



Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale
dell'Università di Pavia



Rapporto del gruppo WKP2

Ricerca effettuata nell'ambito del progetto
"RICLIC - WARM"

Workpackage 2:

Prof. Ing. Luigi Natale
Prof. Ing. Mario Fugazza
Ing. Enrico Raiteri
Ing. Nathabandu Kottegoda
Ing. Gabriele Bria

Struttura lavoro:

Obiettivo (WKP2): Definire i comportamenti ottimali nella gestione della risorsa idrica all'interno della Regione Lombardia:

- Modello operativo :
 - simulazione deflussi superficiali
- Gestione prelievi e ripartizione della risorsa idrica:
 - utilizzo ottimale della risorsa
 - salvaguardia qualità dell'ambiente fluviale

Attività del gruppo:

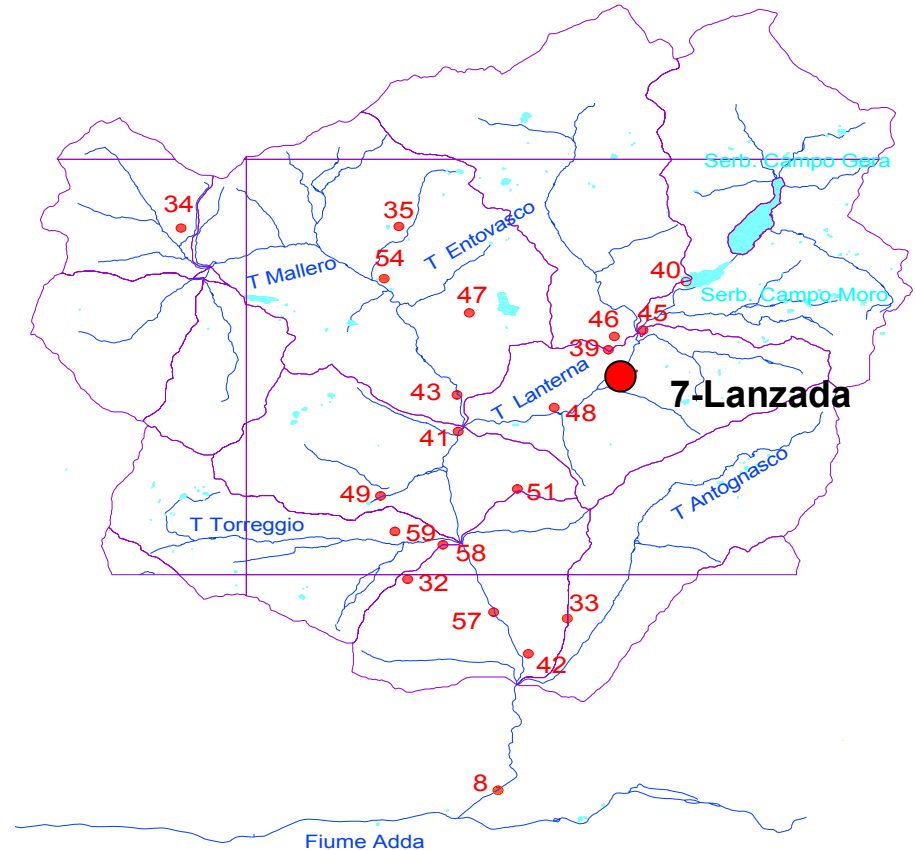
- **Collaborazione con i WKPs partecipanti al progetto: archivio dati comune**
- **Studio Bacino della Valmalenco:**
 - Raccolta ed archiviazione dati idrologici (pioggia, altezza manto nevoso, temperatura, deflusso)
 - Ricostruzione dati pluviometrici mancanti: correlazione tra stazioni limitrofe (analisi ietogrammi di pioggia)
 - Dipendenza delle principali grandezze idrologiche dalla quota assoluta
 - Determinazione delle caratteristiche morfometriche di maggiore interesse
 - F.F.T. (Fast Fourier Trasform) di serie temporali per i dati di temperatura media mensile e di pioggia mensile
 - Verifica applicabilità modelli esistenti trasformazione afflussi-deflussi (HEC-HMS, SRM, UEB)

Il bacino della Valmalenco

Base dati di misure idrologiche:

- Stazioni automatiche (fonte A.R.P.A.)
- Dati da studi precedenti (UNIPV)

N	Stazione	[m s.l.m.]	Pluviometrie	Termometrie	Nivometrie
			Valmalenco		
7	Lanzada	930	1913-2001	1989-2001	
8	Sondrio	300	1913-1913		
32	Alla Braccia	1650	1989-2001	1989-2001	
33	Alpe Costa	1672	1989-2001	1989-2002	1989-2001
34	Alpe Oro	2049	1989-2001		1990-2001
35	Alpe Entova	1915	1989-2001	1989-2002	
39	Campo Franscia	1525	1989-2001	1989-1999	
40	Campo Moro	1570	1968-2002	1986-2002	1990-2001
41	Chiesa	910	1987-2001		
42	Cucchi	66	1989-1999	1989-1999	1989-1998
43	Curlo	1030	1989-2001		
45	Franscia	1499	1987-2001		
46	Franscia Chiudee	1650	1989-2001		
47	Funivia Bernina	2014	1989-2001	1989-2001	1990-2001
48	Ganda di Lanzada	990	1989-2001	1989-2001	
49	Laghi di Chiesa	1596	1989-2001	1989-2001	1990-2001
51	Piazzo Cavalli	1719	1989-2001	1989-2001	1990-2001
54	S. Giuseppe	1428	1987-2001		
57	Spriana	645	1989-2001		
58	Torre S. Maria	750	1989-2001	1989-2001	
59	Val Torreggio	1283	1999-2001	1989-2001	1999-2001



Lanzada (983 m s.l.m.):

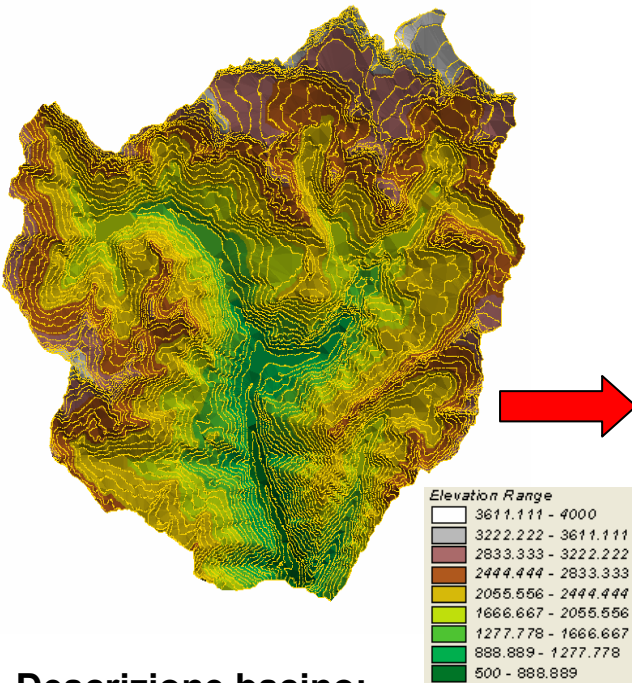
Coefficiente di correlazione (dati medi mensili):
$$Correl(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

- Serie dati non disponibili
- Coeff. Correlazione dati di pioggia
- Coeff. Correlazione dati di temperatura

Stazione	59	58	57	54	51	49	48	47	46	45	43	42	41	40	39	35	34	33	32	8	7
7	0.20	0.20	0.89	0.87	0.87	0.72	0.66	0.86	0.79	0.82	0.83	0.84	0.84	0.77	0.83	0.82	0.41	0.76	0.68	0.80	1.00
7	1.00	0.96			0.97	0.93	0.97	0.98				0.97		0.98	0.97	0.97		0.97	0.70		1.00

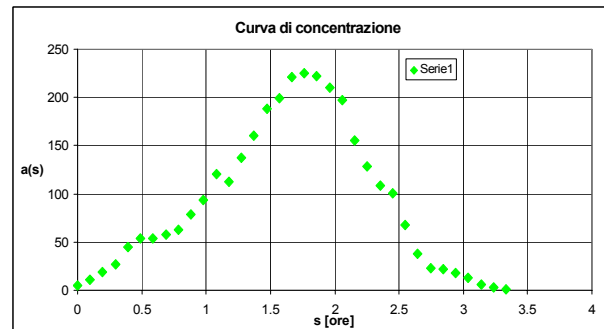
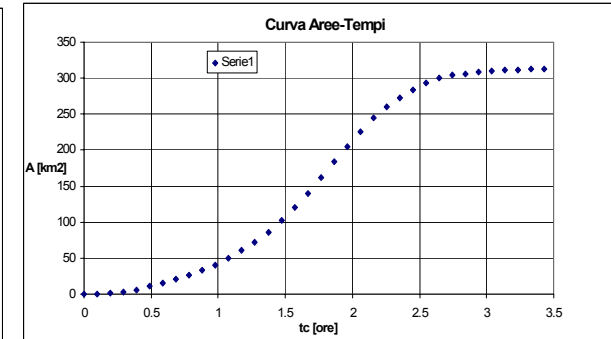
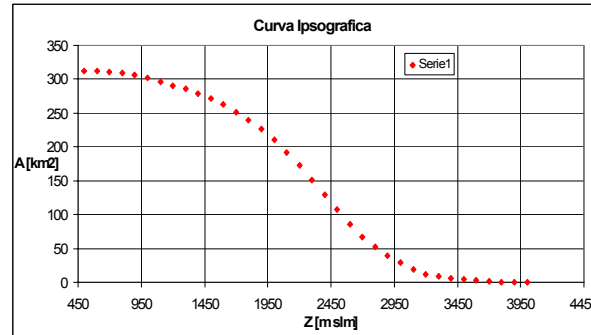
Il bacino della valmalenco

Caratteristiche morfometriche del bacino → parametri necessari per l'utilizzo del modello di calcolo



Descrizione bacino:

- Area bacino=315 km²
- Area ghiacciai (Scerscen, Fellaria, Disgrazia) = 52 km²
- Torrente Mallero: L=29 km, b_m=18 m, i_m=0.079
- Torrente Lanterna: L=13 km b_m=12 m, i_m=0.12
- Torrente Antognasco: L=13.2 km, b_m=4 m, i_m=0.21
- Torrente Torreggio: L=8.6 km b_m=15 m, i_m=0.20
- Territorio: 50% area boschi
25% area pascoli
15% area urbanizzata
5% area coltivata



Ipotesi curva di concentrazione del Bacino:

- tc proporzionale alla distanza L
- L proporzionale alla quota

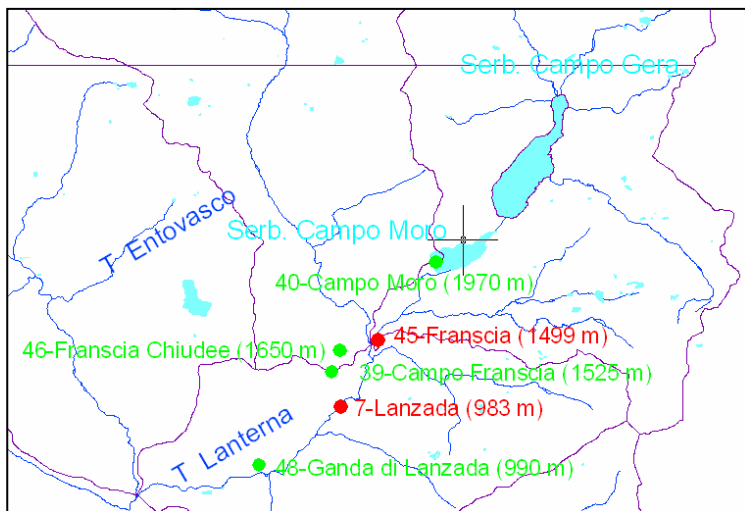
Stima del tempo di corrivazione tc:

$$tc = (4 \cdot \sqrt{A + 1.5 \cdot L}) / (0.8 \cdot \sqrt{Z_m}) \quad \text{Giandotti}$$

Dove:

- tc tempo di corrivazione [ore]
- A area bacino [km²]
- L lunghezza asta principale [km]
- Z_m altezza media del bacino [m]

Il Bacino della Valmalenco



Ricostruzione giornaliera dati pluviometrici mancanti
(analisi ietogrammi di pioggia tra stazioni limitrofe)

Stazione di Lanzada (983 m s.l.m.):

- Campo Francia (39) e Ganda di Lanzada (48) presentano gli stessi “buchi”
- Analisi Coefficiente di Correlazione
- Analisi ietogrammi di pioggia (rapporto medio mensile):

Mese di Aprile $K_{apr}=0.22$

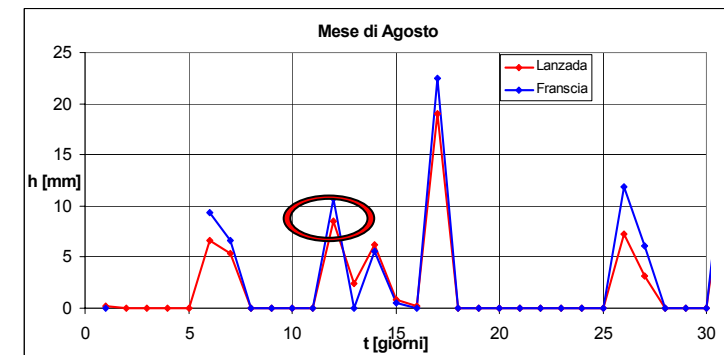
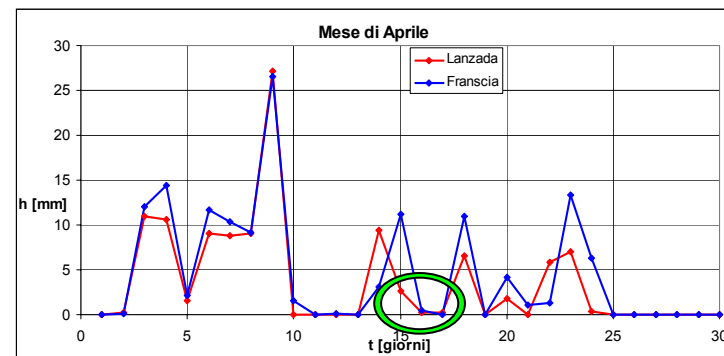
Mese di Agosto $K_{ago}=8.49$

Stazione di Lanzada anno 1990 h pioggia giornaliera [mm]

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
0	0	0	0	0	0	9	0.2	0.2	0.8	12.4	0
0	1.8	0	0.2	0	0.4	9.4	0	0	0.2	0.2	0
0	0	0	11	0	0	14.6	0	0	0	5.2	0
0	0	0	10.6	0	5.2	0	0	1.8	34	5.4	0
0	0	0	1.6	0	26.4	1.4	0	0.2	0.2	0	0
0	0	0	9	1.8	19	0.4	6.6	0	0	0.6	0.2
0	0	0	8.8	0	14.4	0	5.4	7	7.4	0.2	0.6
0	0	0	9	0	17.6	0	0	0	0.2	0	0
0	0	2.8	27.2	0	3.8	0	0	0	0	0	25.8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2.8	0	0	0.2	9	0	8.5	0	14	0	0
0	0	2	0	0	6.2	0	2.4	0	1	0	0
0	7	0	9.4	0	0.6	0	6.2	0	0	0	0
0	0	0	2.6	0.2	0.2	0	0.8	1.6	0	0	0.4
0	0	0	0.2	0	0	0	0.2	0	5	0	0
0	0	0	0.2	0	0	0	19	0.2	10.4	0	0
0	0	0	6.6	1.8	3	0	0	0.2	14.4	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0
0	0	0	1.8	8.4	20.2	0	0	0	0	2	0
0	0	0	0	1.4	14.8	0	0	0	0	27	0
0	0	0	5.8	0.6	1.8	0	0	0	1	58.2	0
0	0	0.2	7	1.2	1.6	0	0	21.4	0.2	4	0
0	0	0	0.4	36.8	0	0	0	10.2	0	0.4	0
0	0	0	0	4.2	0	0	0	0	4	37.8	0.2
4.6	0	0	0	0	0	3.6	7.2	0	7	1.8	1
0	5.8	0	0	6.6	7.2	0.4	3.2	0	13.8	0	1.4
13.8	0	1.8	0	0	10.8	0	0	0	2	0	0
4.2	0	0	0	0	4.6	0	0	0	16.8	0	0
2.2	0	0	0	0.2	6.8	0	0.6	1.4	0	0	0
0	0	0	0	0	11.2	15	0	7.4	0	0	0

Coeff. di correlazione mensile:

Stazione	46	45	40
7	0.79	0.82	0.77



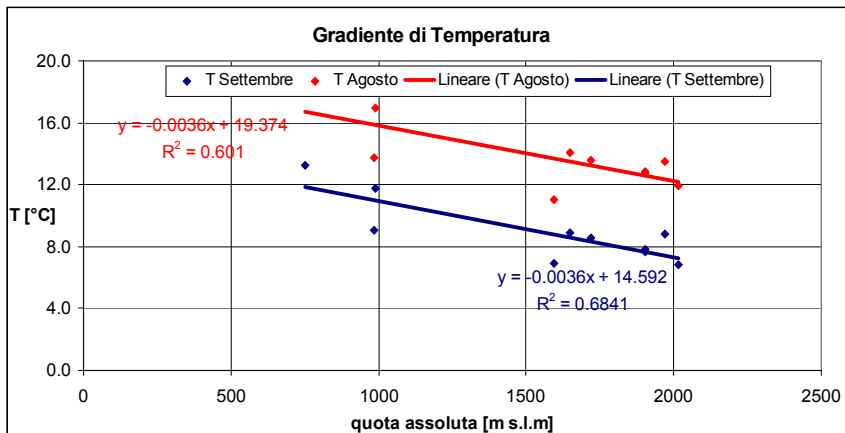
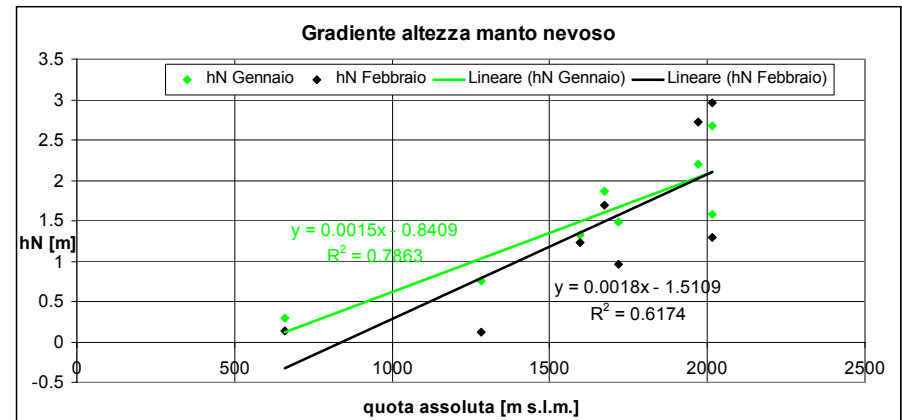
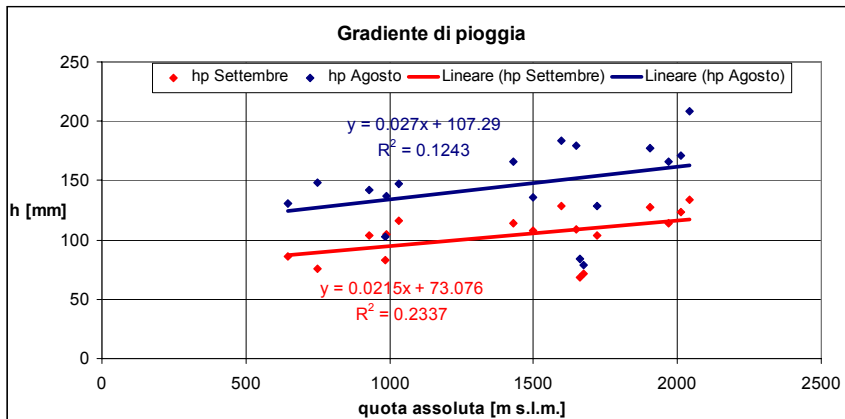
Il Bacino della Valmalenco

Studio della dipendenza delle grandezze idrologiche di interesse dalla quota assoluta [m s.l.m.]:

- Altezza di pioggia h [mm]
- Temperatura T [°C]
- Altezza del manto nevoso dal suolo h_N [m]

Scopo: - **Determinazione dello zero termico** → per distinguere la precipitazione nevosa dalla pioggia
→ per definire l'inizio della fase di scioglimento del manto nevoso

- **Studio del fenomeno dell'evapotraspirazione**



Gradienti determinati mediante i valori medi mensili:

- **Gradiente di pioggia** (17 stazioni serie dati dal 1990-2001)
- **Gradiente di temperatura** (10 stazioni serie dati 1989-2001)
- **Gradiente altezza del manto nevoso**
(8 stazioni serie dati dal 1990-1999)

Analisi dei dati: la F.F.T. (Fast Fourier Transform)

Scopo: individuare in una sequenza temporale le componenti che la costituiscono: annuali, pluriannuali casuali. L'analisi è finalizzata all'ottimizzazione dell'uso dei dati disponibili anche per la realizzazione di un modello di generazione delle piogge e delle temperature utilizzando ed estendendo serie brevi di osservazioni.

Rappresentazione di una funzione periodica $f(x)$ di periodo T sotto forma di **somme di armoniche** approssimando la funzione mediante polinomi trigonometrici:

$$f(x) = \sum_{n=1}^N (a_n \cos(\omega t) + b_n \sin(\omega t)) \quad \text{Frequenza: } \omega = (2\pi n)/T \quad \text{Ampiezza: } a_n = (2/T) \int_0^T f(x) \cos(\omega t) dt$$
$$b_n = (2/T) \int_0^T f(x) \sin(\omega t) dt$$

Analisi:

- Dati mensili di pioggia per 21 stazioni con serie dati dal 1990 al 1998
- Dati medi mensili di temperatura per 13 stazioni con serie dati dal 1990 al 1998

Componenti:

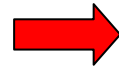
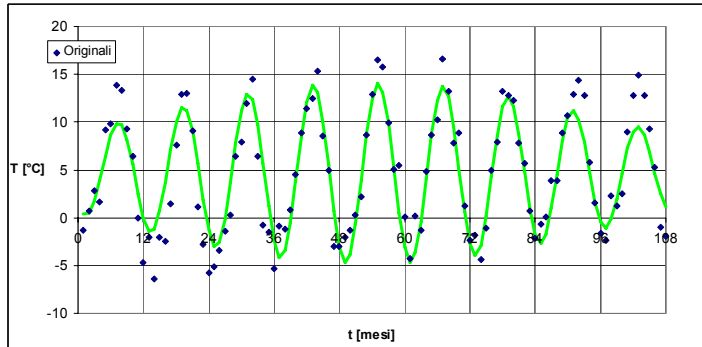
Il segnale originario è stato scomposto in tre differenti componenti:

- **Annuale** → componente periodica (**$T=12$ mesi**) del segnale originario (legata alla stagionalità degli eventi climatici)
- **Pluriannuale** → componenti del segnale con **$T > 12$ mesi** (legate all'ubicazione del bacino)
- **Casuale o sub-annuale** → componente *casuale* (**$T < 12$ mesi**)

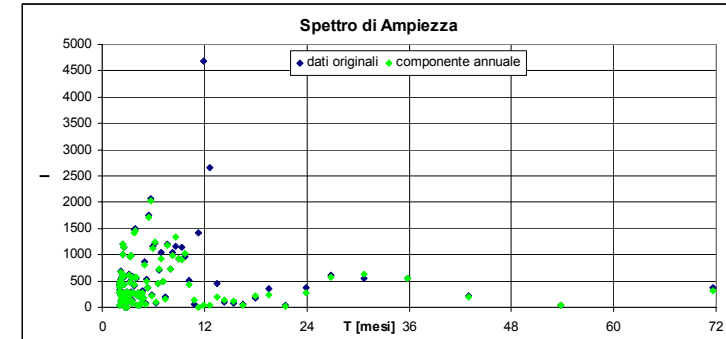
F.F.T.: Fast Fourier Trasform

Stazione di Lanza da Pluriometrie (dati mensili di pioggia da 1990 al 1998)

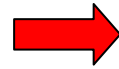
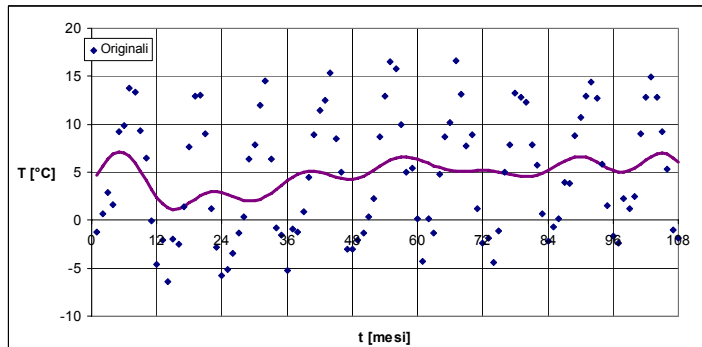
- Componente stagionale



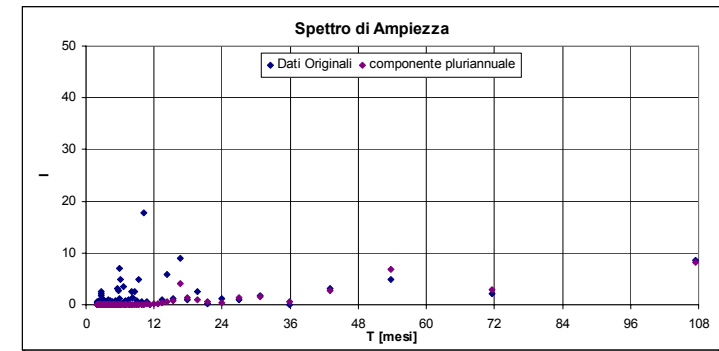
T=12 mesi



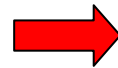
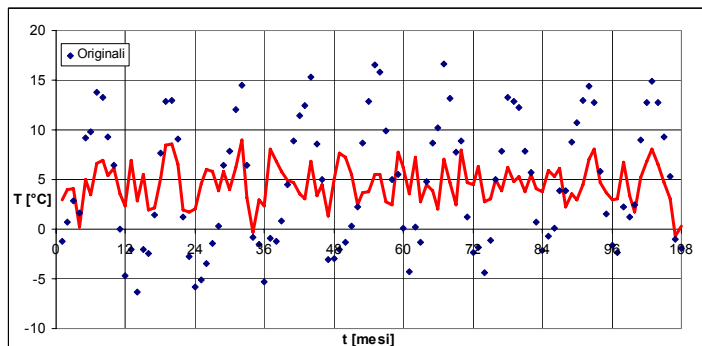
- Componente pluriannuale



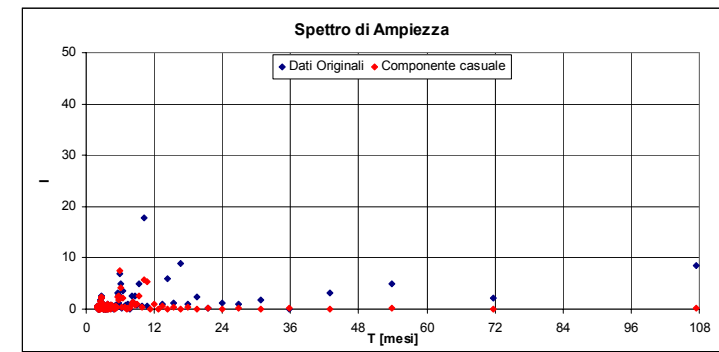
T>12 mesi



- Componente casuale



T<12 mesi



Analisi dati: F.F.T

Analisi dei dati di pioggia e di temperatura:

- Normalizzazione dei segnali: componente stagionale, componente pluriannuale
- Confronto tra i segnali ottenuti per tutte le stazioni
- Determinazione di un segnale medio per la componente stagionale e pluriannuale

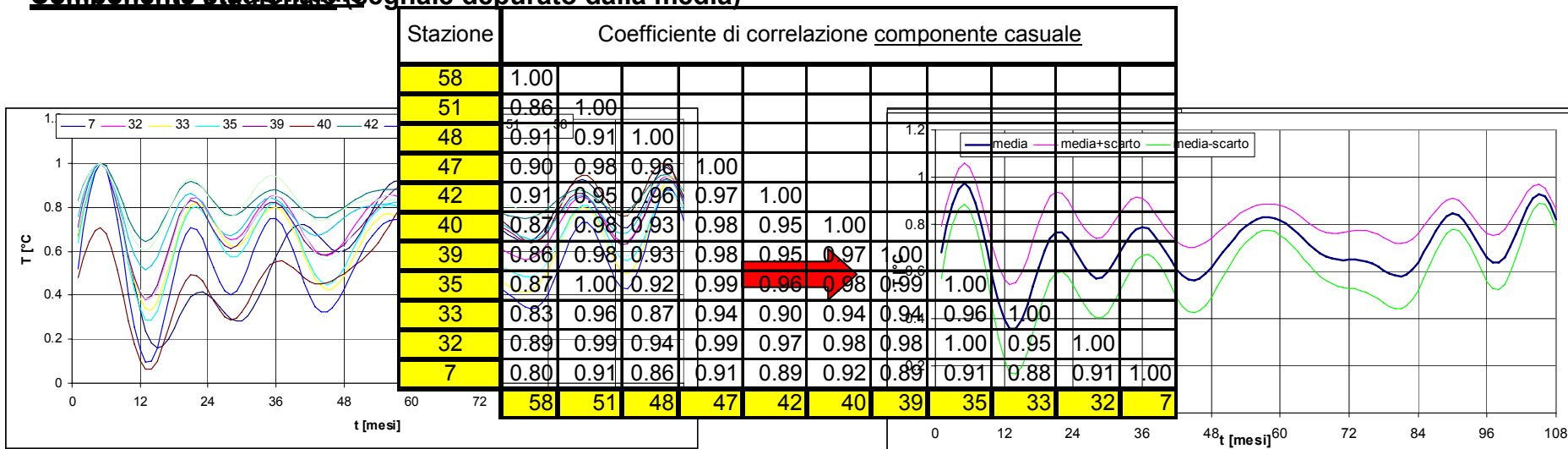
→ **Possibilità di generare una serie “lunga” di dati**

- Calcolo del coefficiente di correlazione per la componente casuale

→ **Confronto tra le serie da utilizzare nel modello numerico**

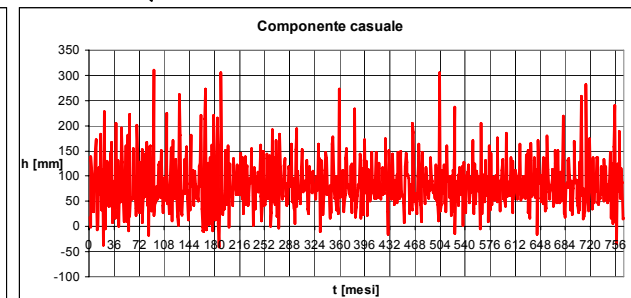
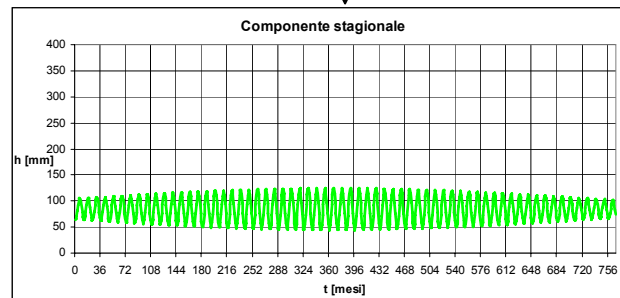
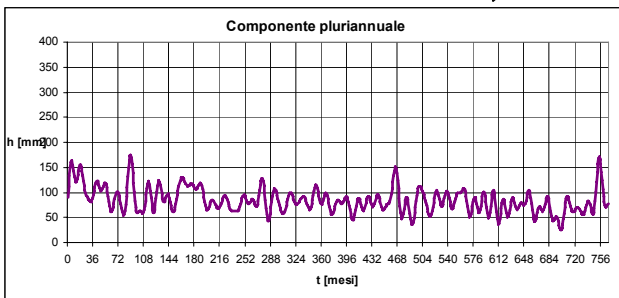
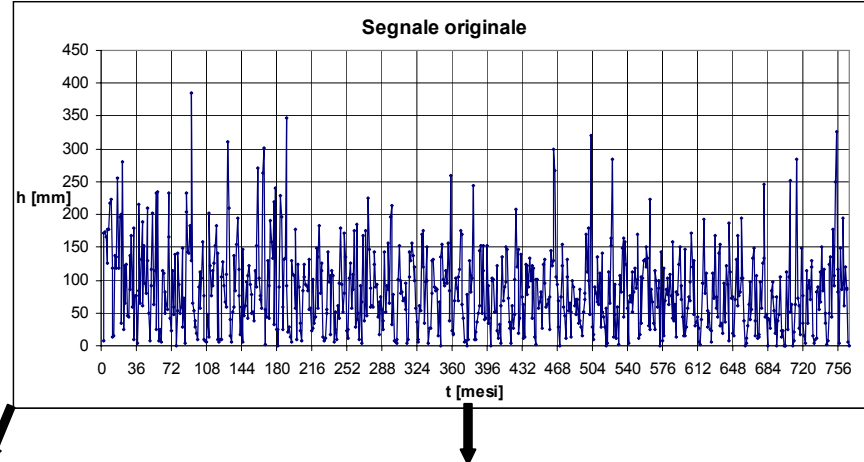
Esempio: Analisi dati medi mensili di temperatura dal 1990-1998 (11 stazioni)

Componente stagionale (segnale depurato dalla media)



La serie storica di Lanzada

Dati pluviometrici mensili, osservazioni: 1913-2001



Possibilità di generare serie di osservazioni “lunghe”

- Considerando la componente stagionale di Lanzada (eventualmente depurata dalla media)
- Aggiungendo alla componente stagionale la componente pluriannuale e casuale di ogni singola stazione (eventualmente con la media della stazione) oppure considerando un segnale medio caratteristico di tutto il bacino

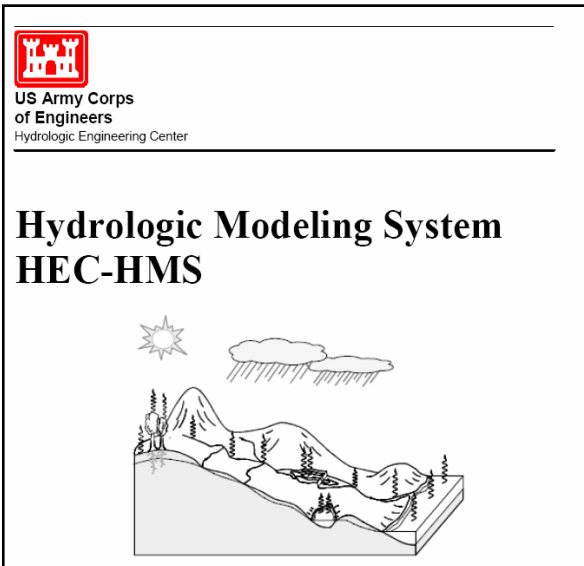
Il modello di trasformazione afflussi-deflussi

Sono stati presi in considerazione i seguenti modelli:

HEC-HMS Hydrologic Eng. Center - Hydrologic Modeling System (US Army Corps of Engineers)

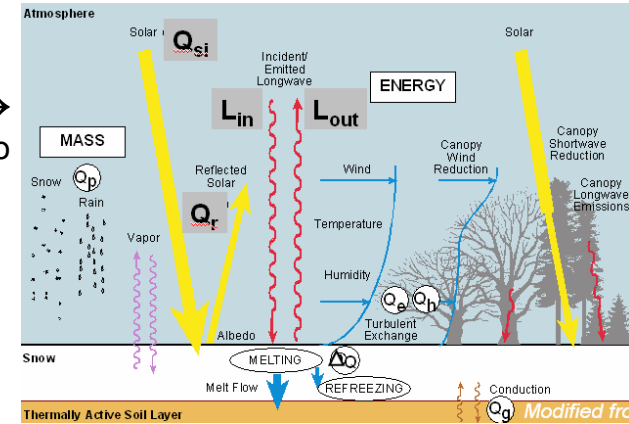
SRM Snowmelt Runoff Model (Martinec, Rango & Roberts)

UEB Utah Energy Balance Snow Accumulation and Melt Model (Utah Water Research Laboratory
– Utah State University)



UEB: - Basato sul calcolo del bilancio energetico

- Bilancio energetico (calore scioglimento manto nevoso):
 radiazione solare netta ($Q_{si} - Q_R$)
 radiazione lunga frequenza ($L_{in} - L_{out}$)
 trasporto di calore sulla sup Q_h
 calore latente di condensazione Q_e
 flusso calore dal terreno Q_g
 calore portato dalla precipitazione Q_p



SRM

$$Q_{n+1} = [c_{sn} \cdot a_n (T_n + \Delta T_n) S_n + c_{rn} P_n] \frac{A \cdot 10000}{86400} (1 - k_n)^n + Q_n k_n$$

where

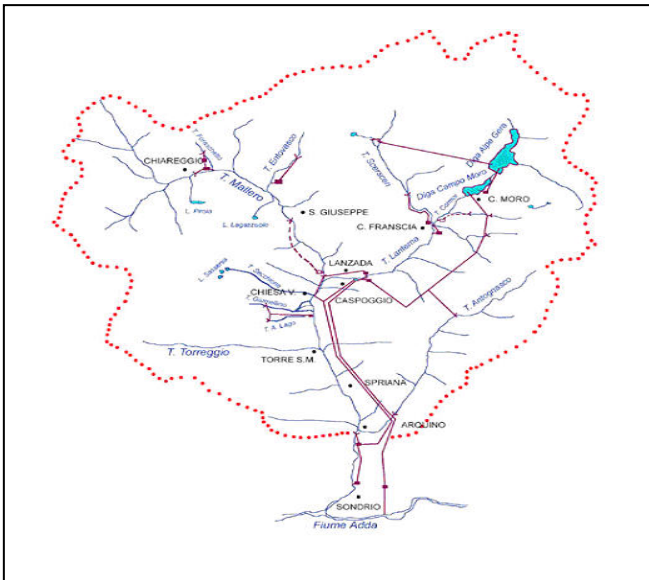
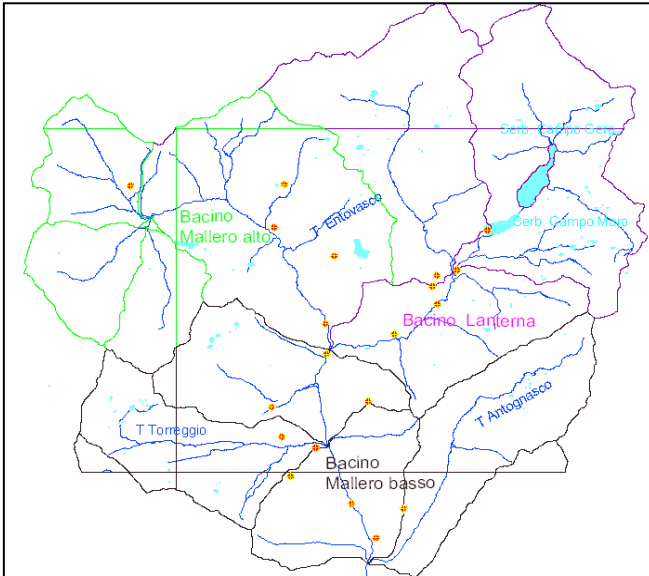
- Q = average daily discharge [$m^3 s^{-1}$]
- c = runoff coefficient expressing the losses as a ratio (runoff/precipitation), with c_s referring to snowmelt and c_r to rain
- a = degree-day factor [$cm \cdot ^\circ C^{-1} \cdot d^{-1}$] indicating the snowmelt depth resulting from 1 degree-day
- T = number of degree-days [$^\circ C \cdot d$]
- ΔT = the adjustment by temperature lapse rate when extrapolating the temperature from the station to the average hypsometric elevation of the basin or zone [$^\circ C \cdot d$]
- S = ratio of the snow covered area to the total area
- P = precipitation contributing to runoff [cm]. A preselected threshold temperature, T_{crit} , determines whether this contribution is rainfall and immediate.
- A = area of the basin or zone [km^2]
- k = recession coefficient indicating the decline of discharge in a period without snowmelt or rainfall:
 $k = \frac{Q_{m+1}}{Q_m}$ ($m, m+1$ are the sequence of days during a true recession flow period).
- n = sequence of days during the discharge computation period. Eq. (1) is written for a time lag between the daily temperature cycle and the resulting discharge cycle of 18 hours. In this case, the number of degree-days measured on the n th day corresponds to the discharge on the $n+1$ day. Various lag times can be introduced by a subroutine.

$\frac{10000}{86400}$ = conversion from [$cm \cdot km^2 \cdot d^{-1}$] to [$m^3 s^{-1}$]

HEC-HMS: Possibilità di simulare trasformazione afflussi-deflussi sui lunghi periodi:

- Modello del bacino (schema reticolo fluviale)
- Perdite idrologiche (costante, SCS, esponenziale...)
- Evapotraspirazione (Blaney e Criddle)
- Scioglimento manto nevoso (metodo grado-giorno)
- Trasformazione afflussi-deflussi (modello di Clark, corrivazione, Nash)

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi



HEC-HMS (US Army Corps of Engineers):

- Modello bacino: (Area competenza stazioni, schema corsi d'acqua principali)
- Modello meteorologico: (ietogrammi di pioggia per ogni stazione, evapotraspirazione, scioglimento del manto nevoso)
- Stima parametri (perdite idrologiche, modello di simulazione trasformazione afflussi-deflussi, simulazione fenomeni fisici)

Analisi modello:

- Suddivisione del bacino in tre sottobacini
- Centrali idroelettriche Campo Moro, Lanzada, Sondrio
 - volumi invasati nei serbatoi
 - portate turbinate
 - **volumi d'acqua affluiti a ciascun impianto provenienti dalle diverse parti del territorio**
- Taratura del modello di calcolo
- Simulazione trasformazione afflussi-deflussi

Conclusioni

- L'attività è stata condotta principalmente sull'analisi dei dati idrologici (pioggia, altezza manto nevoso, temperatura) e sulle caratteristiche morfometriche del bacino della Valmalenco.
- Metodologia di acquisizione da immagini satellitari (Dip. di Elettronica dell'Università di Pavia, sezione Telerilevamento) dell'andamento della copertura nevosa nell'arco dell'anno su tutto il bacino della Lombardia.
 - Analisi dettagliata del fenomeno fisico della formazione e propagazione del deflusso
 - Messa a punto di un modello di simulazione in continua della trasformazione afflussi-deflussi sui lunghi periodi
- Il modello viene tarato e verificato sul bacino della Valmalenco.
 - Il modello di simulazione afflussi-deflussi verrà esteso a tutto il territorio della Lombardia
 - Utilizzo specifico del modello in sinergia con i contributi forniti dagli altri gruppi di ricerca