt("GIORNO",3);scmt("ORA/MIN",4);scmt("SCALAgg",5);scmt("N. GIORNI",6);scmt("N. DATI",7);scmt("TILT",8);scmt("AZIMUTH",9);label("NOME")

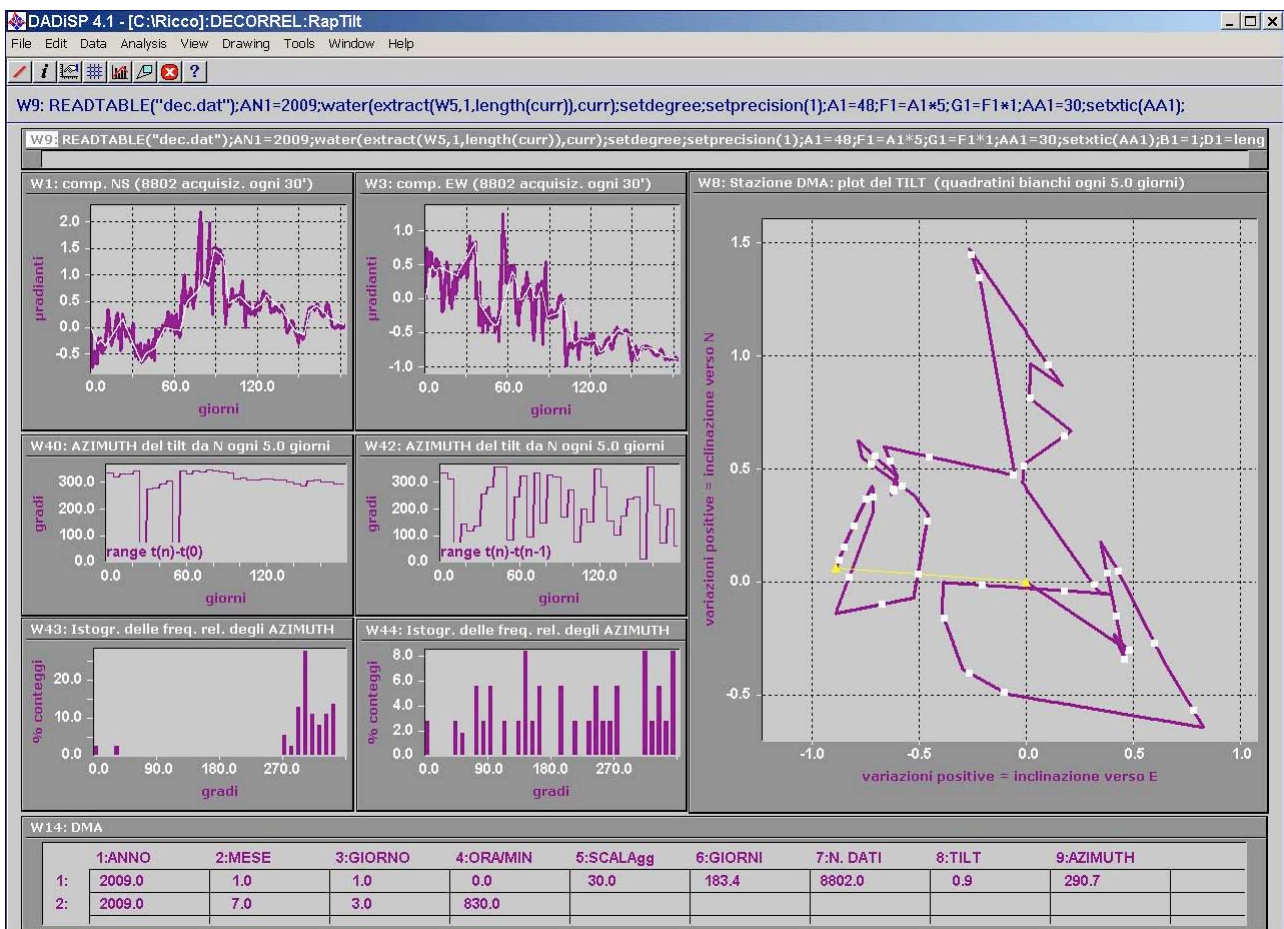


Figura 16 Worksheet per la rappresentazione bidimensionale dell'inclinazione stimata (vettore tilt) nel tempo. Sono riportate in grafico le singole componenti NS, EW, l'azimuth orario da N del vettore tilt e l'istogramma delle frequenze relative degli azimuth.

Bibliografia

AGI Applied Geomechanics Incorporated (1995). Tiltmeter temperature coefficients: source, definition and use to improve accuracy. Technical report n. B-95-1005, Rev. C.

AGI Applied Geomechanics Incorporated (2001). Model 798-A Handi-Logger User's Manual Telephone Telemetry Option. Manual n. B-01-1008.

Aquino I., Ricco C., Del Gaudio C., (2006). Rete tiltmetrica dell'area napoletana. Open File Report n.4 Osservatorio Vesuviano – INGV.

DADISP Data analysis and display software (1996). Function Reference Manual. DSP Development Corporation.

Ricco C., Del Gaudio C., Obrizzo F. & Luongo, G, (1991). Misurazioni delle variazioni delle inclinazioni del suolo ai Campi Flegrei. Atti 10° Convegno GNGTS, Roma, II:1003-1012.

Ricco C., Del Gaudio C., Quareni F., Marzocchi W., (2000). Spectral analysis of the clinometric data at the Phlegraean Fields from 1992 to 1998. *Annali di Geofisica*, 43, n.5, 939-950.

Ricco C., Aquino I., Del Gaudio C., (2003). Ground tilt monitoring at Phlegraean Fields (Italy): a methodological approach. *Annals of Geophysics*, 46:1297-1314.

Ricco C., Aquino I., Borgstrom S., Del Gaudio C., (2007). A study of tilt change recorded from July to October 2006 at the Phlegraean Fields (Naples, Italy). *Annals of Geophysics*, 50, 661-674.

Wyatt F.K., Morissey, S.T., Agnew D.C., (1988). Shallow Borehole Tilt: A Reprise. *Journal of Geophysical Research*, 93,9197-9201.

Allegato A

Costanti utilizzate:

A1	n. di acquisizioni in un giorno
A3	n. di giorni in un anno
A4	anno in corso
A5	n. di giorni del mese di Febbraio
AA1	intervallo di tratteggio sull'asse X dei tempi
B1	punto della serie temporale da cui inizia l'estrazione di un intervallo
CON	lunghezza della <i>boxcar</i> per il calcolo della convoluzione
D1	lunghezza dell'intervallo estratto
E1	marginale da applicare sull'asse Y per la visualizzazione dell'intero segnale
EW	fattore di scala (SF_{cal}) in $\mu\text{rad}/\text{mV}$ per la componente X
F1	n. di acquisizioni su cui si calcola la media
G1	moltiplicatore di F1
KS	1 ^a costante strumentale del sensore (K_s)
KZ	2 ^a costante strumentale del sensore (K_z)
L1	minima distanza tra i <i>flags</i> (stremanti del segnale filtrato)
LEN1	numero di valori nulli aggiunti alle estremità dei segnali prima di effettuare la convoluzione
LIM	periodo di tempo minimo in cui si verifica assenza di segnale oltre il quale non viene applicato l'algoritmo di ricerca dei massimi e minimi
LIM1	$n+1$ -esima armonica della Psd che definisce il limite inferiore della banda a lungo periodo (circa 32 giorni su registrazioni maggiori di 2 mesi)
LIM2	$n+1$ -esima armonica della Psd che definisce il limite superiore della banda a lungo periodo (circa 10 giorni su registrazioni maggiori di 2 mesi)
LIM3	$n+1$ -esima armonica della Psd che definisce il limite superiore della intera banda investigata (circa 11 ore)
NS	fattore di scala (SF_{cal}) $\mu\text{rad}/\text{mV}$ per la componente Y
O1	ordine del polinomio di regressione
O4	p -esima sequenza di valori di temperatura utilizzata per la regressione polinomiale
ORD	ordine del polinomio di regressione usato per la rimozione del <i>trend</i> da un segnale
ORIZ1	marginale da applicare sull'asse X per la centratura del tilt bidimensionale sugli assi coordinati
S1	n. di σ (generalmente 2) considerate nella distribuzione normale oltre le quali i valori di <i>es</i> non sono accettati
SIGN	segno della correlazione tra segnale tiltmetrico e termico
T1	intervallo di tratteggio sugli assi coordinati per la rappresentazione bidimensionale del tilt
TCAL	temperatura di calibrazione del sensore tiltmetrico
TE	fattore di scala della temperatura $^{\circ}\text{C}/\text{mV}$
TEMP1	max valore ammesso per la variazione termica
TILT1	max valore ammesso per la variazione tiltmetrica
VERT1	marginale da applicare sull'asse Y per la centratura del tilt bidimensionale sugli assi coordinati

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Laboratorio Grafica e Immagini | INGV Roma

© 2009 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia