Regional Impact of Climatic Change in Lombardy Water Resources: Modelling and applications

(RICLIC-WARM)

REPORT TECNICO PRIMO ANNO DI ATTIVITA'

Ottobre 2006

Responsabile scientifico: Prof. Angelo Cavallin

Coordinatore del progetto: Prof. Valter Maggi

Istituzioni partecipanti: ARPA Lombardia
Università degli Studi di Milano-Bicocca
Università degli Studi di Milano
Università degli Studi di Pavia

Premessa

Il progetto Regional Impact of Climatic Change in Lombardy Water Resources: Modelling and applications (RICLIC-WARM) riguarda l'analisi ambientale degli effetti sinergici nel territorio lombardo dei processi naturali e antropici, legati ai cambiamenti climatici sulle risorse idriche sotterranee.

Il progetto ha avuto la stipula definitiva nel settembre 2005 con la sottoscrizione della relativa convenzione. Successivamente sono state attivate le applicazioni relative ai rapporti diretti tra Fondazione Lombardia per l'Ambiente con l'Università degli Studi di Milano e con l'Università degli Studi di Pavia, e con la Università degli studi di Milano, nonché quella tra ARPA e Università di Milano-Bicocca,.

Le diverse attivazioni hanno avuto tempi di avvio differenti e di conseguenza anche le attività formali delle unità operative all'interno del progetto. Per quanto riguarda l'attività scientifica, invece, questa non ha subito alcuna differenziazione, in quanto tutte le unità hanno lavorato contemporaneamente fin dall'avvio del progetto. Lo dimostrano anche le 5 riunioni tecniche generali e le 5 riunioni tecniche più specifiche, realizzate tra settembre 2005 e settembre 2006, alle quali tutte le unità hanno partecipato, come si evince dal dettagliato elenco riportato nel fascicolo relativo al riassunto del primo anno di attività.

Nel primo anno di lavoro l'attività è stata concentrata sulla fase di raccolta dati, in stretta collaborazione tra le Unità Operative Idrografia, Acque sotterranee, Sistemi Informativi e Meteorologia dell'ARPA e il Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio dell'Università di Milano-Bicocca, il Dipartimento di Produzione Vegetale dell'Università di Milano e il Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale dell'Università di Pavia.

Questa fase è stata molto più impegnativa del previsto e, nonostante vi siano coinvolte circa 10 persone, è tuttora in atto e interesserà ancora qualche mese di lavoro. Di conseguenza non vengono qui presentati significativi elementi di elaborazione a scala lombarda, tranne alcuni casi di taratura di modelli in aree campione, ma vengono evidenziate le varie fasi e le differenti problematicità di una lunga e dettagliata raccolta dati che porterà ad avere un significativo bagaglio informativo, utile per le successive fasi.

Si prevede che, nel secondo anno di attività, si svilupperà compiutamente la fase elaborativa, prodromo per quella finale, per raggiungere l'obiettivo del progetto: fornire una metodologia per la individuazione delle problematicità e criticità ambientali sul territorio lombardo connesse con gli effetti sulla risorsa idrica dei cambiamenti climatici avvenuti negli ultimi 50 anni, fornendo nel contempo proposte di strumenti decisionali di prevenzione e mitigazione.

Nell’ambito dell’attività di gestione e coordinamento del progetto è stata attivata la realizzazione e gestione di una banca dati dedicata strutturata presso il Dipartimento di Scienze dell’Ambiente e del Territorio di concerto sia con l’ARPA sia con le altre Università, con lo scopo di permettere una efficiente archiviazione e gestione dei dati raccolti consentendone una funzionale elaborazione ed estrazione. I dati da archiviare nella banca dati riguardano vari aspetti del ciclo idrogeologico, che verranno gestiti attraverso l’uso di sistemi informativi territoriali, dovendo considerare dati alfanumerici e dati di tipo geografico. La gestione di tale banca dati ha richiesto l’acquisizione di una tecnologia informatica con prestazioni elevate in velocità di processo e di memoria per consentire una ottimale gestione del dato.

INDICE GENERALE

Premessa……..1

WP1 – Gestione e controllo delle serie di dati meteo-climatici nell'area del Fiume Adda 3

1. Introduzione 6
2. Le caratteristiche dei datasets meteo-climatici 6
3. La distribuzione altimetrica delle stazioni 7
4. Le serie termo-pluvio-nivometriche disponibili 8
5. La consistenza delle serie meteo-climatiche 10
6. L'anagrafica delle stazioni meteo 11
7. L'archivio e la gestione delle serie meteo-climatiche 12
8. Introduzione alla studio climatico preliminare del bacino sub-lacuale dell'Adda 15
8.1. Il clima del bacino sub-lacuale 15
8.2. Le anomalie di temperatura nell'ultimo cinquantennio in Lombardia 22
8.3. Analisi di "eventi estremi" 24
9. Conclusioni 54
10. Appendice 55
11. Le attività correlate 71
12. Bibliografia 71
12.1. Libri consultati 71
12.2. Siti internet consultati 72

WP2 – Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso 73

1. Introduzione 75
2. Individuazione delle variazioni climatiche con l'analisi statistica di lunghe serie storiche 76
3. Caratterizzazione della copertura nevosa nel bacino dell'Adda mediante misure satellitari 78
3.1. Scopo del lavoro 78
3.2. Metodologia 78
3.3. Il sensore AVHRR 80
3.4. Stato di sviluppo della catena di elaborazione 84
3.5. Esempi di risultati 85
4. Modellazione della formazione e propagazione dei deflussi ……..89
4.1. Base dati di misure ideologiche per il bacino della Valmalenco 89
4.2. Dipendenza delle principali grandezze ideologiche della quota 93

4.3. La correlazione tra le stazioni di misura 95
4.4. La F.F.T. di serie temporali 98
4.5. Caratteristiche morfometriche del bacino 110
4.6. Afflussi meteorici del bacino 114
4.7. La trasformazione afflussi-deflussi 119
4.8. Applicazione al bacino della Valmalenco 124
5. Riferimenti bibliografici 129

WP3 - Acque sotterranee: variazione di bilanci 131

1. Introduzione 133
2. Attività svolta a settembre 2006 134
2.1. Dati relativi ai pozzi 135
2.2. Dati piezometrici 149
2.3. Dati idrometrici 154
2.4. Dati pluviometrici automatici 163
2.5. Dati di portata 164
3. Attività correlate 165
4. Collaborazione WP1/WP3 165
5. Bibliografia 167

WP4 - Acque superficiali: indicatori di qualità 169

1. Introduzione 171
2. Materiali e metodi 171
2.1. Sito di campionamento 171
2.2. Estrazione dei campioni 173
2.3. Purificazione ed analisi dei campioni 173
3. Risultati 174
3.1. Acqua 174
3.2. Macroinvertebrati 176
4. Conclusioni 177
5. Riferimenti bibliografici 178

WP5 - Scenari a scala di agro-ecosistema 179

1. Simulazione dei consumi idrici e della produzione delle colture agrarie a livello territoriale lombardo 181
2. Descrizione dell'algoritmo adottato 181
3. Validazione del modello Sim_PP per la coltura del mais 183

3.1. Validazione del modello Sim_PP per la coltura del mais commento ai dati……183
3.2. Risultati dell'analisi di fitting 185

WP6 - Modelli per la gestione degli impatti del cambiamento climatico sull'agro-ecosistema 187

1. Simulazione dell'evapotraspirazione in ambito urbano 189
2. Presupposti teorici 189
3. Lisimetri a pesata e mini-lisimetri 189
4. Lisimetri del progetto Riclic 190
4.1. Stato dell'attuale attività 190
4.2. Descrizione dei siti 190
5. Schema progettuale 190
5.1. Schema progettuale Cornaredo 191
5.2. Atmometro 195
6. Risultati 197
7. Collaborazione al recupero di serie storiche 201
8. Allegato1 – Minilisimetro: prima ipotesi realizzativi 202
9. Allegato 2: report fotografico sulla realizzazione della stazione meteo-lisimetrica di Cornaredo 204
10. Bibliografia 211

WP9 – Valutazione dei risultati ed ottimizzazione del monitoraggio per la gestione delle risorse idriche (end user activity) 213

1. Introduzione 215
2. Contributi di ARPA Lombardia sui dati climatici e acque superficiali 215
2.1. Pioggia: 1135 anni forniti in formato digitale (37 stazioni) 216
2.2. Temperature: 317 anni forniti in formato digitale (20stazioni)..... 217
2.3. Livelli idrometrici: 104 anni forniti in formato digitale (15 stazioni).. 217
2.4. Portate: 389 anni forniti in formato digitale (7 stazioni)..... 218
2.5. Supporto alla validazione dei dati 218
3. Contributo di ARPA Lombardia sulle acque sotterranee 218
4. Prossimi passi 220

Gestione banca dati 221

1. Premessa 223

2. Hardware e software a supporto della banca dati del progetto RICLIC-WARM 223
2.1. Architettura hardware e software..... 223
2.2. La banca dati del progetto RICLIC-WARM: stato di avanzamento. 224
3. Problemi aperti..... 227
4. Attività previste per l'anno 2007..... 227

Considerazioni conclusive…..……..229

Rendiconto finanziario……...231

WP1 – Gestione e controllo delle serie di dati meteo-climatici nell'area del Fiume Adda

Responsabile: Prof. Valter Maggi – Dip. di Scienze dell'Ambiente e del Territorio, Università degli Studi di Milano - Bicocca

Collaboratore: Dott. Matteo Lacavalla – Dip. di. Scienze dell'Ambiente e del Territorio, Università degli Studi di Milano - Bicocca

INDICE

1. Introduzione. 5
2. Le caratteristiche dei datasets meteo-climatici. 5
3. La distribuzione altimetrica delle stazioni. 7
4. Le serie termo-pluvio-nivometriche disponibili. 8
5. La consistenza delle serie meteo-climatiche. 10
6. L'anagrafica delle stazioni meteo. 11
7. L'archivio e la gestione delle serie meteo-climatiche. 12
8. Introduzione allo studio climatico preliminare del bacino sub-lacuale dell'Adda 15
8.1. Il clima del bacino sub-lacuale. 15
8.2. Le anomalie di temperatura nell'ultimo cinquantennio in Lombardia. 22
8.3. Analisi di "eventi estremi". 24
8.3.1. Le ondate di gelo in Lombardia. 26
8.3.2. Le onde di calore. 30
8.3.3. I periodi siccitosi. 37
8.3.4. Gli eventi piovosi in Lombardia. 40
9. Conclusioni. 54
10. Appendice. 55
11. Le attività correlate 71
12. Bibliografia 71
12.1. Libri consultati 72
12.2. Siti internet consultati 73

1. Introduzione

La raccolta preliminare di dati termo-nivo-pluviometrici all'interno del Bacino dell'Adda risulta una delle attività fondamentali che il Wp1 ha svolto nell'ambito del progetto Riclic-Warm nel primo anno dell'attività di ricerca.
L'obiettivo del nostro gruppo di lavoro è quello di ottenere dati fruibili a livello modellistico e previsionale tali da permettere una valutazione sistematica degli impatti climatici sul territorio Lombardo. In particolare si mira al recupero, al controllo e alla validazione delle serie climatiche, prevalentemente di precipitazione e di temperatura, disponibili nell'area del Bacino "Idrografico" dell'Adda, con eventuale *ricostruzione* delle serie strumentali incomplete.
I dati raccolti saranno poi inseriti in una banca dati meteo-climatica costruita *ad hoc* e accessibile ai diversi Workpackage's e ai fornitori dei dati meteo-climatici.
L'attività è stata svolta in stretta collaborazione con l'Unità Operativa Idrografia - ARPA, il Dipartimento di Produzione Vegetale dell'Università di Milano e il Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale dell'Università di Pavia.
Si è inoltre effettuata una ricerca di serie di dati provenienti da altri Enti ed Istituzioni, che posseggono archivi di dati in formato cartaceo ed elettronico. In particolare si sono ricevuti dati in formato digitale dall'Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste – ERSAF (Dr. Tagliaferri, Dr. Verdelli) e dall'Istituto di Fisica Generale Applicata dell'Università di Milano (Prof. Maugeri, Dr. Pastorelli, Dr.Lentini).
Le serie di dati meteo-climatici prese in considerazione coprono circa un *cinquantennio* (1951-2006) e questo permette un buon compromesso tra la possibilità di avere una buona copertura spaziale, ma allo stesso tempo che prenda in esame l'aumento di temperatura a partire dalla fine degli anni '70.
Inoltre si sono recuperate serie più lunghe disponibili in formato digitale per evidenziare trend o ciclicità a frequenza minore.

2. Le caratteristiche dei datasets meteo-climatici

Si è valutato che per la costruzione di un dataset meteo-climatico la caratteristica fondamentale sia quella dell'omogeneità e della qualità dei dati.
Nel primo anno di attività si è stabilito di prendere in esame le reti meteorologiche che fossero maggiormente presenti sul territorio lombardo e le cui stazioni avessero serie il più possibile complete nel periodo in esame.
La Fig.1 evidenzia le reti meteo considerate: quella dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (ex-SIMN), la cui competenza è passata alle Arpa regionali, quella dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA) ed infine la rete dell'Aeronautica Militare (AM).
Le stazioni in esame sono 88, prevalentemente meccaniche o manuali; è previsto che nel secondo anno di attività vi sia una integrazione delle serie con i dati provenienti dalla rete automatica gestita da Arpa - Lombardia.

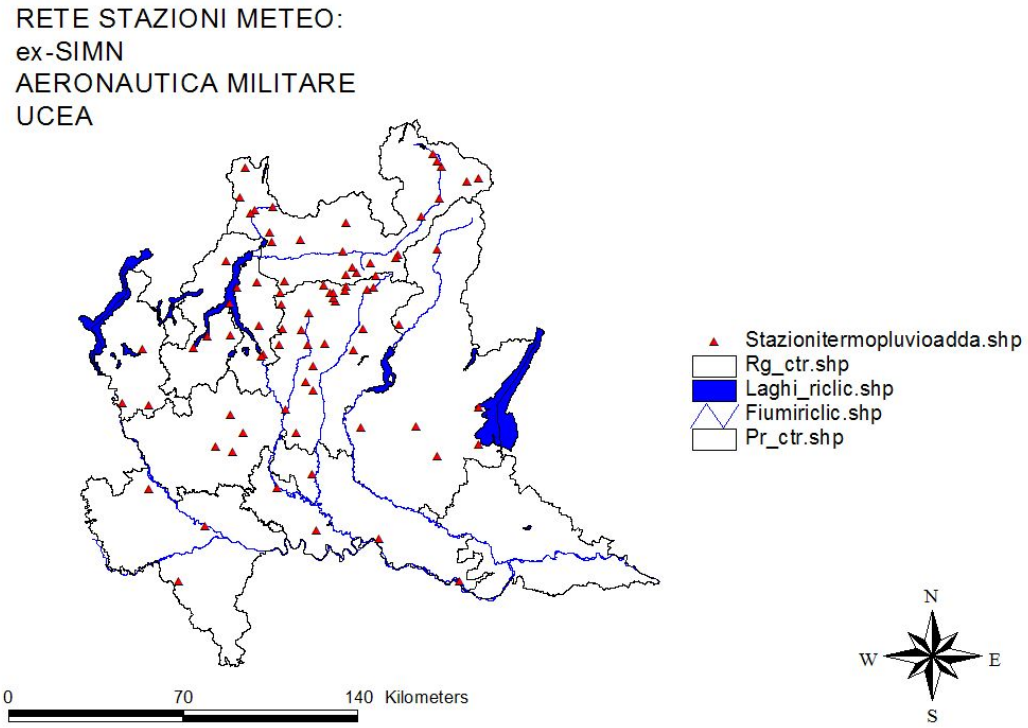


Fig.1: la rete e la posizione delle stazioni meteorologiche (meccaniche e manuali) in esame.

Il grafico in basso (Fig.2) mostra la distribuzione delle stazioni per ciascuna provincia lombarda; si osservi un numero maggiore di stazioni nelle province di Bergamo e Sondrio, dove vi sono le principali *catene montuose* e quindi sia necessaria una fittezza maggiore dei punti di misura.

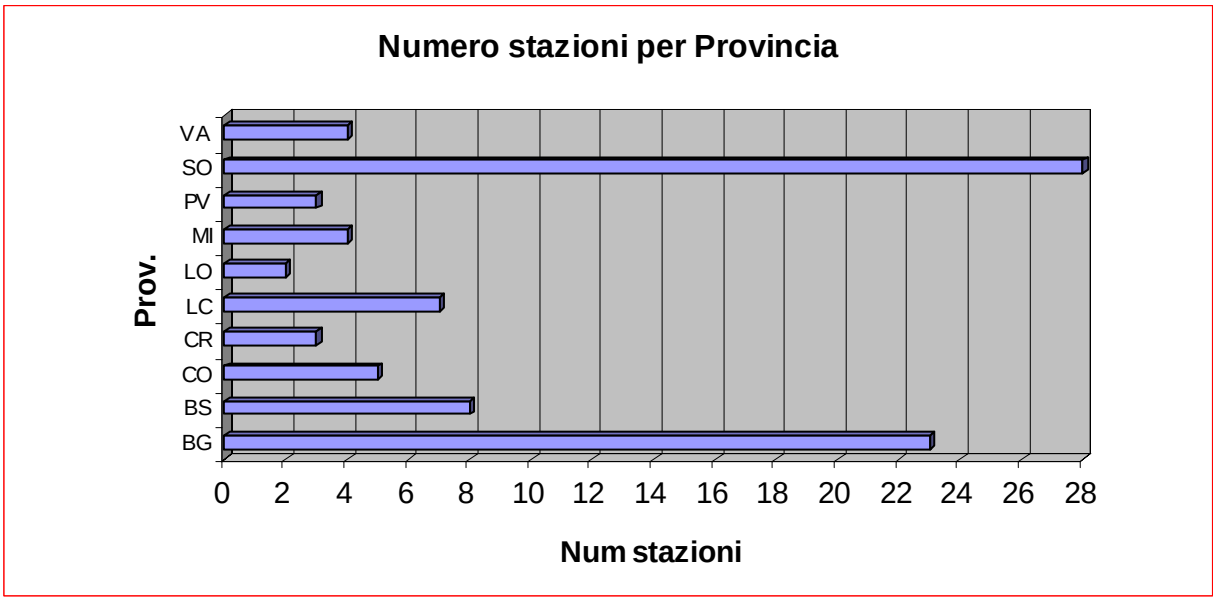


Fig.2: Numero di stazioni meccaniche o manuali termo-nivo-pluviometriche per provincia.

I dati meteo-climatici delle stazioni SIMN ricevuti in formato digitale sono per la maggior parte pubblicati sugli Annali Idrologici e hanno quindi subito un pre-processamento, un controllo e una validazione. Per i dati provenienti dalla rete dell'Aeronautica Militare e dell'UCEA si prevede un controllo di qualità, mentre per quelli digitalizzati a partire da Schede (Wp1-Wp2-Wp5/6) è in atto un'attività di controllo e una prevista validazione del dato in collaborazione con Arpa.
I dati scelti per la raccolta sono aggregati su base giornaliera secondo il criterio storicamente adottato dal Servizio Idrografico; si decide quindi che per il Progetto l'aggregazione sia giornaliera e abbia cadenza di registrazione come prevista da Annale: ore 9 - ore 9.
I dati archiviati sono quelli di precipitazione (RR), misurati da pluviometri manuali o meccanici (*pluviografi*) in mm, le misure di temperatura massima (Tx) e temperatura minima (Tn) provengono da termometri a mercurio "*a massima-minima*" o da *termografi* in°C, le temperatura medie (Td) sono state calcolate come: (Tx+Tn)/2, i dati nivometrici (NV) sono misurati in cm attraverso asta graduata posta a livello del terreno.

3. La distribuzione altimetrica delle stazioni

La mappa (Fig.3) mostra l'altimetria delle stazioni considerate; si osservi che la stazione posta alla quota maggiore è quella del Lago Inferno, 2332 m slm.

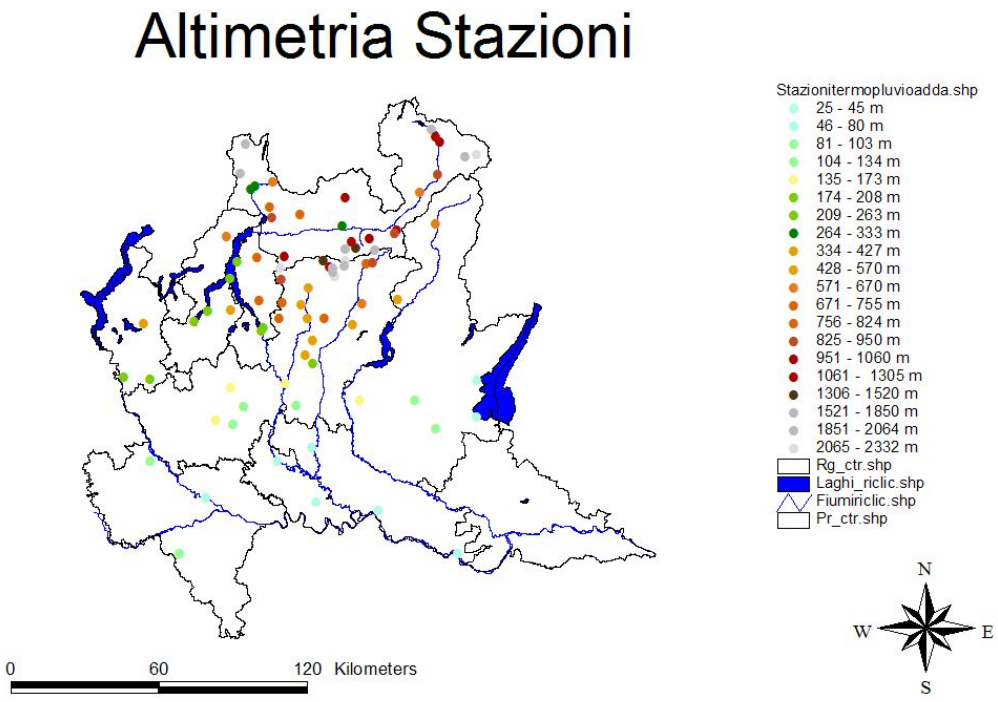


Fig.3: i diversi colori indicano le fasce di quota in cui si trovano le stazioni. Casalmaggiore è la stazione posta alla quota più bassa, 25 m slm, il Lago Inferno alla quota maggiore, 2332 m slm.

L’istogramma e il Box Plot (Fig.4) mostrano la distribuzione altimetrica delle stazioni in esame. Si osservi che la maggior parte delle stazioni si trova ad una altitudine compresa fra i 200 e i 1000 m slm; il valore medio di altitudine sulle 88 stazioni è di 585 m slm.

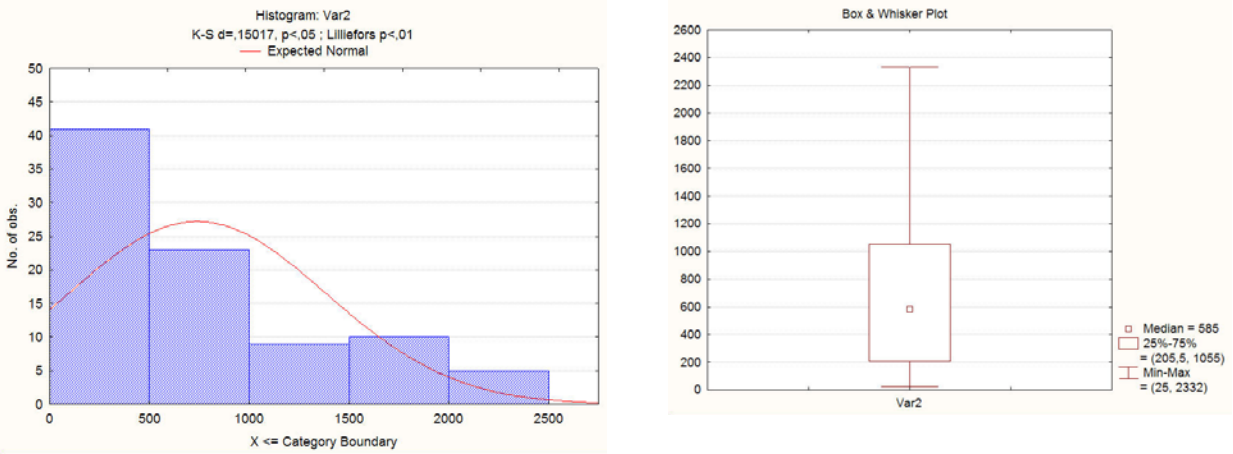


Fig.4 l’istogramma e il box plot mostrano la fascia di altitudine in cui si trova la maggior parte delle stazioni considerate nel progetto e le due stazioni poste alle quote min e max.

4. Le serie termo-pluvio-nivometriche disponibili

L’attività di raccolta dei dati meteo-climatici è iniziata a gennaio 2006 e si è concentrata sull’archiviazione, integrazione e digitalizzazione dei dati termo-pluviometrici di stazioni poste nel Bacino sub-lacuale dell’Adda. Si è completata a fine luglio 2006 la digitalizzazione e il controllo delle seguenti serie:

- 40 stazioni con serie pluviometriche;
- 24 stazioni con serie termometriche;
- 4 stazioni con dati nivo-pluviometrici poste nel bacino sopra-lacuale.

Le due mappe in basso (Fig.5) mostrano le stazioni di cui si posseggono le serie integrate termo-pluviometriche in formato digitale.

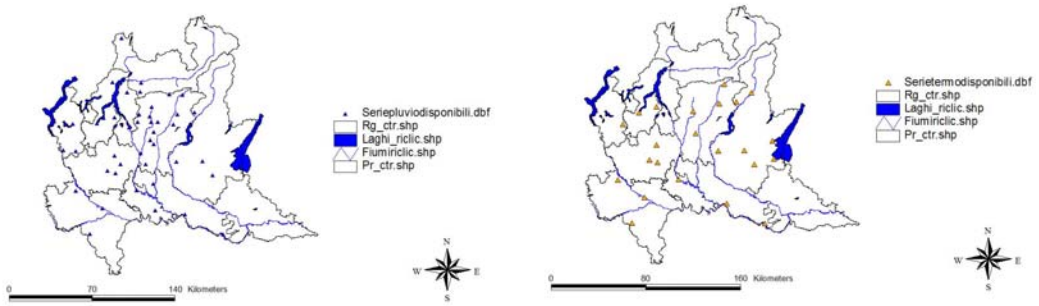


Fig.5: nella carta a destra sono raffigurate le stazioni di cui si posseggono le serie pluvio, mentre a sinistra sono mostrate le stazioni con serie termo disponibili.

Si sono inoltre acquisiti i dati meteo-climatici in formato digitale antecedenti al 1951, affinché vi siano serie storiche d'interesse per lo studio di trends a frequenza minore.
Nella tabella successiva (Tab.1) sono elencate le 21 stazioni "*storiche*" con la relativa consistenza delle serie termo-pluviometriche.
Infine a partire da fine luglio 2006 è iniziata la campagna di raccolta e dei dati termo-nivo-pluviometrici di 44 stazioni poste nel bacino lacuale e sopra-lacuale.
Si prevede di concludere l'attività d'integrazione delle serie nivo-pluviometriche entro dicembre 2006, mentre per le termometriche il termine previsto è marzo 2007.

Stazione	Consistenza pluviometrie	Consistenza termometrie
BERGAMO SANTA LUCIA	1925-1941;1951-2003	1880-1941;1951-2003
BORMIO	1913-1941;1951-2004	1923-1941; 1951-2003
BRESCIA	1879-1941; 1951-2003	1879-1941; 1951-2003
CANCANO	1936-1941; 1951-2004	//
CASE PIZZINI ARMISA	1927-1941; 1951-1997	//
CODERA	1926-1941; 1951-2003	//
COMO VILLA GENO	1913-1941; 1951-1998	1907-1941; 1953-2003
GEROLA ALTA	1913-1941;1951-1997	//
LAGO TRUZZO	1928-1941; 1951-2003	//
LANZADA	1913-1941; 1951-2003	//
LE PRESE	1913-1941; 1951-2004	//
MORBEGNO REGOLEDO	1913-1941; 1951-1981	//
RUSCHEDO	1913-1941; 1951-1996	//
S. CATERINA VALFURVA	1921-1941; 1951-2004	//
SCAIS	1926-1941; 1951-2003	//
SONDRIO	1894-1950; 1951-2004	1894-1950; 1951-2000
STUETTA	1927-1941; 1952-2003	//
TIRANO	1913-1941; 1951-1980	//
VALLE RATTI	1935-1941; 1956-2003	//
VARESE	1913-1941; 1951-2003	//
VEDELLO C.LE	1921-1941; 1951-2003	//

Tab.1: si osservi che le stazioni di Bergamo, Brescia e Sondrio posseggono le serie più antiche con dati antecedenti al 1900.

5. La consistenza delle serie meteo-climatiche

Si è ricostruita la consistenza delle serie termometriche e pluviometriche per le stazioni poste nel bacino sub-lacuale.
La Fig.6 mostra il numero di anni presenti per ciascuna stazione; si osservi che in media si ha a disposizione circa un quarantennio per stazione e ciò garantisce di ricostruire la climatologia media dell'area in esame.

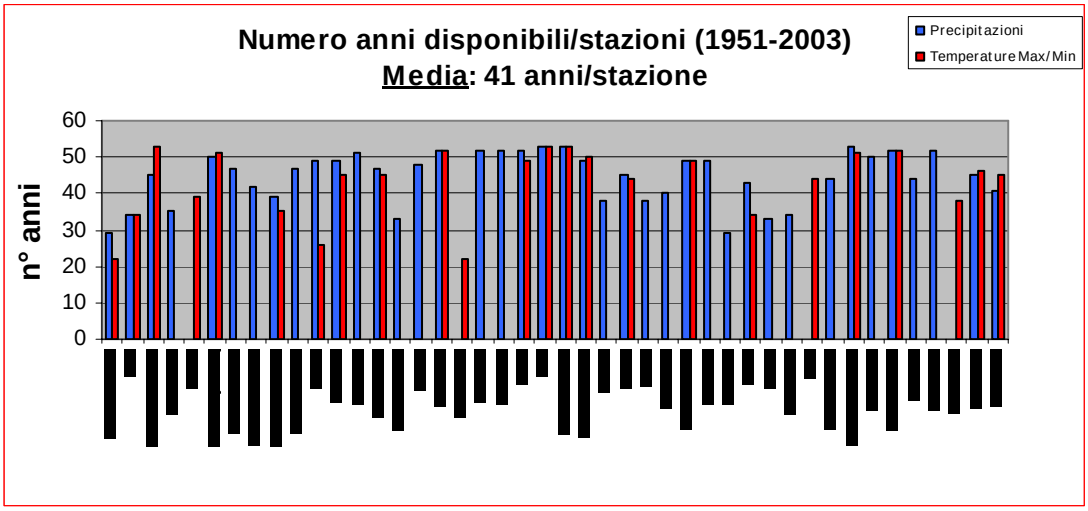


Fig.6: l'istogramma mostra il numero di anni disponibili per ciascuna stazione per le serie termo-pluviometriche.

Si può osservare dall'istogramma in basso (Fig.7) che le serie termo-pluviometriche posseggono una buona continuità fino agli anni '80, mentre a partire dagli anni '90 si ha una carenza di dati a causa della mancata pubblicazione degli Annali Idrologici e alla temporanea sospensione del servizio di alcune stazioni meteo SIMN.
Nel 2001 è iniziata una campagna di digitalizzazione e validazione dei dati da parte di Arpa che permetterà la pubblicazione degli Annali mancanti. E' inoltre prevista come attività del Wp1 l'acquisizione di dati digitali della *rete automatica Arpa Lombardia* per integrare eventuali serie strumentali incomplete.

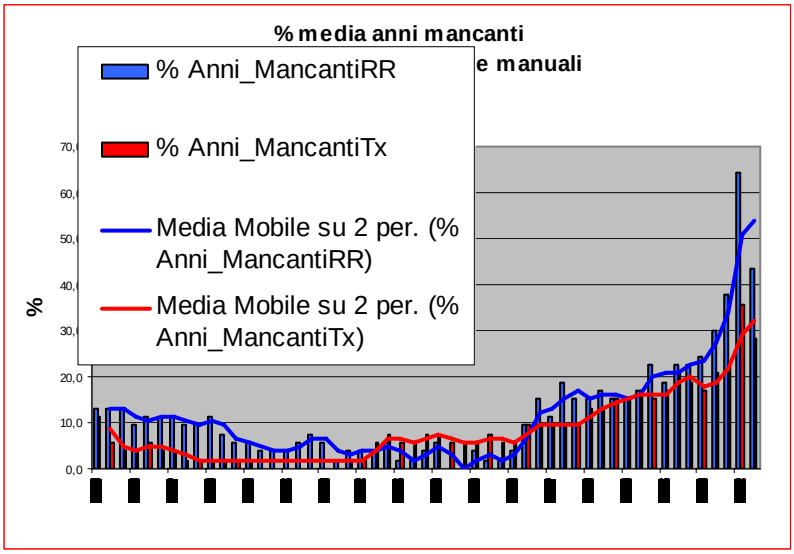


Fig.7: l'istogramma evidenzia la carenza dei dati termo-pluviometrici delle stazioni meccaniche e manuali poste nel bacino sub-lacuale a partire dagli anni '90.

Nelle tabelle in basso (Tab 2 e 3) sono rappresentati i dati mancanti a scala mensile, sia per le temperature che per le precipitazioni; ciò permette di valutare la *continuità* delle serie che si stanno analizzando. Nell'appendice sono presenti tutte le stazioni in esame e la consistenza delle serie termo-pluviometriche a scala mensile.

	ANNI (**RR**)	MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BERGAMO SANTA LUCIA	1962													
	1988													
	1989													
	1991													
	1992													
	1993													
	1994													
	1996													

	ANNI (**TX/TN**)	MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BERGAMO SANTA LUCIA	1952													
	1956													
	1962													
	1982													
	1987													
	1994													
	1997													
	1999													
	2003													

Tab. 2 e 3: nella tabella è indicato in colore rosso quando il mese è completamente mancante, mentre in colore blu quando mancano più di 5 giorni (esempio: stazione di Bergamo).

6. L'anagrafica delle stazioni meteo

Si è proceduto a creare una prima stesura dell'anagrafica (*vedi appendice*), ricercando le coordinate Gauss-Boaga, la quota, le località dove sono poste le stazioni, il tipo di strumento (M = Manuale, R = Registratore, AUTO = Automatiche), e i sensori d'interesse presenti (P = Pluviometro; T = Termometro, NV = Nivometro) e gli estremi temporali delle serie meteo-climatiche.
In una fase successiva si integrerà l'anagrafica con le seguenti informazioni ricavate dai metadati :

- L'indirizzo dove ubicata la stazione;
- Il bacino idrografico di appartenenza;
- Il proprietario dei dati;
- Il gestore dei dati;
- Il fornitore dei dati;
- Eventuali cambi della strumentazione;
- Fotografia allegata della stazione.

7. L’archivio e la gestione delle serie meteo-climatiche

Un obiettivo del Wp1 è stato di uniformare sotto un unico prototipo tutte le tipologie di “*formato dati*” che sono state ricevute dai collaboratori del progetto.
La struttura di archiviazione dei dati meteo sviluppata dal Prof. Mariani (Facoltà di Agraria-*DIPROVE*) è servita come base per elaborare una tabella di lavoro costantemente aggiornata con i dati digitalizzati dal Wp1, Wp2, Wp5/6, oppure provenienti da altri database informatizzati.
Il foglio di archiviazione dati è stato strutturato attraverso i seguenti campi:

- ID STAZIONE;
- DATA “GIORNALIERA” DI RILEVAMENTO;
- PRECIPITAZIONE MISURATA (RR);
- STATO DELLA PRECIPITAZIONE (P:PIOGGIA; L: NEVE FUSA)
- CUMULATA PIOGGIA O NEVE FUSA (CP; CL)
- TEMPERATURA MEDIA CALCOLATA (TD);
- TEMPERATURA MASSIMA E MINIMA MISURATA (TX;TN);
- L’ALTEZZA DI NEVE AL SUOLO (NV);
- FONTE DATO (A: ANNALE; S: SCHEDA; WING: WINGADI);

Attraverso questa struttura si possono facilmente estrarre i dati meteo giornalieri presenti. In caso di dato mancante il codice attribuito è di -9999 e il relativo campo di derivazione del dato è NC: Non Classificabile.
I dati digitali provenienti dai diversi collaboratori sono principalmente organizzati in formato DATI_COLONNA.*txt* e prevedono che i dati giornalieri siano disposti su più colonne della stessa riga, mentre il formato DATI_RIGA.*xls* da noi elaborato presuppone una registrazione giornaliera per ogni riga. Per questo motivo si è sviluppata una procedura all’interno di un Database Access (VBA) che permette di originare un *Flusso Guida* per costruire date verticalizzate e ottenere quindi una serie direttamente archiviabile nel prototipo ideato.
Nella Figura in basso (Fig.8) è mostrata una maschera del database “provvisorio” che permette di organizzare e gestire l’input di dati termo-pluviometrici delle stazioni considerate.
Attraverso questa maschera è possibile importare, archiviare e operare sulle serie meteo-climatiche attraverso delle semplici interrogazioni (*query*) in Visual Basic Access.
In particolare è possibile eseguire le seguenti operazioni:

- Importare l’anagrafica provvisoria delle stazioni;
- Visualizzare la tabella dell’anagrafica;
- Creare un report per ciascuna stazione;
- Convertire nel formato vettoriale il formato matriciale.txt;
- Importare le tabelle in cui sono archiviati i dati per ciascuna stazione;
- Visualizzare la tabella dei dati meteo-climatici;
- Cancellare tutti dati presenti nelle tabelle;
- Visualizzare il numero di dati mancanti per anno per stazione;
- Verificare la consistenza delle serie meteo-climatiche in esame;
- Ricostruire gli aggregati mensili a partire dai dati giornalieri archiviati.

E’possibile inoltre operare sulle serie richiedendo le seguenti informazioni meteo:

- Il mese più piovoso nel periodo in esame;
- Il giorno in cui si è verificata una precipitazione “estrema”;
- La temperatura massima e minima estrema giornaliera;

- Il mese con le temperature minime più basse e il mese con le massime più elevate;
- I giorni con temperatura minima inferiore a 0°C e il numero di giorni/anno di gelo
- I giorni con temperatura massima minore di 0°C e il numero di giorni/anno senza disgelo;
- I periodi siccitosi, ovvero quando per più di 45 giorni non vi sono precipitazioni.

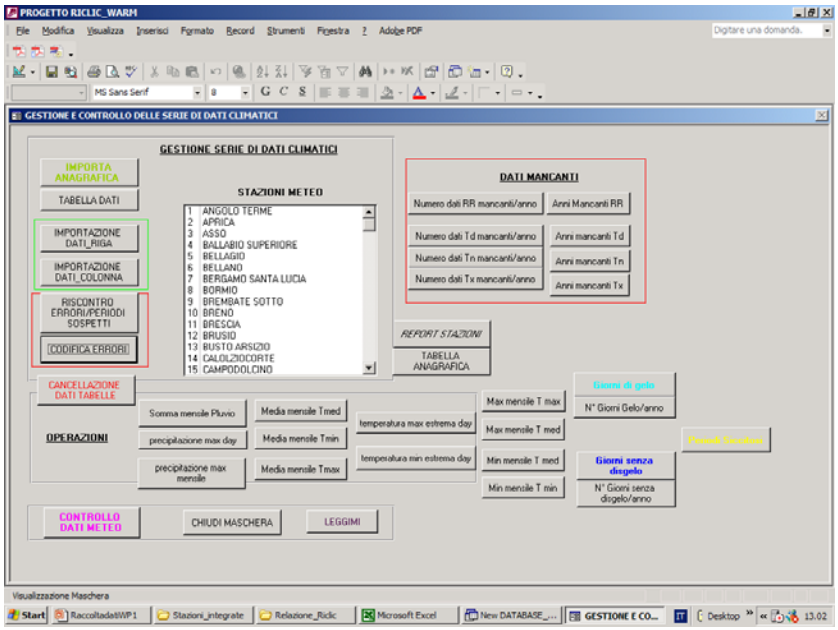


Fig.8: la maschera di interfaccia del DB permette di gestire le serie termo-nivo-pluviometriche in input.

Il pulsante “CONTROLLO DATI METEO” apre la maschera da cui si possono eseguire i controlli delle serie meteo-climatiche.
La maschera di controllo mostrata in basso (Fig.9) permette di selezionare la stazione e il periodo su cui eseguire i controlli.

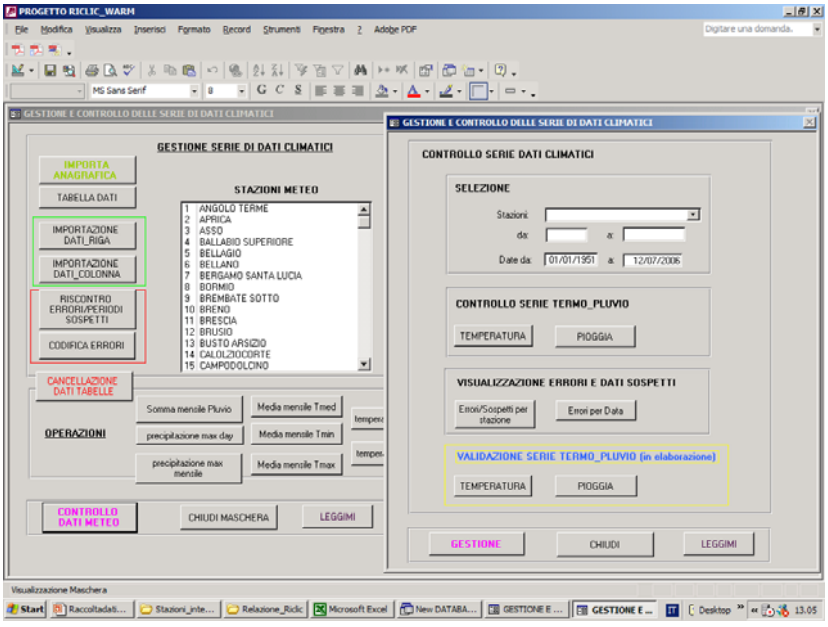


Fig.9: la maschera per il controllo delle serie. Si osservi che è in fase di progettazione la procedura di validazione delle termo-pluvio-nivometriche.

In particolare si sono impostati i seguenti controlli sulle serie termo-pluviometriche:

- Per le temperature giornaliere:

Inversioni dei valori minimi e massimi della temperatura (*Tn e Tx*): accade che nei bollettini in formato cartaceo da cui vengono letti i dati siano riportate su due colonne affiancate le temperature giornaliere massime e minime ed è quindi non infrequente la loro inversione in fase di digitalizzazione. I casi di inversione vengono segnalati da un programma in VBA (Visual Basic Access) e corretti volta per volta con verifica su Annali o Schede.

Verifica dell'occorrenza di valori "assurdi": questo controllo consiste nel verificare che non siano stati digitati per errore dei valori assurdi, dove per valore assurdo si intende un valore di $Tn < -25°C$ e per $Tx > 45°C$. Chiaramente è possibile cambiare questi due valori e fare controlli più stringenti.

Verifica dell'escursione termica nulla: con questo controllo un programma ha permesso di visualizzare i casi in cui *Tn* e *Tx* hanno lo stesso valore. Tale eguaglianza può essere dovuta ad un errore di digitalizzazione: il confronto diretto con la fonte dei dati permetterà la correzione. Tuttavia può accadere che il termometro non sia sensibile al decimo di grado e di conseguenza non possa rivelare piccole differenze di temperatura. In questo caso non si procederà direttamente all'invalidazione dei dati, ma si farà ricorso allo studio critico dei metadati.

Controllo sull'escursione termica: con questo controllo abbiamo voluto verificare che l'escursione termica non superasse un valore fissato, per esempio 25°C.
Esistono poi altri controlli che hanno permesso di individuare dati da considerare come "sospetti":

Controllo 1: se Tn è la stessa per 5 giorni consecutivi il dato è stato giudicato sospetto.
Controllo 2: se Tx è la stessa per 5 giorni consecutivi il dato è stato giudicato sospetto.
Controllo 3: se Tn e Tx sono contemporaneamente le stesse per 5 giorni consecutivi il dato è stato giudicato sospetto.
Controllo 4: se per una stazione Tn o Tx differisce di oltre 10°C da quella di altre stazioni vicine e con caratteristiche climatiche e geografiche simili, allora il dato è stato considerato sospetto.

Questi controlli permetteranno di formulare una prima valutazione della qualità dei dati, fondamentale prima di procedere alla validazione dei dati, attività che si svolgerà in collaborazione con l'unità operativa del settore Idrografia dell'Arpa.

- Per le precipitazioni giornaliere:

Come per le temperature, anche per le precipitazioni la correzione degli eventuali errori è avvenuta attraverso un controllo di qualità. Tuttavia l'analisi sistematica degli errori è risultata in questo caso più complicata rispetto a quella delle temperature estreme a causa della maggior variabilità dei dati pluviometrici e della minor correlazione spaziale tra le

stazioni. Fondamentale è stato dunque inserire le stazioni all'interno di aree geo-climatiche simili per effettuare i controlli.

Verifica della consistenza spaziale: tale tipo di errore è stato rilevato mediante un confronto con le stazioni limitrofe. In particolare si è imposto il vincolo che per le stazioni appartenenti al medesimo gruppo, la quantità di precipitazione giornaliera caduta non differisse più di 60 mm. In tal caso si giudica il dato sospetto e si procederà ad un'attenta analisi attraverso la fonte dei dati, le caratteristiche del territorio, la meteorologia dell'evento ed eventuali metadati disponibili.

Verifica dell'occorrenza di valori "improbabili": questo controllo è stato eseguito sui valori giornalieri principalmente con lo scopo di individuare errori di digitalizzazione. Per valore assurdo si è considerata una precipitazione giornaliera superiore a 200 mm per la pedemontana e fascia prealpina inferiore; superiore a 150 mm per la fascia di pianura.

Verifica di "periodi sospetti": si sono indicati come periodi sospetti quelli che presentavano le seguenti caratteristiche:
la precipitazione giornaliera ha valore 0 mm per oltre 45 giorni consecutivi;
il valore di pioggia giornaliero è lo stesso per 5 giorni consecutivi ed è diverso da zero.

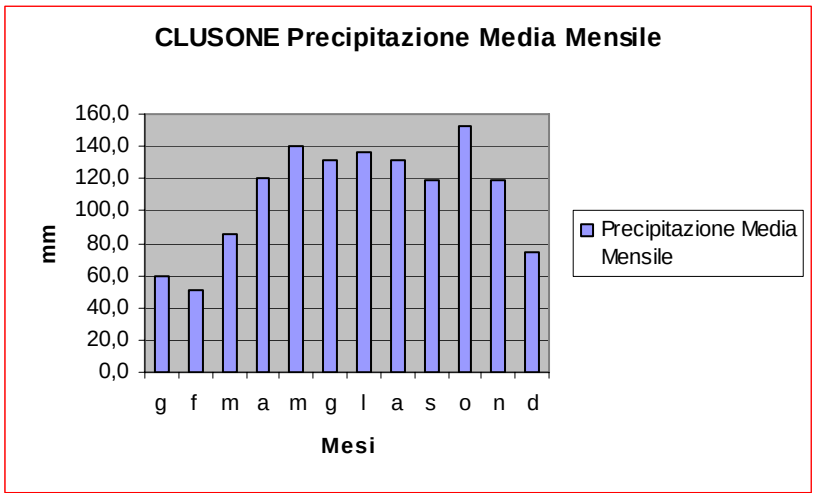
8. Introduzione allo studio climatico preliminare del bacino sub-lacuale dell'Adda

Nella seconda parte del report si è effettuata un'indagine preliminare della climatologia del bacino sub-lacuale per evidenziare caratteristiche climatiche ricorrenti: stagionalità delle precipitazioni, delle temperature, valori medi annuali delle grandezze meteo esaminate.
Si è poi effettuato uno studio riguardo l'aumento di "*eventi estremi*" determinato dal Cambiamento Climatico in atto (Globale Climate Change).
Tutto ciò si manifesta in un incremento nella frequenza di *eventi siccitosi*, di *alluvioni*, di *ondate di gelo* e di *calore*.
Nel dettaglio verranno esaminati alcuni eventi particolarmente rilevanti per il bacino in esame, i cui effetti si ripercuotono inesorabilmente sull'ecosistema e sulle attività umane modificandoli profondamente.

8.1. Il clima del bacino sub-lacuale

La prima analisi effettuata consiste nella ricostruzione degli andamenti medi mensili delle precipitazioni e delle temperature per le stazioni in esame.
Le medie sono state calcolate considerando i dati disponibili per ciascuna stazione, e quindi gli intervalli temporali sono differenti, ma coprono un periodo sufficiente (almeno 30 anni) per effettuare analisi climatiche.

Nella figura successiva (Fig.10) sono raffigurati gli andamenti mensili delle precipitazioni e delle temperature per la stazione di Clusone, posta nelle prealpi orobie ad una quota di 652 m.
Si osservi che la stagione meno piovosa risulta quella invernale con un minimo a febbraio di 50 mm, mentre la stagione più piovosa è quella autunnale con un picco ad ottobre di 152 mm.
E' interessante osservare che la stagione estiva risulta mediamente piovosa a causa dei numerosi *temporali* che si sviluppano in prossimità della catena montuosa orobica.
Analizzando il grafico delle temperature medie mensili si nota che il mese più freddo è gennaio con una temperatura media di 2°C; mentre il mese più caldo è luglio con una temperatura prossima ai 21 gradi. L'escursione termica annuale media è di circa 19 gradi, un valore non troppo elevato ad indicare un clima gradevole per questa località di villeggiatura.



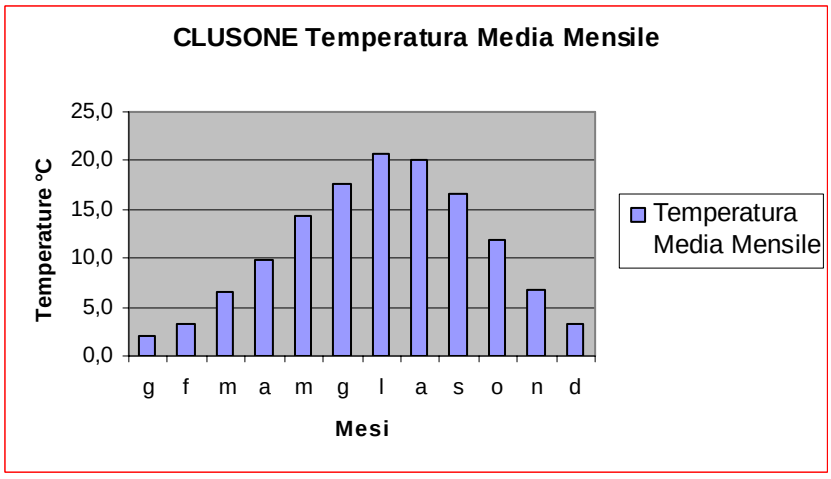
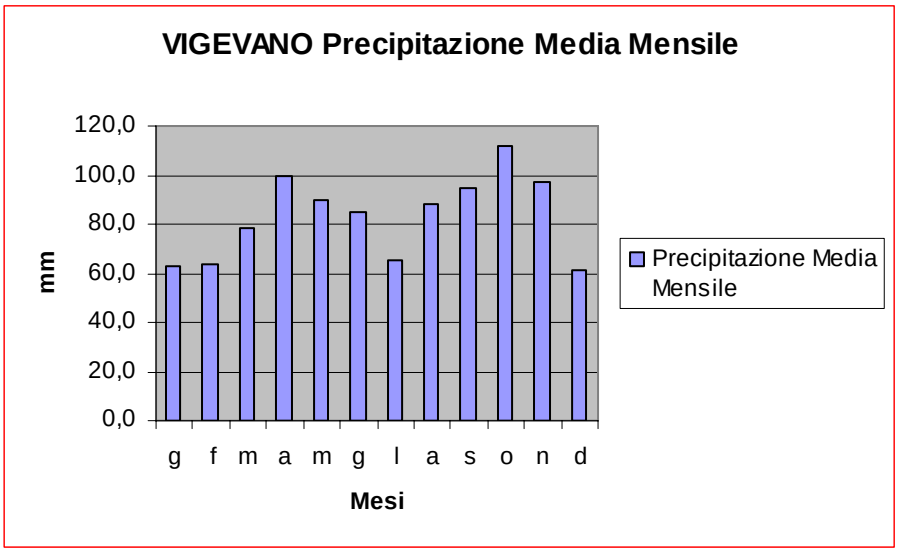


Fig.10: andamento mensile temperature e precipitazione per la stazione di Clusone (periodo disponibile Rr: 1951-2000; Tmed: 1951-1995).

E' interessante analizzare gli andamenti mensili di temperatura e precipitazione per la stazione di Vigevano che è posta nel catino padano.

L’andamento delle precipitazioni medie mensili (Fig.11) mostra una differenza significativa rispetto all’andamento visto in precedenza; si osservano infatti due minimi di precipitazione, il primo nel periodo invernale, mentre un secondo si registra nel mese estivo di luglio, dove cadono mediamente 65 mm. Quindi se da una parte la stagione estiva risulta mediamente piovosa in prossimità delle catene montuose, ciò non accade in pianura dove negli ultimi anni si registrano gravi carenze idriche nel periodo estivo (giugno-luglio), non solo per la scarsità di piogge estive, ma soprattutto a causa dei mancati apporti, sia nevosi sia piovosi nel periodo primaverile. Il secondo grafico mostra un minimo di temperatura media nel mese di gennaio, circa 1°C, mentre il massimo si registra a luglio, con una temperatura di 22°C; l’escursione termica annuale media risulta maggiore rispetto alla stazione di Clusone ed è di circa 21°C.



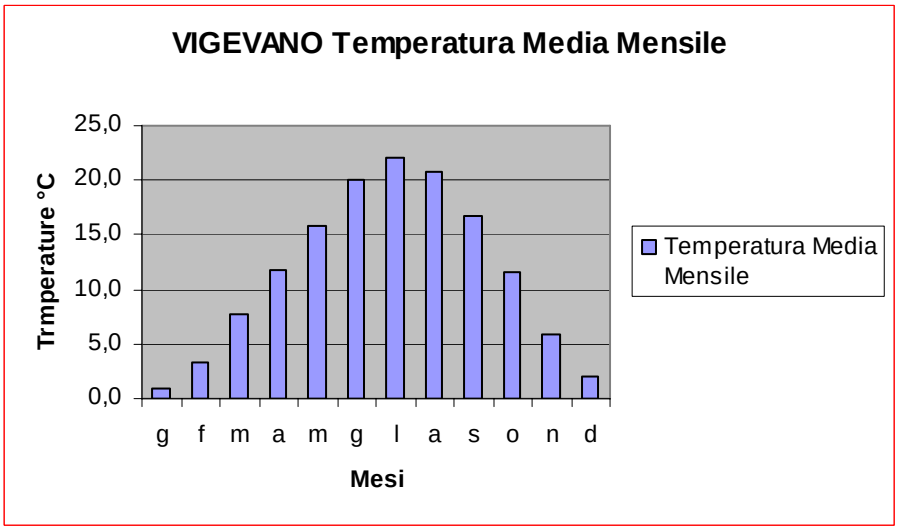


Fig.11: rispetto alla stazione posta nella catena orobica, la stazione di pianura registra due minimi di precipitazioni, uno nel periodo invernale e uno in quello estivo

Nello studio successivo si è calcolata la precipitazione massima mensile per ciascuna stazione nel periodo di cui si posseggono i dati. Si osserva dalla Fig.12 che i massimi di precipitazione mensili si hanno in corrispondenza della fascia pedemonatana e prealpina; il picco massimo si verifica nei mesi autunnali, soprattutto ottobre e novembre, a causa delle intense correnti umide meridionali che si addossano alle catene montuose (fenomeno di *stau*); mentre un secondo picco si ha nel periodo primaverile (aprile-maggio).

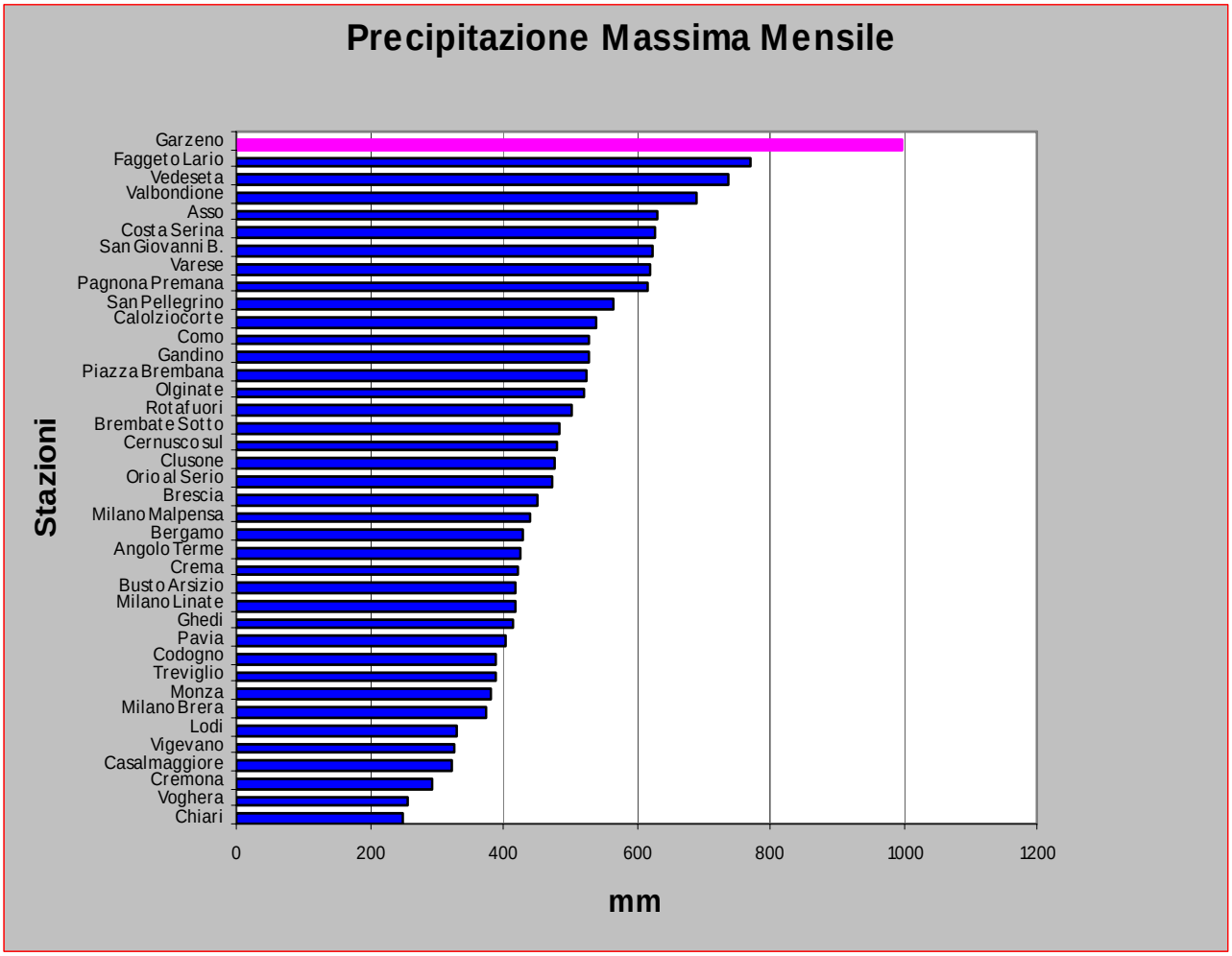


Fig.12: il grafico mostra le precipitazioni massime mensili per le stazioni in esame. Si osservi che la stazione di Garzeno ha registrato un valore massimo di circa 1000 mm (aprile1986, mentre le stazioni di pianura registrano valori nettamente più bassi (Voghera:258 mm, ottobre 1988).

Il grafico successivo (Fig.13) mostra il confronto fra le precipitazioni massime annue e le precipitazioni medie annue. Si osservi che le stazioni in prossimità di barriere orografiche registrano i massimi di precipitazioni annuali, con punte di 3600 mm a Garzeno e 2700 mm a Palanzo-Faggeto Lario, mentre le stazioni di pianura di Cremona, Voghera e Casalmaggiore misurano rispettivamente massimi annuali di 1187mm, 1103 mm e 1077 mm.

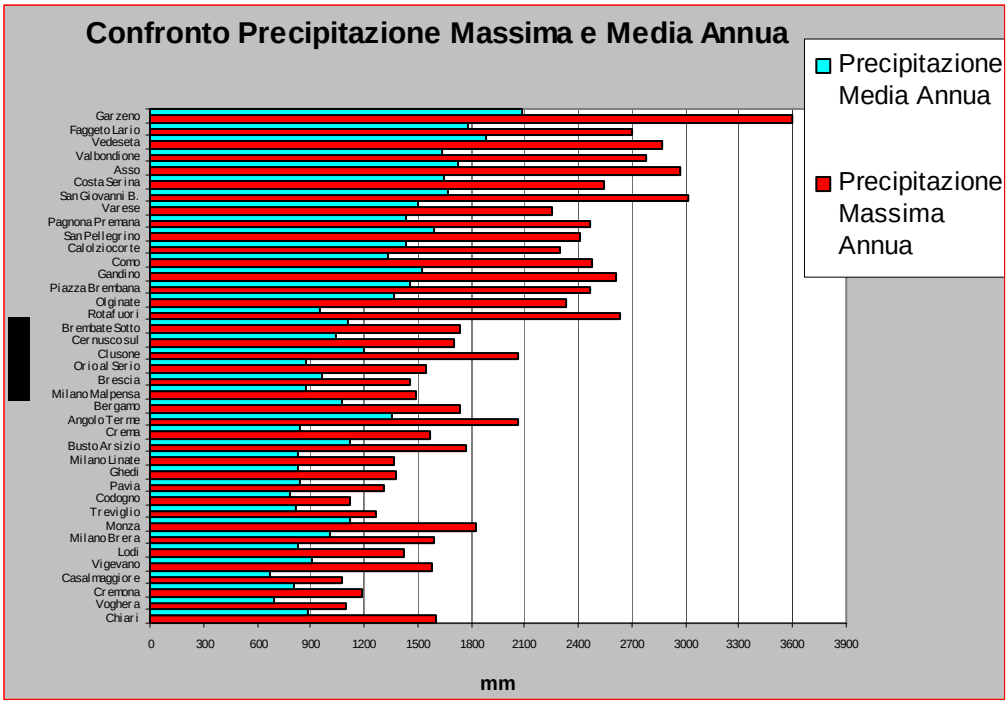


Fig.13: l'istogramma mostra in azzurro i valori medi annui di precipitazione per le stazioni considerate, in rosso i valori massimi di precipitazione misurati nel periodo disponibile.

La tabella in basso (Tab.4) evidenzia i valori di precipitazione massima annua per le stazioni in esame e l'anno in cui si è verificato il valore massimo. In particolare si osservi che il 1951, il 1959, il 1960, il 1977 e il 2000 siano stati anni estremamente piovosi nella regione lombarda.

stazione	Anno	Precipitazione Massima Annua (mm)
Chiari	1959	1598,1
Voghera	1977	1103,8
Cremona	1959	1187,2
Casalmaggiore	1964	1077,2
Vigevano	1977	1579
Lodi	1959	1420,6
Milano Brera	1951	1586,5
Monza	1951	1823,4
Treviglio	1960	1270,6
Codogno	1979	1118,9
Pavia	1977	1313,2
Ghedi	1959	1379,2
Milano Linate	1977	1370,1
Busto Arsizio	1977	1776
Crema	1977	1571
Angolo Terme	1977	2059
Bergamo	1951	1732,4
Milano Malpensa	1984	1492,7

Brescia	1960	1461,2
Orio al Serio	1977	1544,5
Clusone	1960	2063,6
Cernusco sul Naviglio	1959	1700,7
Brembate Sotto	1977	1742,6
Rotafuori	1960	2630
Olginate	2000	2334,2
Piazza Brembana	2000	2461,2
Gandino	1977	2610,6
Como	1960	2473,8
Calolziocorte	1951	2292,5
San Pellegrino	1960	2410
Pagnona Premana	1960	2466
Varese	2000	2247,2
San Giovanni B.	1960	3011
Costa Serina	1977	2540
Asso	1951	2969,8
Valbondione	1960	2778,5
Vedeseta	1960	2872
Faggeto Lario	2000	2701
Garzeno	2000	3595

Tab. 4: : valori di precipitazione massima annuale misurati dalle stazioni.

Il grafico successivo (Fig.14) mostra il confronto fra le precipitazioni minime annue e le precipitazioni medie annue. Si osservi che fra tutti i valori minimi annui, quelli delle stazioni di pianura sia i più bassi, con un minimo a Casalmaggiore, che ha registrato soli 297 mm nel 1983.

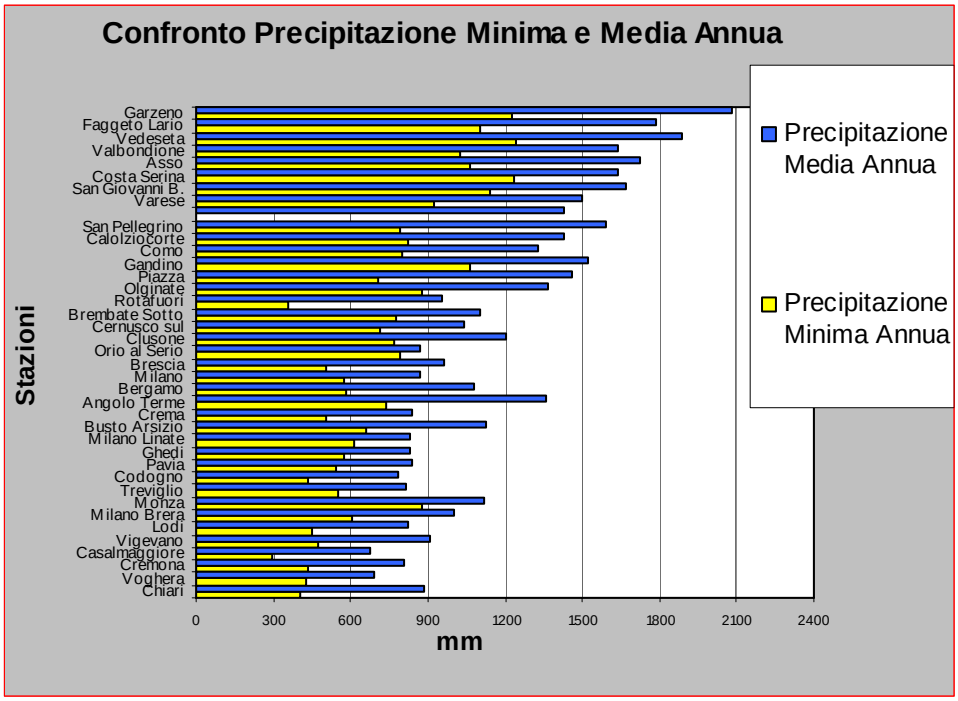


Fig.14: l'istogramma mostra in azzurro i valori medi annui di precipitazione per le stazioni considerate, in giallo i valori minimi di precipitazione misurati nel periodo disponibile.

Nella tabella in basso (Tab.5) sono indicati i valori minimi di precipitazione e l'anno in cui si è verificato l'evento. Si osservi che il 1969, il 1983, il 1991 e il 2003 sono stati anni particolarmente siccitosi in Lombardia.

stazione	Anno	Precipitazione Minima Annua (mm)
Chiari	1997	401,0
Voghera	1989	429,4
Cremona	1983	432,8
Casalmaggiore	1983	296,7
Vigevano	1983	470,5
Lodi	2003	451,1
Milano Brera	1973	603,1
Monza	1991	881
Treviglio	1952	552,6
Codogno	1967	436
Pavia	1998	543,6
Ghedi	1952	574,5
Milano Linate	1952	612,8
Busto Arsizio	1969	662,8
Crema	1952	506,6
Angolo Terme	1980	740,6
Bergamo	1986	582
Milano Malpensa	1974	577
Brescia	1952	503
Orio al Serio	1983	789,6
Clusone	1986	769,4
Cernusco sul Naviglio	1973	715,9
Brembate Sotto	1952	775
Rotafuori	1980	354,8
Olginate	1967	879,8
Piazza Brembana	1984	706
Gandino	1991	1061,2
Como	1955	803,4
Calolziocorte	1973	827,1
San Pellegrino	1993	794,1
Varese	1962	927,6
San Giovanni B.	1955	1145
Costa Serina	1969	1237
Asso	1962	1067,8
Valbondione	2003	1028,3
Vedeseta	1955	1244
Faggeto Lario	2003	1101
Garzeno	1962	1223,6

Tab. 5: valori minimi di precipitazione annuale registrati dalle stazioni.

L'istogramma successivo (Fig.15) riassume per ciascuna stazione il valor medio di precipitazione annuale, il valore massimo e il valore minimo registrato nel periodo di cui si hanno a disposizione i dati.

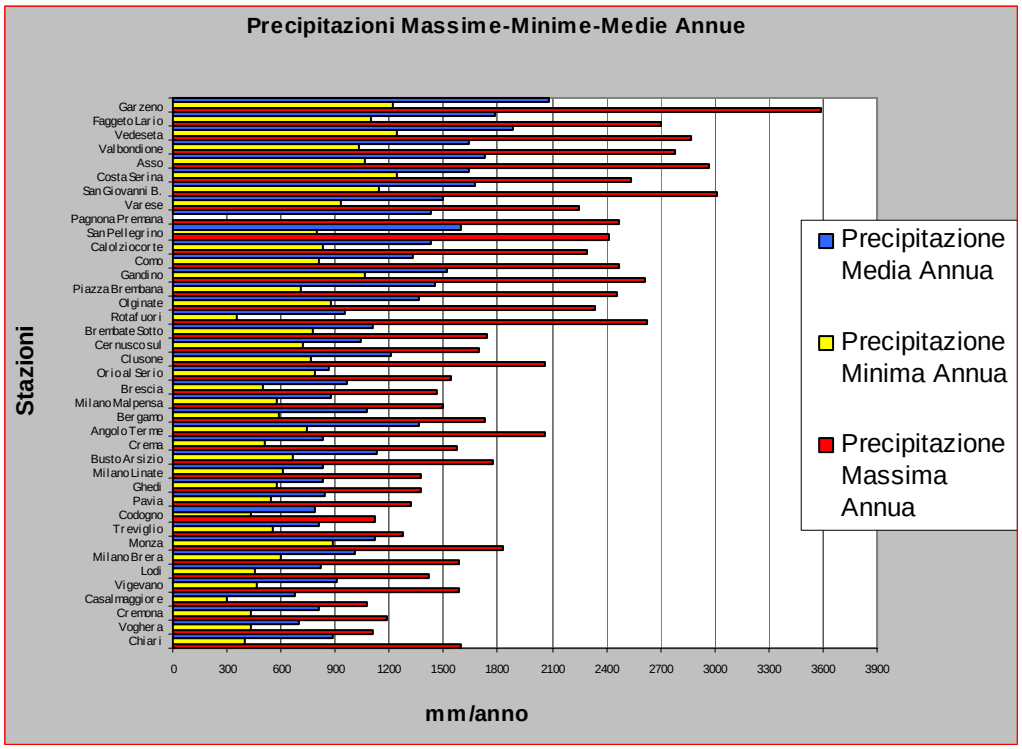


Fig.15: le barre in blu rappresentano la precipitazione media annua, quelle in giallo la precipitazione minima annua e quelle in rosso la massima registrata.

8.2. Le anomalie di temperatura nell'ultimo cinquantennio in Lombardia

Nello studio successivo si sono esaminate le variazioni di temperatura rispetto ad un periodo di riferimento (trentennio di riferimento: 1961-1990) per evidenziare anomalie di temperatura che dimostrino un significativo cambiamento climatico a scala regionale.
Si è osservato che a partire dagli anni '80 tutte le stazioni lombarde registrano un aumento sensibile delle temperature, dovuto ad un incremento delle temperature minime invernali e ad un innalzamento delle temperature massime estive.
Tutto ciò si manifesta in un aumento nella *frequenza* delle onde di calore nel periodo estivo, mentre nel periodo invernale si osserva un innalzamento dello zero termico e quindi le nevicate avvengono a quote più elevate.
Nei grafici successivi (Fig. 16, 17, 18) sono mostrate le anomalie di temperatura per stazioni poste a diverse fasce altimetriche e distribuite sul territorio lombardo in modo da coprire la fascia di pianura, quella pedemontana e prealpina.
La Fig.16 evidenzia le anomalie di temperatura per la stazione di Cremona nel periodo 1951-2003 rispetto al riferimento. Si notano anomalie negative negli anni '50 ed in particolare un anno decisamente freddo è stato il 1956, con una anomalia di circa -2°C. Vi è stato poi un temporaneo incremento dal 1958 al 1963 e un successivo raffreddamento negli anni '70. A partire dagli anni '90 si registra un periodo nettamente più caldo, con anomalie positive di temperatura che registrano il loro picco massimo nel 2003, con un valore di ben 2°C sopra la media di riferimento.

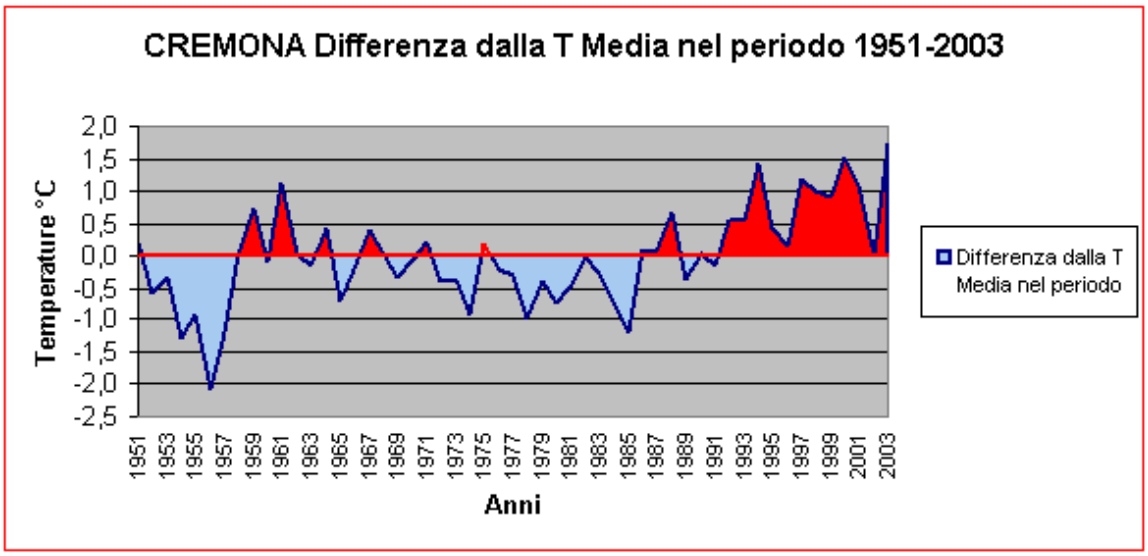


Fig.16: il grafico mostra le anomalie di temperatura per la stazione di Cremona. A partire dagli anni '90 è evidente un netto aumento delle temperature medie annuali.

La Fig.17 mostra le anomalie di temperatura per la stazione di Brescia nel periodo 1951-2001.
Si osservi un periodo più freddo rispetto alla media di riferimento che ha i suoi due picchi negli anni 1954 e 1956, con anomalie rispettivamente di -2,5°C e -1,8°C. A partire dagli anni '60 le temperature medie annuali non si discostano particolarmente dal valor medio, mentre dagli anni '90 si ha un deciso scostamento positivo, con picchi negli anni 1995, 1997 e 2001.

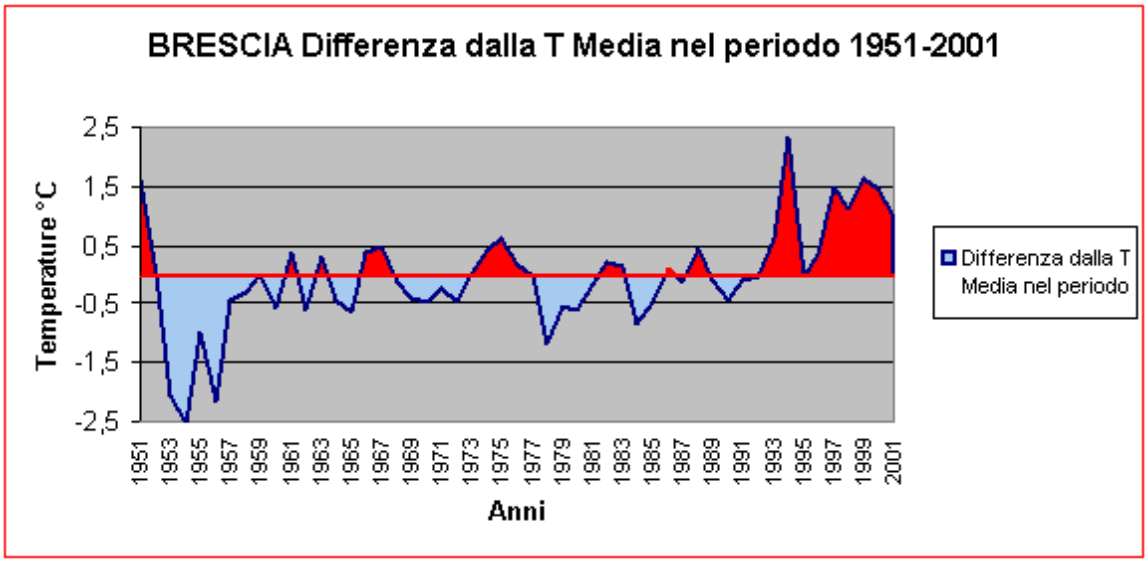


Fig.17: dal grafico delle anomalie di temperatura di Brescia si evidenziano due periodi: il primo più freddo della norma negli anni '50, il secondo decisamente più caldo a partire dagli anni'90.

Nella Fig. 18 sono rappresentate le anomalie di temperatura per la stazione di Clusone posta nella fascia prealpina.

Si osserva un periodo mediamente più freddo dal 1951 al 1972, mentre è interessante evidenziare, a differenza delle precedenti stazioni in analisi, un primo deciso aumento delle temperature negli anni ’70 che raggiunge il suo picco a fine anni ’70, con un’anomalia positiva di circa 2,5°C. Successivamente si ha un temporaneo raffreddamento che si registra fra il 1985 e il 1987, infine un secondo riscaldamento a partire dagli anni ’90.

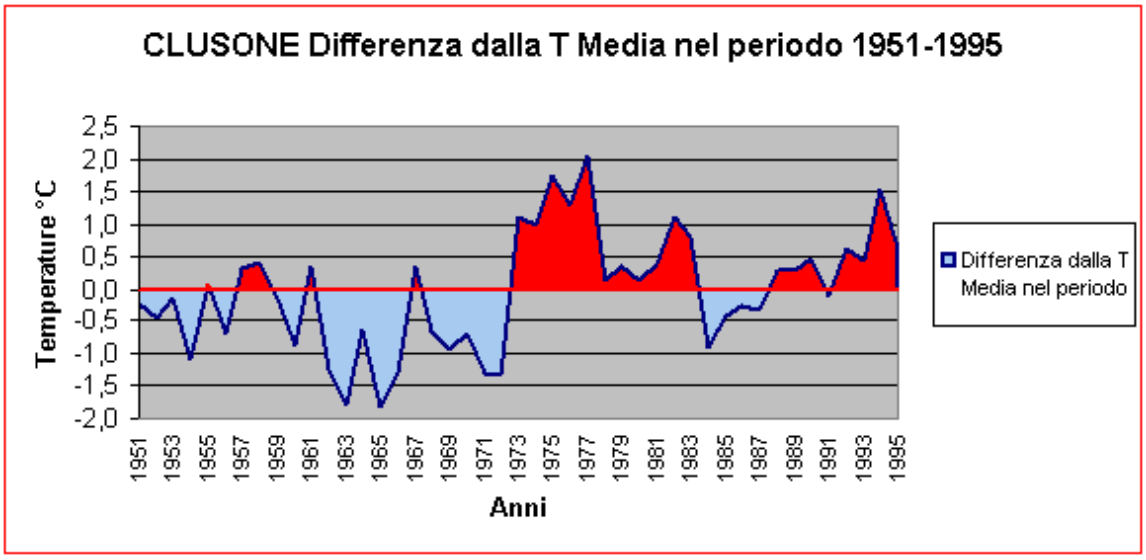


Fig.18: dal grafico si evidenzia un primo periodo sotto media, mentre negli anni ’70 e ’90 si sono registrati due decise anomalie positive della temperatura media annuale.

In conclusione per tutte e tre le stazioni in esame si nota un periodo sotto media negli anni *’50-‘60*, mentre si osserva un incremento comune delle temperature a partire dagli anni *’90* che culmina con un massimo di anomalia positiva nel 2003.
Risulta invece differente il decennio *1970-1980* per la stazione posta nella fascia prealpina, la quale registra un’anomalia positiva significativa, mentre le due stazioni di pianura e pedemontana hanno temperature in media o lievemente inferiori alla norma.
In appendice sono disponibili tutti i grafici per le stazioni di cui si posseggono i dati termometrici (almeno un trentennio).

8.3. Analisi di “eventi estremi”

Saranno ora analizzati i principali eventi estremi quali ondate di gelo, onde di calore, siccità e alluvioni, che hanno colpito la regione lombarda nell’ultimo cinquantennio. Dallo studio effettuato si osserva un aumento nella frequenza di “eventi estremi” determinato dal Cambiamento Climatico in atto.
Gli effetti di queste variazioni nel regime termo-pluviometrico si ripercuotono inesorabilmente sull’ecosistema e sulle attività umane modificandoli profondamente.
Poiché l’indagine climatica copre un Bacino Idrogeologico di *estrema rilevanza* per il territorio lombardo, è inevitabile che le elaborazioni meteo-climatiche debbano essere sviluppate parallelamente a quelle idrogeologiche.
La disponibilità di riserve idriche è fondamentale per le attività primarie dell’uomo e gli eventi estremi possono avere un impatto rilevante sia sull’economia sia sull’ambiente.

Alcuni danni possono avere carattere temporaneo ed essere quindi recuperati alla fine del periodo, altri invece hanno carattere permanente.
E' evidente che modifiche ai sistemi di Circolazione Generale dell'Atmosfera si ripercuotono inesorabilmente anche a scala regionale, modificando profondamente il regime pluvio-termometrico.
Nel dettaglio i due principali attori del clima europeo sono da una parte l'Anticiclone delle Azzorre, dall'altra la Depressione semi-permanente dell'Islanda. Un indicatore della potenza di queste due strutture bariche è la North Atlantic Oscillation (NAO index) che è una differenza delle anomalie di pressione registrate fra Reykjavik e Ponta Delgada nelle Azzorre.
La dipendenza dalla NAO delle temperature e delle precipitazioni in Europa è particolarmente evidente durante il periodo invernale. Una fase positiva della NAO (Fig. 19) porta a condizioni più secche del normale nel settore centro-meridionale dell'Europa e nel Mediterraneo, mentre condizioni più umide si presentano in Islanda e Scandinavia. Opposte condizioni si verificano durante una fase di NAO negativa (Fig.20) nel periodo invernale.

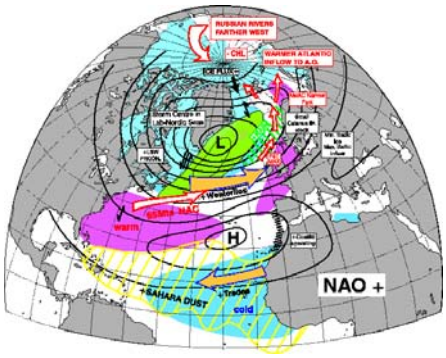


Fig.19: si osserva che durante una fase positiva si ha un irrobustimento dell'Anticiclone delle Azzorre, le traiettorie delle perturbazioni sono costrette a latitudini più settentrionali.

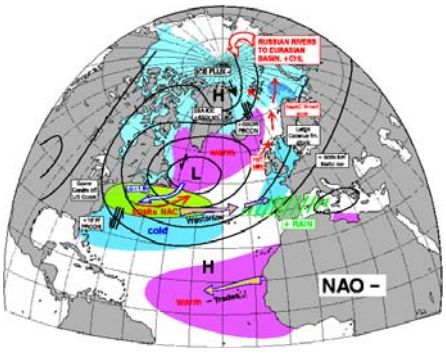


Fig.20: si osserva che durante una fase negativa, l'Anticiclone delle Azzorre influenza meno il Mediterraneo, consentendo al flusso oceanico a cui sono associati i sistemi frontali perturbati di scorrere a latitudini più meridionali.

L’intensità del Vortice Polare risulta determinante per il clima europeo.
L’AO (Artic Oscillation) è associata ad una profonda struttura simmetrica zonale con anomalie di pressione di segno opposto nella regione polare. La polarità positiva della AO è caratterizzata da un approfondimento del Vortice Polare. In queste condizioni le depressioni nord-atlantiche apportano maltempo alle alte latitudini con precipitazioni intense e temperature più miti.
Durante la polarità negativa della AO aria fredda affluisce sul Mediterraneo apportando condizioni di maltempo alle medio-basse latitudini.
Come risulta evidente NAO e AO sono fortemente correlate fra loro. I valori giornalieri e mensili di NAO e AO sono scaricabili dal sito della National Weather Service (*Climate Prediction Center*) all’indirizzo: **www.cpc.ncep.noaa.gov**.

8.3.1. Le ondate di gelo in Lombardia

In questo paragrafo verranno analizzate le più importanti ondate di gelo che hanno colpito il territorio lombardo nell’ultimo cinquantennio. La mappa in basso (Fig.21) mostra per intervalli di temperatura uguali le temperature minime estreme registrate dalle stazioni meteo.

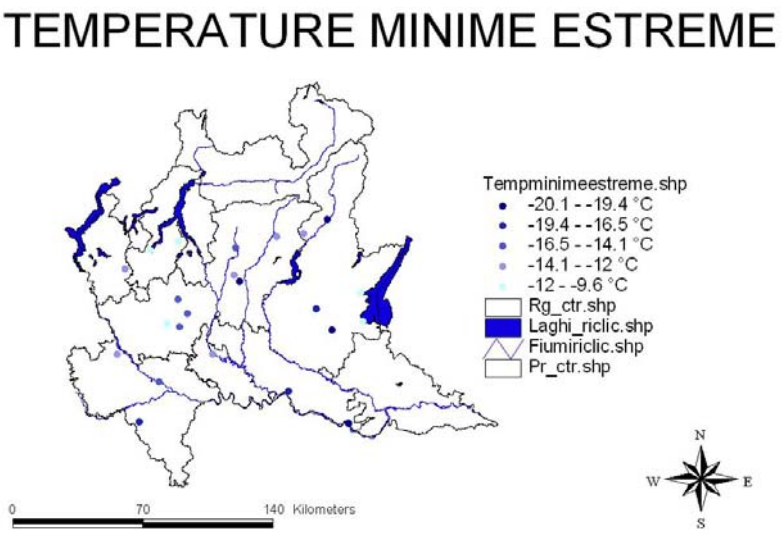


Fig.21: range di temperatura minima estrema è compreso fra i -9,6°C e i -20,1°C sul territorio lombardo.

La tabella successiva (Tab.6) mostra le temperature minime estreme per ciascuna stazione e il giorno in cui si è verificato il picco di gelo. Si osserva che le due più intense ondate di gelo che hanno colpito la regione lombarda sono quelle di metà febbraio 1956, metà gennaio 1985 e inizio febbraio 1991.

Stazione	Data	Temperatura minima estrema (°C)
Angolo Terme	24/01/1963	-12,0
Asso	03/01/1979	-11,0
Bergamo	07/02/1991	-12,4
Breno	14/12/1971	-20,0
Brescia	11/01/1985	-16,5
Casalmaggiore	12/01/1985	-19,5
Cernusco	09/01/1954	-15,0
Clusone	12/02/1956	-13,0
Como	16/02/1956	-10,4
Cremona	16/02/1956	-17,5
Desenzano	16/02/1956	-10,0
Ghedi	11/01/1985	-19,4
Lodi	15/02/1956	-13,0
Brera	12/02/1956	-10,7
Linate	16/02/1956	-15,6
Monza	16/02/1956	-15,5
Orio al Serio	15/02/1956	-20,1
Pavia	15/02/1956	-15,0
Salò	07/01/1985	-9,6
San Pellegrino	15/02/1956	-14,1
Venegono	07/01/1985	-13,3
Vigevano	12/01/1985	-12,0
Voghera	11/01/1985	-17,3

Tab. 6: temperature minime estreme per stazioni del bacino sub-lacuale

Nell'istogrammma successivo (Fig.22) sono mostrate le temperature minime estreme di ogni
stazione; si osservi che la stazione di Orio al Serio ha registrato la temperatura minima estrema di -20,1°C il 15 febbraio del 1956, valore più basso fra tutte le stazioni considerate.
Purtroppo molte serie termometriche risultano frammentate e incomplete; ciò non permette di effettuare valutazioni più accurate e confronti di maggior rilievo scientifico fra diverse zone del
territorio lombardo.

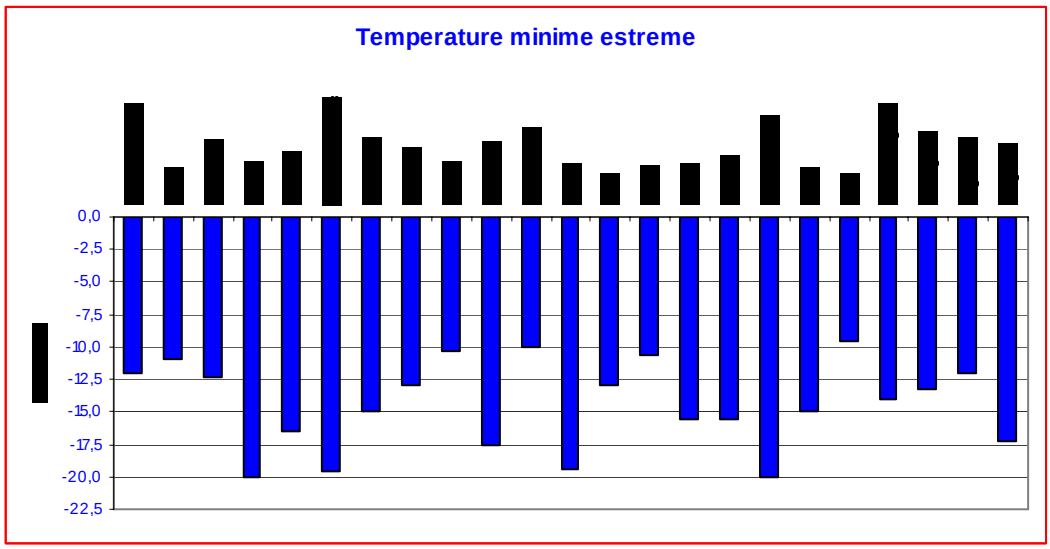


Fig.22: l'istogramma mostra le temperature minime estreme registrate. Il valore minimo è quello misurato dalla stazione dell'Aeronautica Militare di Orio al Serio.

Sarà ora analizzata la massiccia irruzione di aria fredda continentale di estrazione russo-siberiana che investì il Nord-Italia nel febbraio del '56, causando intense nevicate e gelo per tutto il mese, con temperature che in diverse località toccarono i -20°C anche in pianura.
Nella due mappe in basso (Fig.23) sono rappresentati le isobare riferite a livello del mare e l'altezza di geopotenziale a 500 mb. Si osserva un ponte anticiclonico disposto lungo i meridiani fra la Gran Bretagna e la Siberia, mentre sul lato orientale scorrono masse d'aria artica continentale in direzione del Mediterraneo. Intense correnti fredde da est si gettano dalla porta della Bora in direzione della Pianura Padana, mentre una depressione sul Golfo di Genova contribuisce a richiamare aria gelida. In queste condizioni in Lombardia si verificano tormente di neve associate a temperature gelide (vento di Burian).

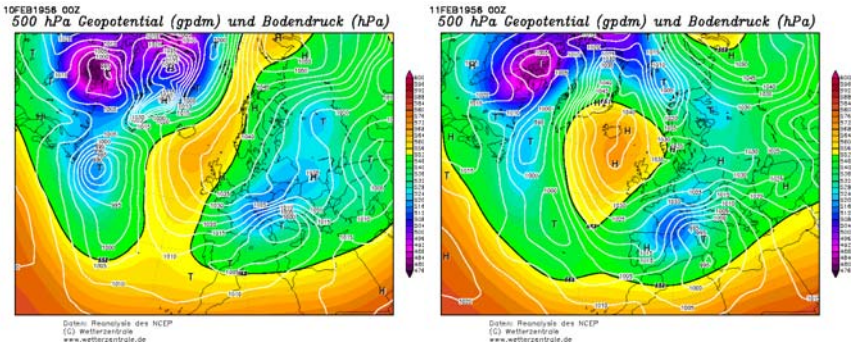


Fig.23: le due carte di reanalisi si riferiscono alle giornate del 10 e 11 febbraio, giorni in cui iniziò la potente irruzione gelida in Italia.

Le due carte di reanalisi successive (Fig.24) mostrano la temperatura alla superficie isobarica di 850 mb nei giorni 10 e 11 febbraio. Una notevole massa d'aria gelida interessa tutta l'Europa con valori prossimi ai -25°C sulle Alpi, mentre aria più mite (-5°C) si spinge a latitudini molto settentrionali fin verso le Isole Svalbard.

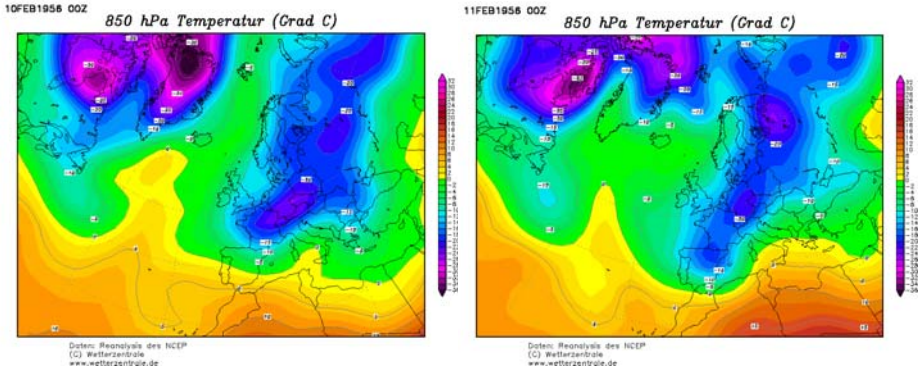


Fig.24: si osservino le temperature gelida a 850 mb e la provenienza siberiana della massa d'aria giunta sul Mediterraneo.

Anche nei giorni successivi, come mostrano le carte a 500 e 850 mb in basso (Fig.25), permane una circolazione depressionaria sull'Italia che richiama masse d'aria siberiane, acuendo il gelo e apportando intense nevicate su tutta la penisola.

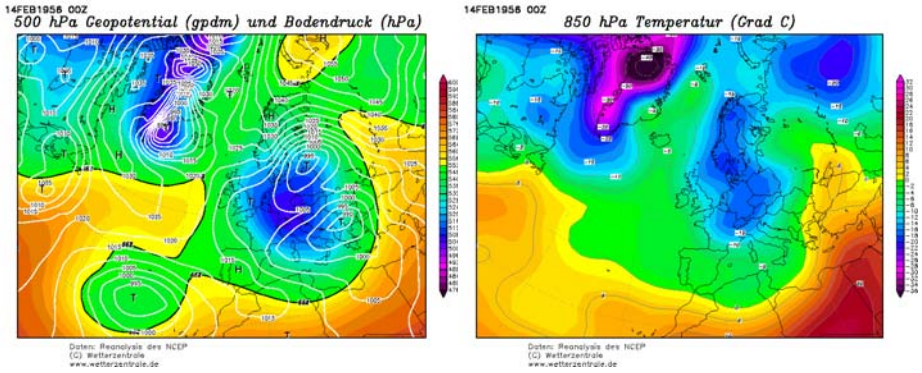


Fig.25: la prima mappa mostra una circolazione depressionaria ad est dell'Italia che richiama venti gelidi dai quadranti nord-orientali, con temperature prossime ai -15°C a 850mb come evidenziato dalla seconda carta.

Nelle due carte successive (Fig.26) è mostrata l'altezza media del geopotenziale a 500 e 850 mb nel mese di febbraio. Come facilmente si può osservare, i valori sono estremamente bassi ad entrambe le superfici a sottolineare la presenza di un nocciolo di aria gelida che portò alla formazione di una circolazione depressionaria sul Mediterraneo.

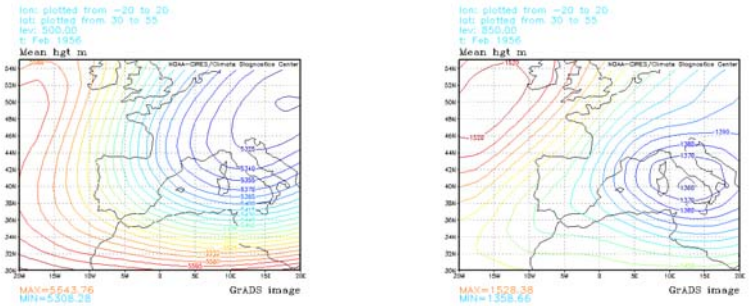


Fig.26: la prima carta mostra il geopotenziale medio a 850 mb nel mese di febbraio, la seconda mostra l'altezza di geopotenziale a 850 mb.

In conclusione sono mostrate (Fig.27) le mappe delle temperature medie a 500 e 850 mb per febbraio. Le temperature risultano decisamente più basse rispetto alle medie del periodo.

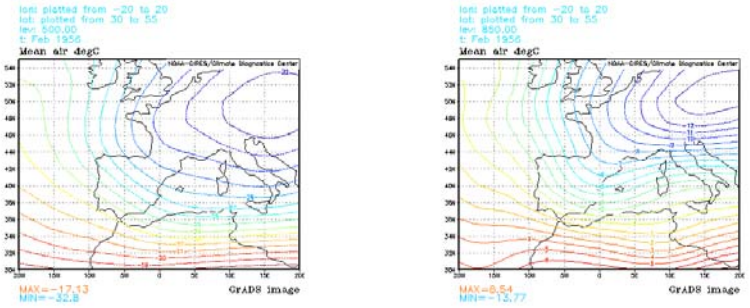


Fig.27: si osservino temperature molto basse a 500 e 850 mb su tutta Europa e anche sull'Italia.

8.3.2. Le onde di calore

Nell'ultimo ventennio vi è stato un deciso incremento delle temperature massime estive e un aumento nella frequenza delle onde di calore. Le elevate temperature combinate ad alti tassi di umidità hanno creato molti disagi alla popolazione. L'evento più noto è certamente l'estate del 2003, dove per circa due mesi si sono registrate temperature record su tutto il bacino del Mediterraneo a causa del rafforzamento di un anticiclone di matrice sub-tropicale che, oltre ad apportare temperature elevate, ha contribuito ad incrementare il tasso igrometrico.
Si osserva dai dati a nostra disposizione che non solo vi è stato un netto aumento delle temperature a partire dagli anni '90, ma il dato preoccupante è l'incremento nel numero di giorni in cui viene superata un certo *valore soglia*, per esempio la temperatura di 35 gradi.
Quindi risultano maggiori non solo la magnitudo ma anche l'ampiezza delle onde di calore.
Ciò comporta rischi agli ecosistemi naturali, il cui equilibrio risulta molto delicato e spesso regolato da parametri ambientali quali temperatura e umidità.
Gravi problemi si verificano ad alta quota, a causa dell'innalzamento dello zero termico e quindi alla fusione di notevoli masse di ghiaccio e perdita di importanti riserve d'acqua.

Da sottolineare il deterioramento e lo sgretolamento di molte pareti rocciose nelle Alpi che ora risultano instabili a causa della fusione di pellicole ghiacciate intrappolate fra le rocce.
La tabella in basso (Tab.7) mostra per ciascuna stazione le temperature massime estreme e il giorno in cui vi è stato l'apice dell'onda di calore. Si osservi che le tre più importanti onde di calore sono accadute in Lombardia nel luglio 1957, nel luglio 1983 e nell'agosto 2003.

Stazione	Data	Temperatura massima estrema
Angolo Terme	07/07/1957	40,0
Asso	22/07/1983	39,0
Bergamo	17/08/1974	43,0
Breno	22/07/1983	37,0
Brescia	11/08/2003	39,2
Casalmaggiore	21/07/2001	38,0
Clusone	06/07/1957	36,0
Como	12/08/2003	39,5
Cremona	19/08/2003	39,2
Desenzano	01/07/1968	34,5
Ghedi	07/07/1957	37,2
Lodi	07/07/1957	42,0
Milano Brera	11/08/2003	41,1
Linate	29/07/1983	37,2
Monza	29/07/1983	39,0
Olera	11/08/2003	39,2
Orio al Serio	29/07/1983	39,0
Pavia	16/08/1974	36,2
Salò	05/08/1994	36,8
San Pellegrino	30/07/1983	38,4
Valbondione	30/07/1983	38,4
Venegono inf.	21/07/1983	38,0
Vigevano	18/06/1960	36,9
Voghera	31/07/1974	37,4

Tab. 7: temperature massime estreme registrate nel cinquantennio in esame.

Il grafico successivo (Fig.28) mostra che nel cinquantennio in esame molte stazioni hanno raggiunto la soglia dei 40 gradi, ed in particolare la stazione di Lodi e Bergamo hanno fatto registrare massime estreme rispettivamente di 42°C e 43°C.

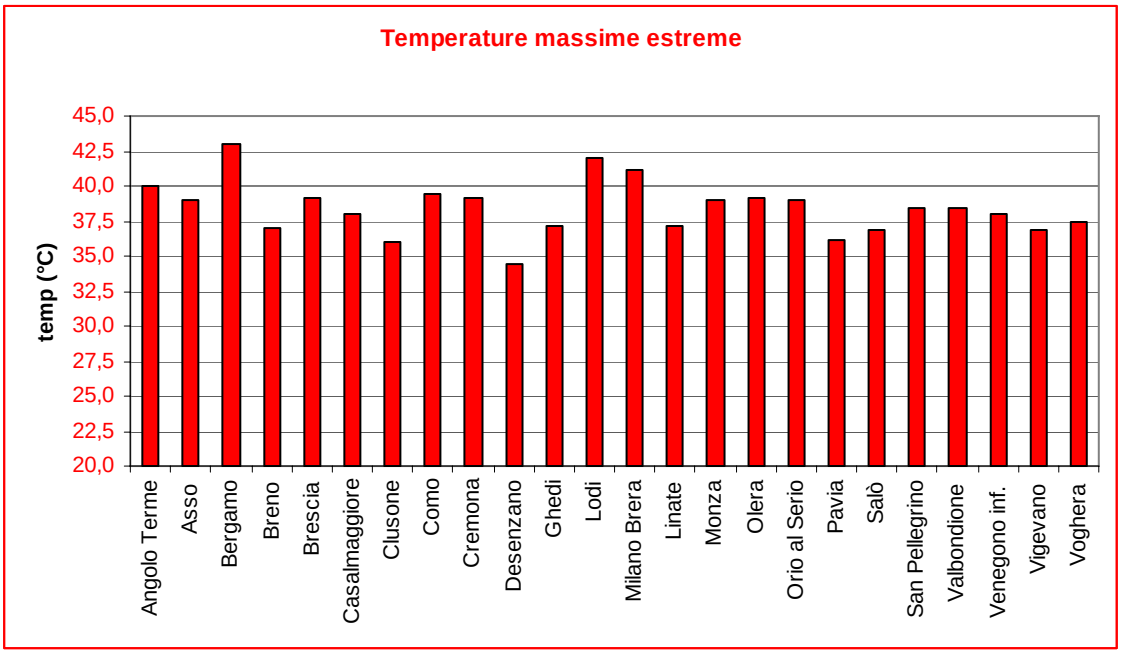


Fig.28: l'istogramma evidenzia le temperature massime estreme registrate. In alcune di queste stazioni è stata superata la soglia dei 40°C.

Si è svolta un'analisi meteorologica di due onde di calore, la prima avvenuta nel luglio del 1957, mentre la seconda nel luglio 1983. Si è preferito analizzare questi due eventi rispetto a quello del 2003, in primo luogo perché l'onda di calore del 2003 è già stata ampiamente studiata da molti meteo-climatologici, in secondo luogo perché risulta interessante ricercare in eventi passati configurazioni bariche con caratteristiche ricorrenti che permettano con un certo anticipo di prevedere un evento estremo e predisporre le misure atte alla protezione civile.
Un'onda di calore particolarmente intensa colpì il bacino del Mediterraneo e in una fase successiva anche il territorio lombardo nella prima decade di luglio del 1957.
Le temperature che si registrarono in Lombardia sfiorarono i 40°C, con un picco di ben 42°C a Lodi. L'onda di calore durò circa 4-5 giorni ed ebbe il suo culmine nelle giornate del 6 e 7 luglio.
La mappa di reanalisi della NCEP a 500 mb per il 6 luglio (Fig.29) evidenzia elevati geopotenziali su tutto il bacino del Mediterraneo, mentre una saccatura è presente a largo delle coste del Portogallo. Lo spostamento verso sud di questo nocciolo freddo in quota determina una risalita di aria calda di matrice sub-tropicale in direzione dell'Italia.

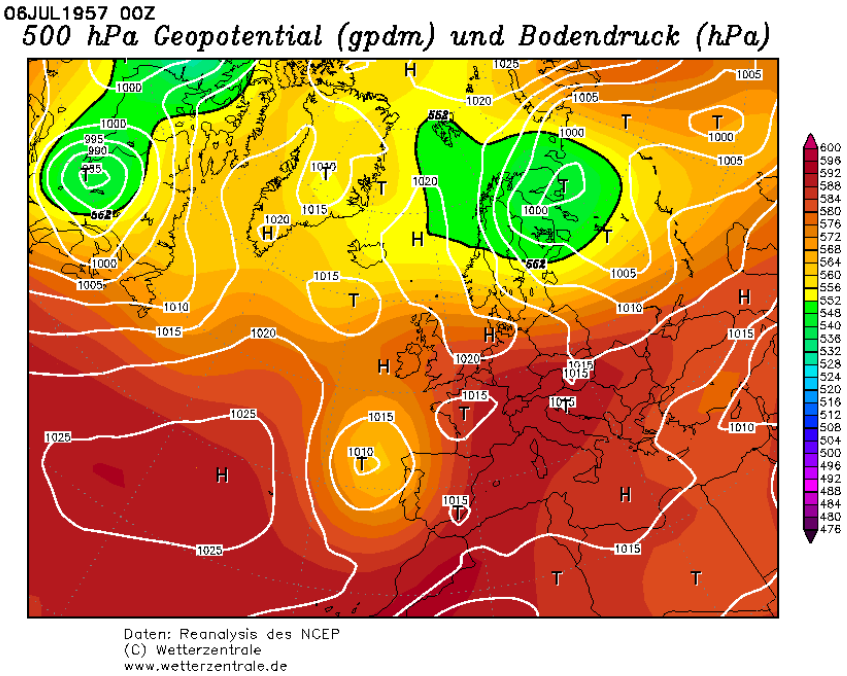


Fig.29: la mappa a 500 mb evidenzia elevati geopotenziali dal Nord Africa verso l'Italia, mentre una saccatura è presente a largo delle coste portoghesi.

Nella due mappe successive (Fig.30) sono rappresentate le isoterme a 850 mb nelle giornate del 6 e 7 luglio. Si osserva un'importante avvezione di aria calda di estrazione sub-tropicale che invade il bacino del Mediterraneo con isoterme di circa 22-23 gradi ad una quota di 1400-1500 m sul Nord-Italia e temperature prossime ai 40 gradi nella pianura lombarda.

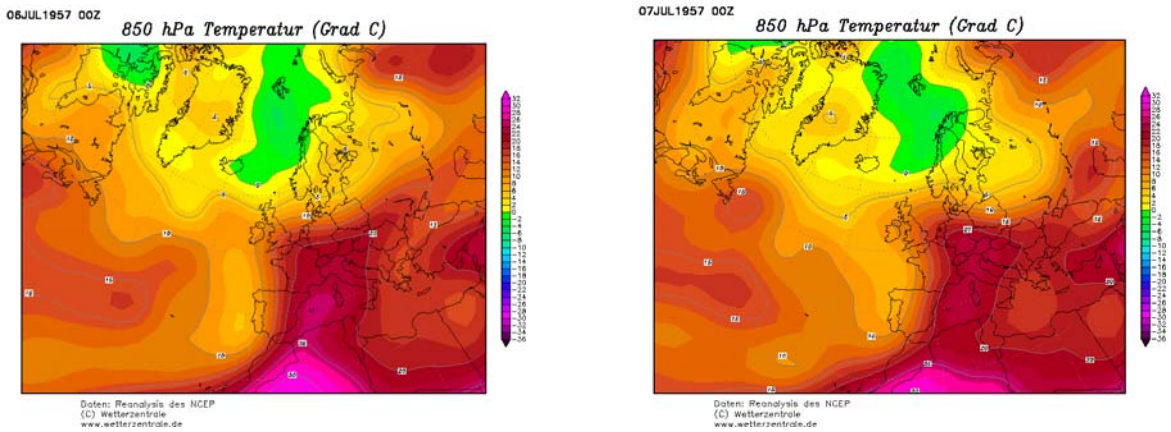


Fig.30: si nota dalle due mappe a 850 mb un'intensa avvezione di aria calda proveniente dalla regione nord-africana.

E’ interessante osservare la mappa dell’umidità relativa media nella prima decade di luglio (Fig.31) a 1000 mb.
In origine sul Nord Africa la massa d’aria risulta secca, ma attraversando il Mediterraneo si umidifica e in prossimità della catena alpina si ha un elevato tasso igrometrico, pari a quasi l’85%.
In conclusione le elevate temperature associate ad alti tassi di umidità apportarono sensazione di disagio alla popolazione per una circa una settimana, mentre a partire dal 10 luglio un calo dei geopotenziali a 500 mb e una rotazione dei venti dai quadranti settentrionali pilotate da una depressione scandinava determinarono un calo netto delle temperature.

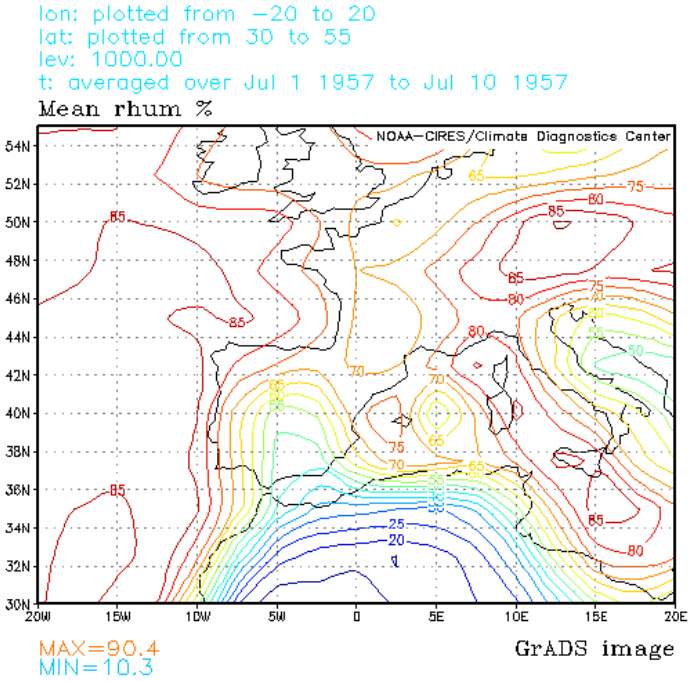


Fig.31: dalla mappa dell’umidità relativa mediata sulla prima decade di luglio si osserva che la massa d’aria calda acquista umidità scorrendo sopra il Mediterraneo.

Un’intensa onda di calore ha interessato la penisola italiana, specie nella parte sud-occidentale, nel luglio 1983, apportando temperature elevate anche in Lombardia specie nella terza decade. Si registrarono infatti temperature prossime ai 40°C in diverse località, non solo nella fascia di pianura ma anche in quella prealpina. Rilevanti furono le temperature massime di San Pellegrino e Valbodione, la prima posta a circa 400 m di altitudine e la seconda a 890 m, le quali raggiunsero i 38°C.
Nella mappa in basso (Fig.32) per il 27 luglio sono rappresentate nel primo riquadro l’altezza di geopotenziale a 500 mb e le isobare riferite a livello del mare. Si osservano due robusti anticicloni, il primo sull’oceano Atlantico, strutturato a tutte le quote, mentre un secondo anticiclone di matrice africana è presente sul Mediterraneo, specie la parte sud-occidentale. E’ presente invece un’area depressionaria sulla penisola iberica, la quale richiama venti dai quadranti meridionali nella sua parte anteriore sinistra. Nel secondo riquadro sono rappresentate le isoipse a 500 mb e la temperatura a tale superficie

isobarica. Si nota un nocciolo freddo di -15°C sulla penisola iberica, mentre aria più calda affluisce dalle regioni nord-africane in direzione dell'Italia. Il terzo riquadro mostra le isoipse a 850 mb e la temperatura a tale superficie. E' centrato sulla penisola italiana un robusto anticiclone di matrice sub-tropicale e le temperature a 850 mb sfiorano i 25°C anche sul Nord Italia. Nel quarto riquadro sono rappresentate le isoipse a 700 mb e l'umidità relativa a tale superficie. Si osserva che tale massa d'aria di estrazione africana risulta piuttosto secca, mentre l'interferenza con la depressione posta ad ovest delle Baleari determina un aumento del tasso igrometrico a 700 mb.

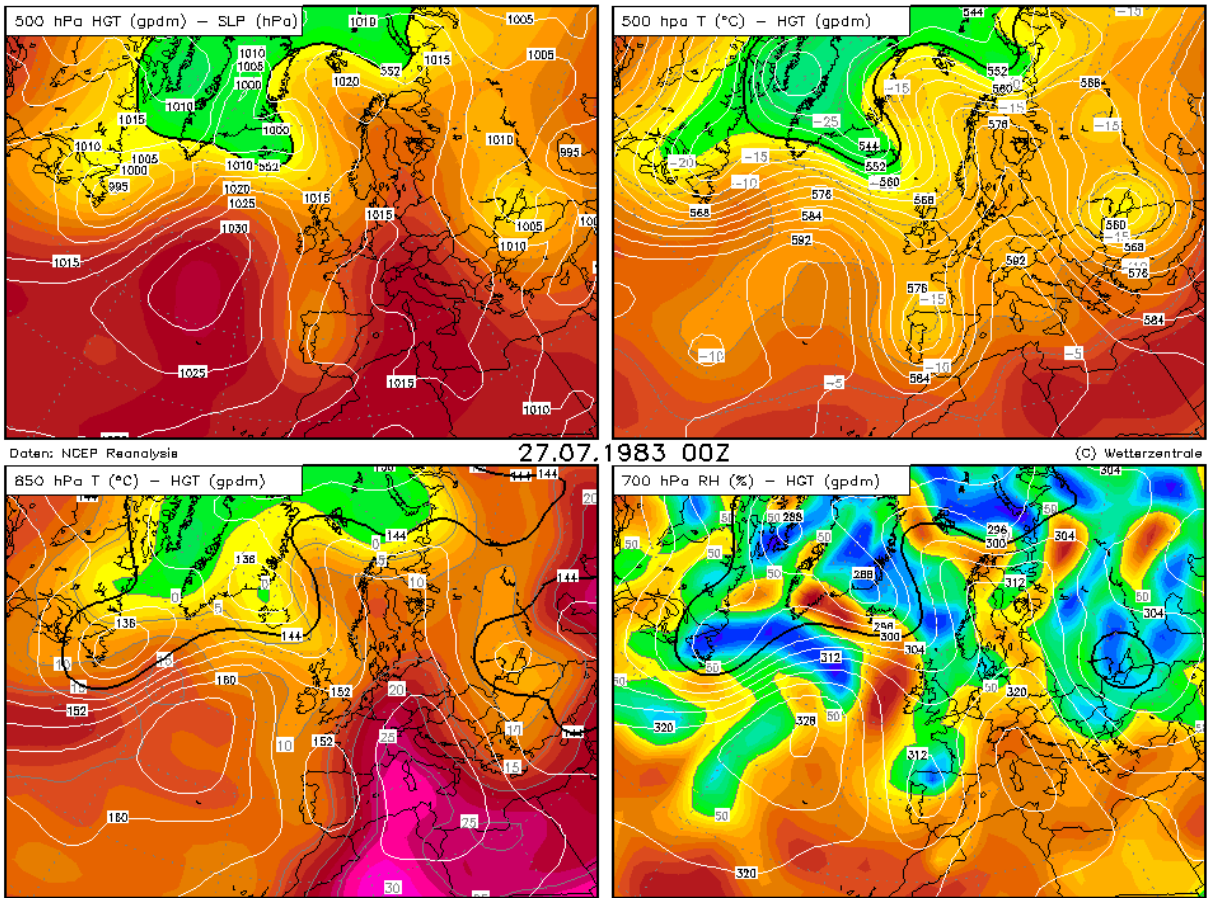


Fig.32: nei quattro riquadri è facile osservare l'intensa onda di calore che interessò la penisola italiana nella giornata del 27 luglio.

La mappa successiva (Fig.33) mostra la situazione barica alle diverse superfici isobariche nella giornata del 28 luglio. Si evidenzia un'avvezione calda di matrice africana che interessa l'Italia, con temperature superiori ai 25°C a 850 mb; d'altra parte si osserva un cedimento dei geopotenziali a tutte le quote a partire da ovest, a causa del movimento verso est della goccia fredda iberica che apportò un peggioramento delle condizioni meteorologiche su tutto il bacino del Mediterraneo a cui fu associata una diminuzione delle temperature.

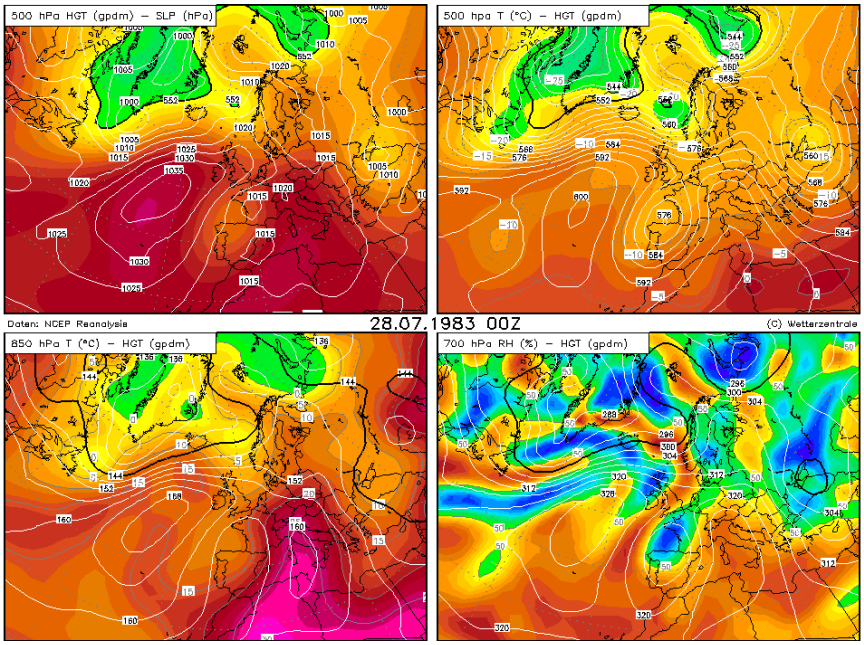


Fig.33: la mappa mostra per il 28 luglio un'intensa avvezione calda che interessa ancora la penisola italiana, anche se il movimento verso est della depressione iberica tenderà a smorzare l'onda di calore

La Fig.34 mostra il radiosondaggio effettuato a Milano Linate alle ore 00 del 26 luglio.
Si osservano temperature elevate in prossimità del suolo; inoltre è presente un'inversione termica fra i 400 e i 2000 m che inibisce i moti convettivi non permettendo il rimescolamento verticale della colonna d'aria.

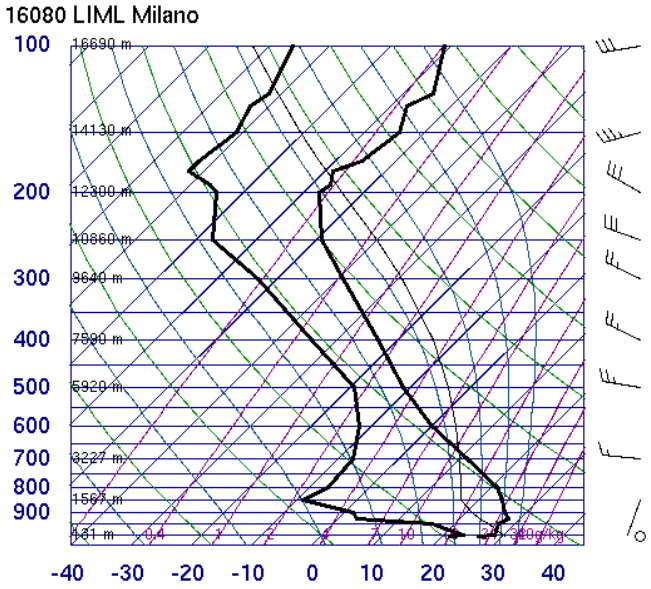


Fig.34: il radiosondaggio mostra una colonna d'aria in condizioni anticicloniche, con scarso rimescolamento verticale e un tappo fra gli 900 e gli 800 mb.

Nell'ultima tabella in basso (Tab.8) sono elencati il livello, la quota, la temperatura, il dew point o punto di rugiada, l'umidità relativa, la velocità e la direzione del vento della colonna d'aria alle ore 00 a Milano Linate. Si evidenziano le elevate temperature notturne, l'elevato tasso di umidità e la scarsa ventilazione in prossimità del suolo. Inoltre è presente un'inversione termica a 925 mb, circa 820 m, dove la temperatura raggiunge un valore record di 28°C; lo zero termico è posizionato a quote elevatissime, sopra i 4500 m

Livello	Quota	Temp.	D.P.	U.R.	Vel.	Dir.
1003 hPa	103 m	26.0°C	21.2°C	75%	0 Km/h	--
1000 hPa	131 m	28.4°C	23.4°C	74%	4 Km/h	300° (WNW)
950 hPa	588 m	27.4°C	16.4°C	51%	4 Km/h	268° (W)
925 hPa	824 m	28.0°C	3.0°C	20%	4 Km/h	252° (WSW)
900 hPa	1066 m	26.4°C	1.4°C	20%	4 Km/h	235° (SW)
850 hPa	1567 m	24.0°C	-9.0°C	10%	4 Km/h	200° (SSW)
800 hPa	2093 m	21.0°C	-7.0°C	15%	13 Km/h	223° (SW)
700 hPa	3227 m	11.4°C	-7.6°C	26%	31 Km/h	275° (W)
600 hPa	4489 m	0.0°C	-12.0°C	40%	39 Km/h	277° (W)
500 hPa	5920 m	-11.1°C	-19.1°C	52%	46 Km/h	280° (W)
400 hPa	7590 m	-23.1°C	-34.1°C	36%	43 Km/h	295° (WNW)
300 hPa	9640 m	-39.1°C	-53.1°C	21%	48 Km/h	295° (WNW)
250 hPa	10860 m	-49.1°C	-67.1°C	10%	52 Km/h	290° (WNW)
200 hPa	12300 m	-57.3°C	-74.3°C	10%	59 Km/h	300° (WNW)
193 hPa	12526 m	-56.7°C	-76.7°C	6%	61 Km/h	294° (WNW)
180 hPa	12966 m	-58.7°C	-82.7°C	3%	63 Km/h	284° (WNW)
172 hPa	13254 m	-55.5°C	-82.5°C	2%	65 Km/h	276° (W)
150 hPa	14130 m	-54.1°C	-81.1°C	2%	69 Km/h	255° (WSW)
133 hPa	14895 m	-57.1°C	-83.1°C	2%	65 Km/h	256° (WSW)
125 hPa	15288 m	-55.1°C	-82.1°C	2%	63 Km/h	257° (WSW)
100 hPa	16690 m	-61.1°C	-86.1°C	2%	56 Km/h	260° (W)

Tab. 8: i valori del radiosondaggio di Linate.

8.3.3. I periodi siccitosi

E' stata effettuata un'analisi dei principali eventi siccitosi che hanno colpito la regione Lombardia nell'ultimo cinquantennio. Come evento siccitoso s'intende un periodo con precipitazioni pari a 0 mm per almeno 45 giorni consecutivi. Si osserva dalla tabella in basso (Tab. 9) che il periodo più secco è quello invernale, specie sulla fascia pedemontana e prealpina del territorio lombardo, mentre un periodo secco si ha nel periodo estivo solo per la fascia di pianura, mentre per le zone in prossimità di catene montuose ciò non si verifica a causa della forte instabilità atmosferica e al frequente sviluppo di temporali nel trimestre giugno-luglio-agosto.

trimestre	numero eventi "scarse precipitazioni" (RR=0 mm >45 days) stazioni ultimi 50 anni	%
dicembre-gennaio-febbraio	124	72
marzo-aprile-maggio	4	2,3
giugno-luglio-agosto	1	8,1
settembre-ottobre-novembre	35	17,6

Tab. 9: il trimestre con più scarse precipitazioni risulta quello invernale

Un indice fondamentale per valutare periodi mediamente più secchi o mediamente più umidi è come abbiamo già visto la NAO. Questo indice ha maggiore significatività nel periodo invernale e quindi verrà preso in considerazione la NAO Seasonal Index nel trimestre dicembre-gennaio-febbraio. Valori positivi della NAO SI indicheranno un inverno particolarmente secco, con perturbazioni costrette a transitare sul Nord-Europa.
Associati a valori negativi di NAO SI vi saranno invece inverni più piovosi sul bacino del Mediterraneo e quindi maggiori precipitazioni anche sul territorio lombardo.
Nella tabella in basso (Tab.10) sono mostrati gli eventi siccitosi di maggior rilievo nel periodo 1951-2003. In particolare nell'ultimo ventennio si osserva un aumento nella frequenza di eventi siccitosi in Lombardia, i cui effetti si ripercuotono sulla disponibilità delle risorse idriche specie per l'utilizzo irriguo. E' interessante osservare che l'anno 2003 non solo ha fatto registrare un'estate "*estrema*", ma anche un periodo particolarmente siccitoso nel trimestre invernale, aggravando così l'emergenza idrica nel periodo estivo. Nel sottoparagrafo successivo verrà analizzato il periodo siccitoso avvenuto nel trimestre invernale: dicembre 1988 – gennaio febbraio 1989.

eventi rilevanti
dicembre-gennaio-febbraio 1988-1989
gennaio-febbraio-marzo1953
dicembre-gennaio-febbraio-marzo 1992-1993
gennaio-febbraio-marzo 2003

Tab. 10: gli eventi siccitosi di maggior rilievo nel territorio lombardo.

Nel periodo invernale 1988-1989 su tutto il Nord-Italia vi furono scarse precipitazioni; alcune stazioni meteo registrarono precipitazioni nulle per oltre 50 giorni.
Questa situazione fu determinata da un robusto anticiclone che stazionò per più di due mesi sul bacino occidentale del Mediterraneo.
L'indice NAO stagionale DJF mostra un valore molto positivo di +3,4 e così anche per il trimestre JFM con valori prossimi a +4 a sottolineare ancora una volta una forte attività del Vortice Polare sul Nord-Europa, mentre il tempo sul Mediterraneo fu prettamente anticiclonico e secco. Nelle due mappe successive (Fig.35) è rappresentata l'altezza di geopotenziale medio a 500 mb nei mesi di dicembre 1988 e gennaio 1989. Si osservi che nel mese di dicembre un robusto anticiclone interessa soprattutto la penisola iberica, proteggendo anche l'Italia, specie il settore occidentale, dalle perturbazioni nord-atlantiche. Nel mese di gennaio l'anticiclone si è spostato ancora più ad est e determina sull'Italia e anche in Lombardia una forte stabilità atmosferica, con scarsa circolazione e inibizione di moti convettivi ascensionali a causa della compressione delle masse d'aria dovute alla circolazione anticiclonica (Fig.36).

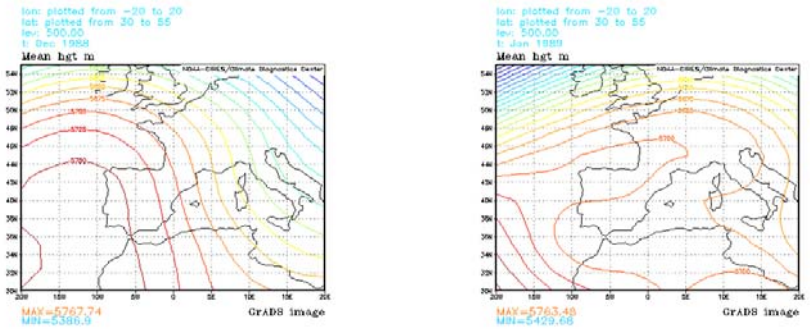


Fig.35: le due mappe di reanalisi per i mesi di dicembre e gennaio mostrano condizioni anticicloniche e quindi scarsa ventilazione e precipitazioni pressoché nulle sulla Lombardia.

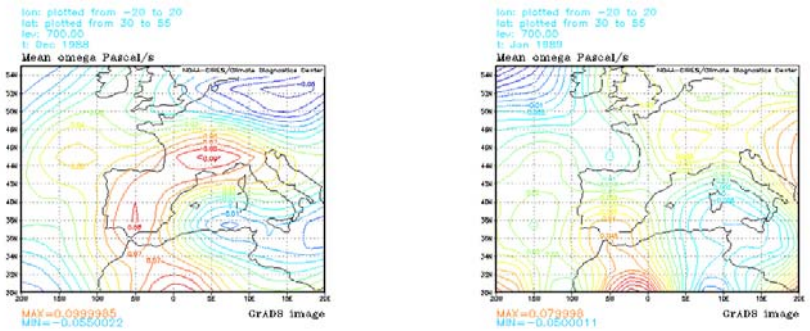


Fig.36: le due mappe mostrano le velocità verticali alla superficie isobarica di 700 mb. Si notino valori postivi ad indicare una compressione dall'alto verso il basso delle masse d'aria esercitata dal robusto anticiclone e una completa inibizione dei moti ascensionali convettivi.

Le due ultime mappe (Fig.37) mostrano la pressione riferita a livello del mare nei mesi di gennaio e febbraio. L'anticiclone risultò ben strutturato a tutte le quote e questo gli consentì di permanere per più di due mesi sul Mediterraneo apportando condizioni stabili e secche.

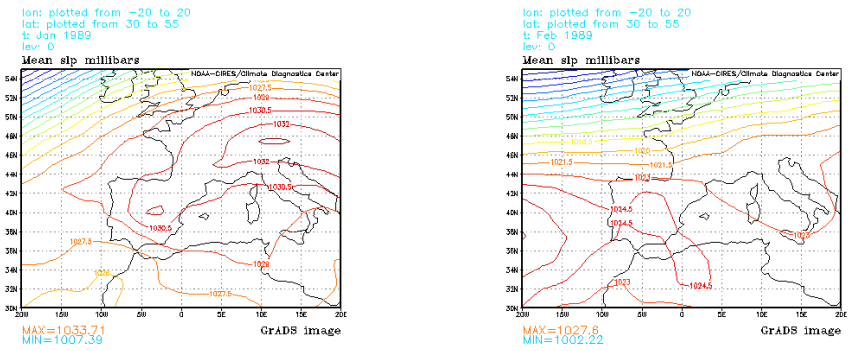


Fig.37: le due mappe mostrano la pressione media riferita a livello del mare per i mesi di gennaio e febbraio. Si osservi che le perturbazioni siano costrette a muoversi a latitudini molto settentrionali.

8.3.4. Gli eventi piovosi in Lombardia

Nel seguente paragrafo sono analizzati i principali eventi piovosi, molti dei quali con caratteristiche alluvionali, che colpirono la regione Lombardia nell'ultimo cinquantennio.
Nella mappa in basso (Fig.38) sono riportate, per intervalli regolari, le precipitazioni massime giornaliere per ciascuna stazione in esame. Si osservi che le stazioni poste in prossimità di catene montuose (prealpi e appennini) registrano valori maggiori rispetto a quelle di pianura, poiché le barriere orografiche amplificano l'effetto stau, in condizioni cicloniche con attivazione di venti umidi dai quadranti meridionali.

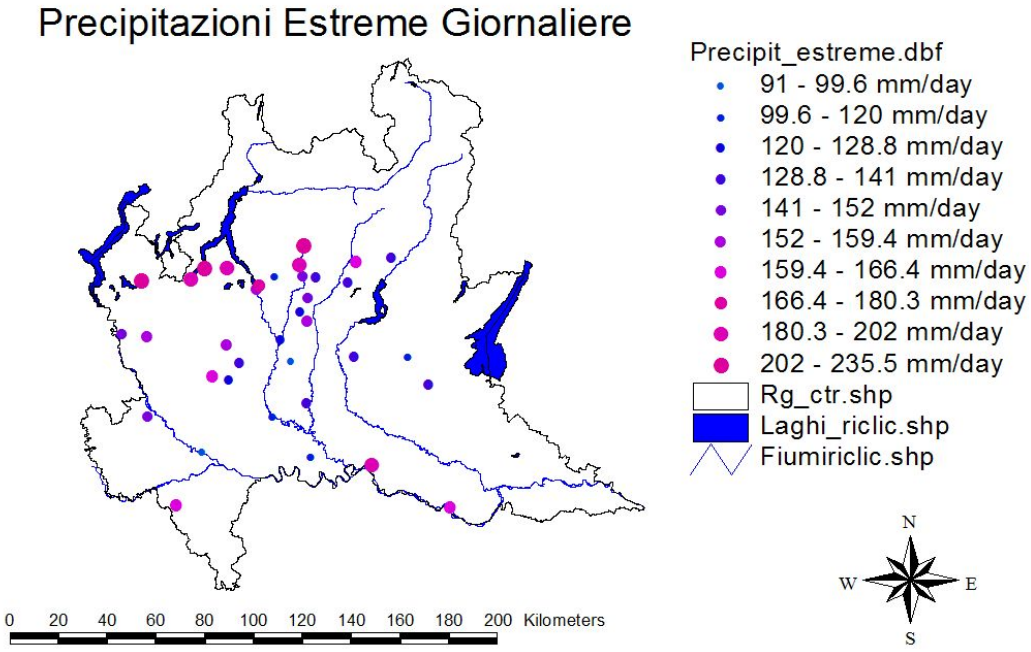


Fig.38: dalla carta si notino precipitazioni di oltre 200 mm in un giorno fatte registrare da stazioni poste in prossimità di barriere orografiche.

La tabella in basso (Tab. 11) mostra i valori di precipitazione massima giornaliera e il giorno in cui si è verificato l'evento estremo.
Una precipitazione superiore ai 100 mm/giorno può causare allagamenti in zone particolarmente sensibili, mentre valori superiori ai 150-200 mm/giorno causano diversi danni, come allagamenti e smottamenti, a causa della mancata ricezione delle piogge da parte non solo dei bacini ma anche delle reti fognarie.
Le stazioni poste in pianura come Pavia e Lodi misurano valori inferiori ai 100 mm/giorno, Lodi e Codogno invece superano la soglia dei 100 mm/giorno. Valori superiori alla soglia di 200 mm/giorno si registrano nelle stazioni di Asso, Como, Piazza Brembana, Faggeto Lario e Varese.

Stazione	Data	Precipitazione massima giornaliera
Pavia	10/11/1957	91,0
Treviglio	02/08/1983	99,6
Lodi	14/09/1995	107,3
Codogno	18/08/1979	117,2
Brescia	27/06/1958	118,5
Rotafuori Imagna	01/10/1958	120,0
Brembate	21/09/1979	125,2
Bergamo	25/09/1993	128,0
Linate	24/08/1987	128,8
Angolo Terme	22/09/1979	135,0
Crema	23/09/1993	135,0
Chiari	22/09/1979	137,4
Ghedi	17/05/2001	138,8
Cernusco	25/08/1987	140,0
Costa Serina	10/09/1976	140,0
Gandino	27/06/1997	141,0
Malpensa	18/06/1983	145,2
S.Pellegrino Terme	12/10/1988	148,0
Vigevano	15/10/1996	150,0
Olera	25/04/1990	152,0
Orio al Serio	21/08/1970	156,4
Monza	24/09/1993	157,2
Busto Arsizio	18/10/1978	159,0
Olginate	25/08/1987	159,4
Brera	18/08/1979	161,2
Voghera	12/10/1988	162,8
Casalmaggiore	19/08/1979	163,2
Clusone	22/09/1979	166,4
Calolziocorte	24/08/1987	180,3
S.Giovanni Bianco	04/09/1960	196,0
Cremona	18/08/1979	196,4
Asso	24/04/1952	201,0
Como	28/04/1952	202,0
Piazza Brembana	03/11/2003	215,0
Faggeto Lario	10/09/1992	228,0
Varese	13/09/1995	235,5

Tab. 11: le precipitazioni massime giornaliere registrate dalle stazioni.

E' stata effettuata un'analisi a scala mensile delle precipitazioni massime registrate dalle stazioni dal 1951 al 2003.
Nella tabella in basso (Tab.12) sono mostrate per ciascuna stazione i valori di precipitazione massima mensile e l'anno e il mese in cui si verificarono. Ancora una volta si osservi che i valori massimi si registrano nella fascia pedemontana e prealpina, con punte superiori a 700 mm/mese.

Stazione	Anno	Mese	Precipitazione massima mensile (mm)
Chiari	1993	9	250,2
Voghera	1988	10	257,8
Cremona	1953	10	295,4
Casalmaggiore	1964	10	321,7
Vigevano	2000	10	327,0
Lodi	1953	10	328,5
Milano Brera	1976	10	374,0
Monza	1953	10	381,7
Treviglio	1953	10	387,8
Codogno	1953	10	389,0
Pavia	1976	10	402,4
Ghedi	1953	10	412,9
Milano Linate	1976	10	416,9
Busto Arsizio	1989	4	417,0
Crema	1953	10	421,2
Angolo Terme	1976	9	424,0
Bergamo	1953	10	429,8
Milano Malpensa	1984	5	441,1
Brescia	1953	10	449,8
Orio al Serio	1953	10	474,9
Clusone	1953	10	478,6
Cernusco sul Naviglio	1976	10	481,6
Brembate Sotto	1953	10	485,0
Rotafuori	1960	9	504,0
Olginate	2000	11	520,8
Piazza Brembana	1983	5	525,0
Gandino	1984	5	527,8
Como	1989	4	529,1
Calolziocorte	1953	10	539,1
San Pellegrino	2002	11	564,5
Pagnona Premana	1965	9	618,0
Varese	1951	11	620,2
San Giovanni Bianco	1960	9	625,0
Costa Serina	1951	11	627,0
Asso	1976	10	631,4
Valbondione	1983	5	689,0
Vedeseta	1976	10	736,4
Faggeto Lario	1976	10	769,0
Garzeno	1986	4	998,0

Tab. 12: le precipitazioni massime mensili nel cinquantennio in esame.

Nel grafico successivo (Fig.39) si può facilmente osservare che in autunno e in primavera si registrano valori massimi di precipitazione.
In particolare il mese di ottobre risulta il più piovoso sul territorio lombardo, mentre interessante è osservare che nel mese di settembre si verificano intense precipitazioni, soprattutto sulla fascia prealpina centro-orientale.

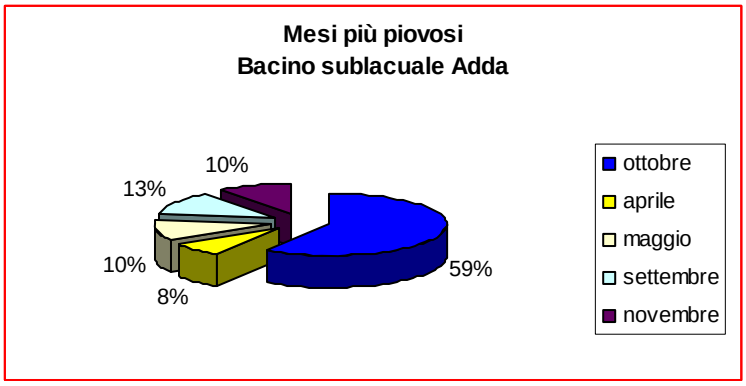


Fig.39: il mese più piovoso in Lombardia risulta ottobre, intense precipitazioni si verificano anche nei mesi di settembre, novembre, maggio e aprile.

La tabella in basso (Tab. 13) mostra gli eventi piovosi più intensi verificati dal 1951 al 2003 in Lombardia. In particolare sono indicati l'anno e il mese dell'evento e il numero di stazioni che hanno fatto registrare valori massimi di precipitazione mensile nel cinquantennio considerato.
Sarà sviluppata un'analisi meteorologica di due periodi estremamente piovosi, il primo nell'ottobre del 1953, il secondo alluvionale di ottobre-novembre del 2000.

anno	eventi piovosi intensi	numero stazioni
1976	ottobre-76	8
1951	novembre-51	2
1983	maggio-83	2
1989	aprile-89	2
1984	maggio-84	2
1960	settembre-60	2
1953	ottobre-53	13
1964	ottobre-64	1
1965	settembre-65	1
1986	aprile-86	1
1988	ottobre-88	1
1993	settembre-93	1
2000	ottobre-novembre 2000	2

Tab. 13: gli eventi più piovosi in Lombardia.

Verrà ora analizzata la configurazione barica che determinò precipitazioni abbondanti sul territorio lombardo nella prima e nella terza decade di ottobre 1953.

Le due mappe in basso (Fig.40) mostrano la situazione barica a tre diverse superfici isobariche, 500 mb, 850 e 700 mb, per i giorni 16 e 17 ottobre. Si può osservare sul Mediterraneo centro-occidentale la presenza di una circolazione depressionaria ben strutturata a tutte le quote, a cui è associato un nocciolo freddo (circa -20°C) a 500 mb che causa una forte "*instabilizzazione"* dell'atmosfera.
Sul Nord-Italia sono attive correnti dai quadranti meridionali (Fig.41) che determinano un intenso fenomeno di stau, con precipitazioni abbondanti registrate da diversi pluviometri, specie sulla fascia pedemontana e prealpina.

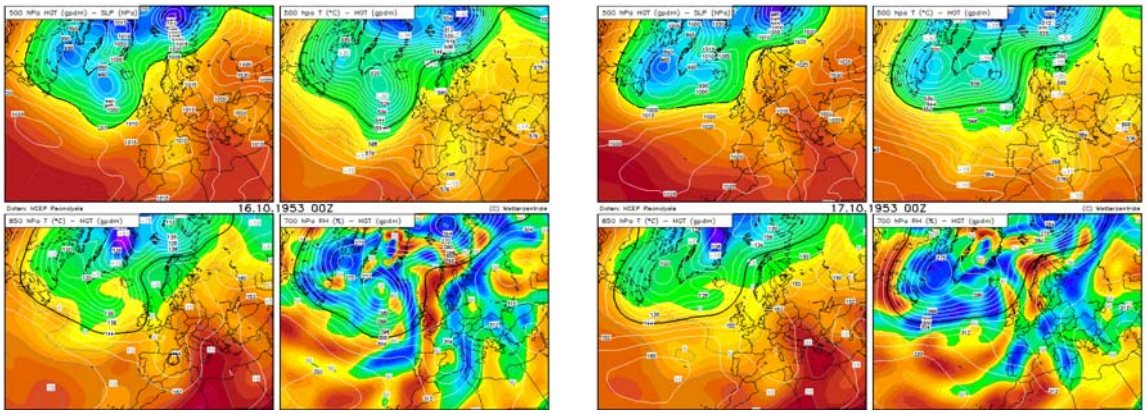


Fig.40: le carte di reanalisi per il 16 e 17 ottobre mostrano una depressione sul Mediterraneo occidentale a cui sono associate intense correnti dai quadranti sud-occidentali che si addossano alla catena alpina e prealpina centro-occidentale.

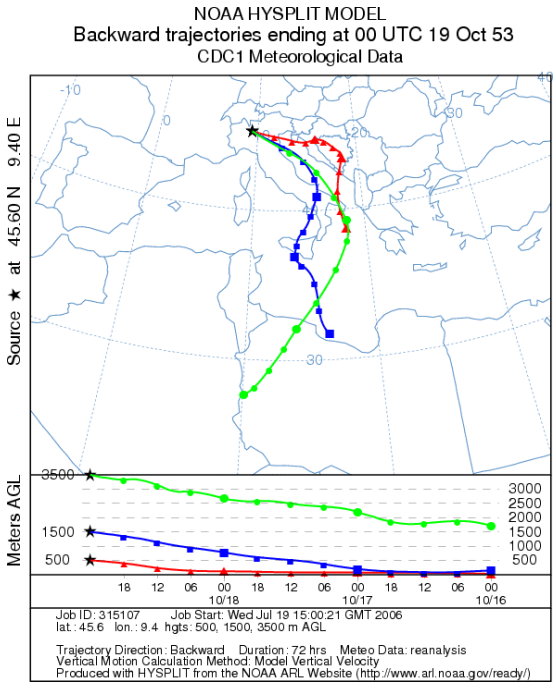


Fig.41: le retro-traiettorie calcolate dal modello HYSPLIT 4 della NOAA mostrano che le masse d'aria giunte alle tre diverse quote, 3500 m, 1500 m e 500 m in Lombardia, sono di estrazione nord-africana, e hanno viaggiato in seno ad una circolazione depressionaria poiché vi è stato un innalzamento di quota rispetto al punto di origine.

Nella terza decade di ottobre una profonda circolazione depressionaria con un minimo posto fra la Scozia e l'Islanda (Fig.42) determinò un flusso di correnti sud-occidentali su tutto il bacino del Mediterraneo e ancora una volta queste masse d'aria umide interesseranno la catena alpina e prealpina centro-occidentale, apportando una seconda ondata di maltempo in Lombardia. Inoltre la presenza di un robusto anticiclone sull'Europa orientale determinò uno sbarramento al movimento verso est della depressione, creando una condizione di persistenza del maltempo sui versanti esposti a tale flusso meridionale.

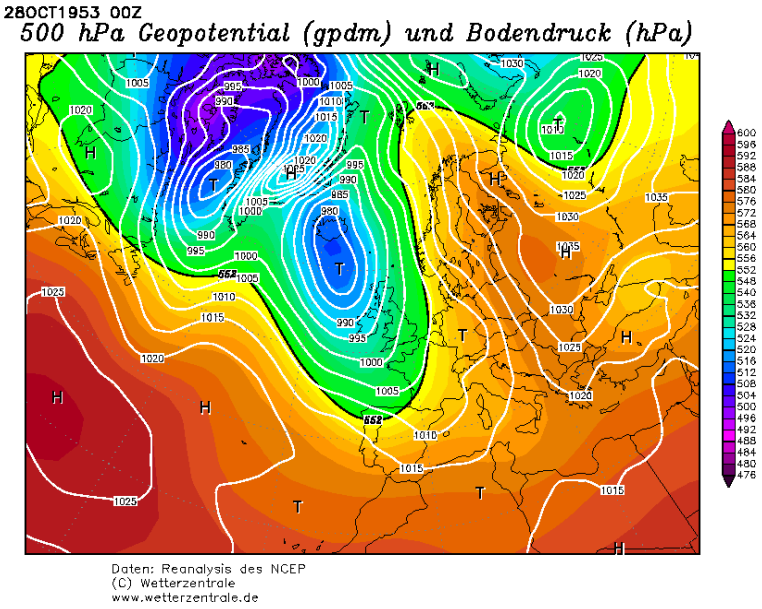


Fig.42: si osserva dalla mappa di reanalisi del 28 ottobre la presenza di due importanti figure bariche: una profonda depressione sull'Islanda e un robusto anticiclone sull'est europeo. Sul bacino centro-occidentale del Mediterraneo sono attive intense correnti d'aria umida dai quadranti meridionali.

Le due ultime mappe di reanalisi (Fig.43) evidenziano la presenza di due nuclei di velocità verticali negative alla superficie isobarica di 700 mb, a dimostrare che nella terza decade vi furono intense correnti ascensionali associate a convezione e forti piogge in Lombardia.

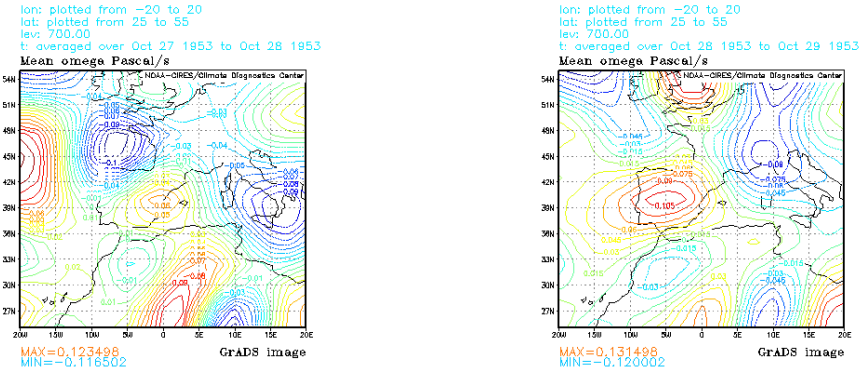


Fig.43: si osservano nei due periodi 27-28 ottobre (a sinistra) e 28-29 ottobre (a destra) due nuclei di velocità verticali negative sul Nord-Italia alla superficie isobarica di 700 mb.

Sarà esaminato ora l'evento alluvionale di ottobre-novembre 2000 dove caddero sul settore nord-occidentale dell'Italia e in Lombardia ingenti quantitativi di piogge. A seguito di queste intense precipitazioni vi furono numerosi allagamenti, frane e smottamenti che impegnarono per più giorni la protezione civile.
Responsabili di questo forte episodio di maltempo furono almeno un paio di profonde depressioni che si avvicendarono nei mesi in esame.
La prima ondata di maltempo avvenne nella seconda decade di ottobre come mostrano le mappe di reanalisi per il 15 e 16 di ottobre (Fig.44). Si può osservare che a tutte le superfici isobariche sia ben strutturata una circolazione depressionaria la quale pone i suoi minimi in corrispondenza delle isole Baleari. Un nocciolo freddo in quota è presente a 500 mb con temperature prossime ai -20°C sul nord-ovest dell'Italia nella giornata del 17 di ottobre.
Un intenso richiamo caldo sul bordo orientale della struttura depressionaria influenza il bacino centro-orientale del Mediterraneo. Il forte contrasto fra queste due masse d'aria dalle caratteristiche differenti sviluppa intensi sistemi perturbati a cui sono associate precipitazioni abbondanti come mostrato dal modello ad area limitata Bolam (Fig.45) sul nord-ovest italiano
.

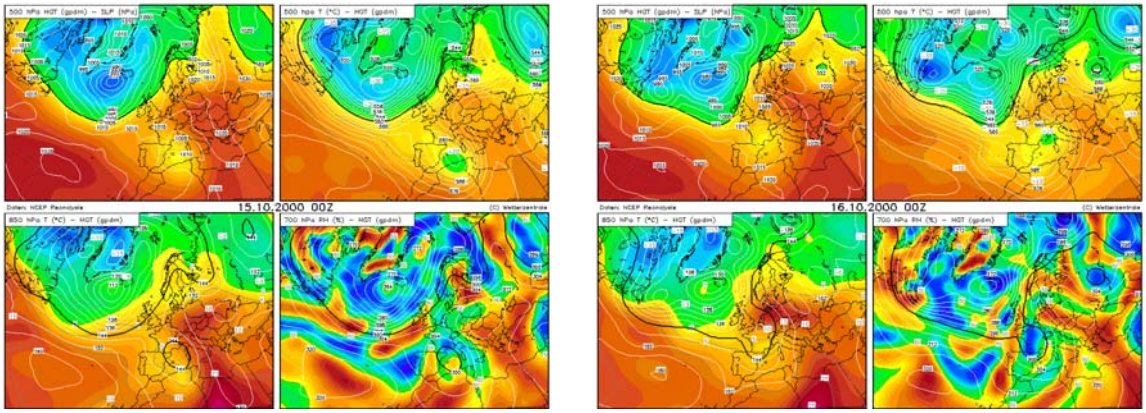


Fig.44: si osservi una profonda struttura depressionaria in prossimità delle isole Baleari e il forte contrasto fra le masse d'aria più fresche di origine atlantica e quelle più calde di origine nord-africana, il cui terreno d'incontro risulta proprio il settore nord-occidentale dell'Italia.

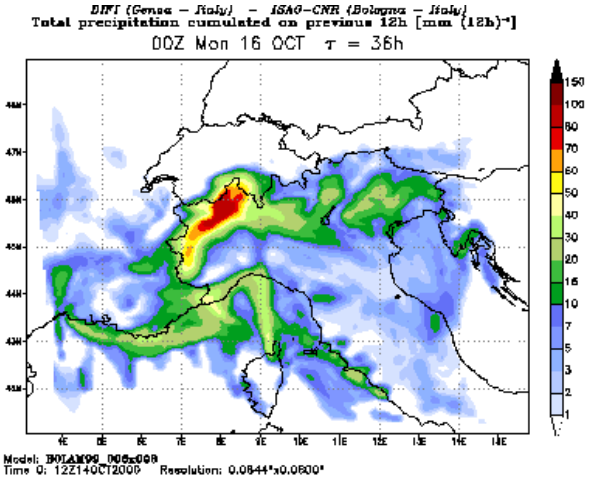


Fig.45: punte di oltre 100 mm/12h sono previste da Bolam sul settore nord-occidentale della Lombardia

Le due immagini dal satellite Meteosat 7 (Fig.46) evidenziano lo sviluppo di un intenso sistema perturbato che interessa il settore occidentale della penisola italiana, pilotato da un centro depressionario sulle Baelari, alimentato da aria più fredda di estrazione atlantica

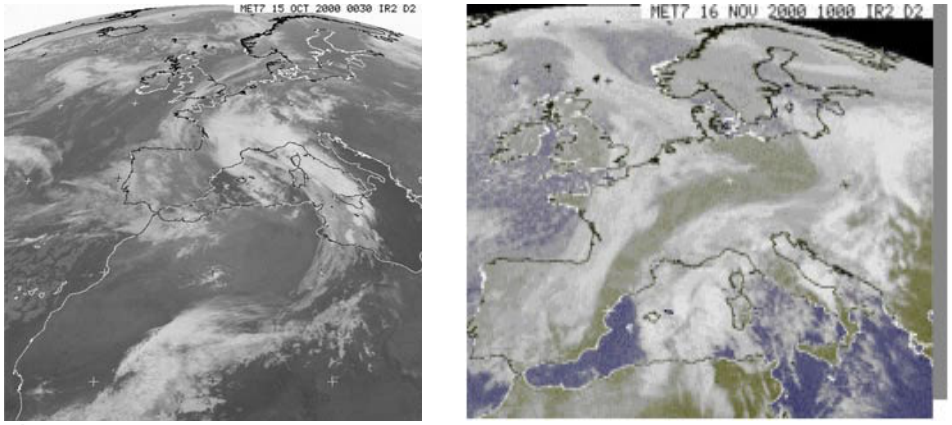


Fig.46: a sinistra è mostrata l'immagine IR ad satellite per il 15 ottobre, mentre a destra quella Vis per il 16 ottobre. In entrambe si osserva un intenso sistema perturbato che interessa l'ovest dell'Italia.

Nelle due mappe successive (Fig.47) è mostrata l'analisi barica riferita a livello del mare (MSLP) elaborata da MetOffice nei giorni 14 e 15 ottobre. La depressione Josefine interessa il bacino occidentale del Mediterraneo, con un minimo depressionario in spostamento dalle Baleari verso il mar di Corsica, a cui sono associati un fronte caldo e uno freddo e due linee di instabilità, una prefrontale e una postfrontale.

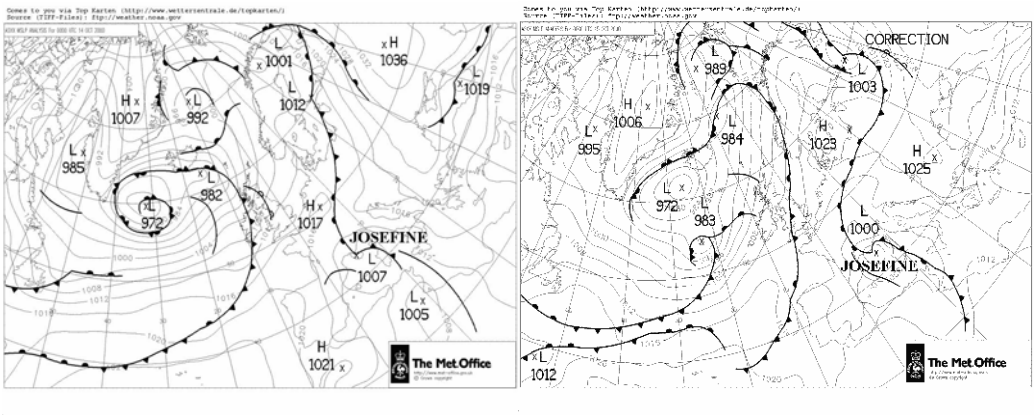


Fig.47: la depressione Josefine risulta in piena azione con due sistemi perturbati che tendono a spostarsi da sud-ovest verso nord-est, colpendo in questo modo il nord-ovest italiano.

Le due mappe successive (Fig.48) mostrano le anomalie di temperatura della superficie di mari ed oceani nel mese di ottobre. Come facilmente si può osservare il Mediterraneo centro-occidentale risulta mediamente più caldo di circa 2-3 gradi. Questo surplus energetico immagazzinato nel mare, venne successivamente restituito grazie alla formazione di intensi sistemi perturbati che determinarono l'evento alluvionale in esame.

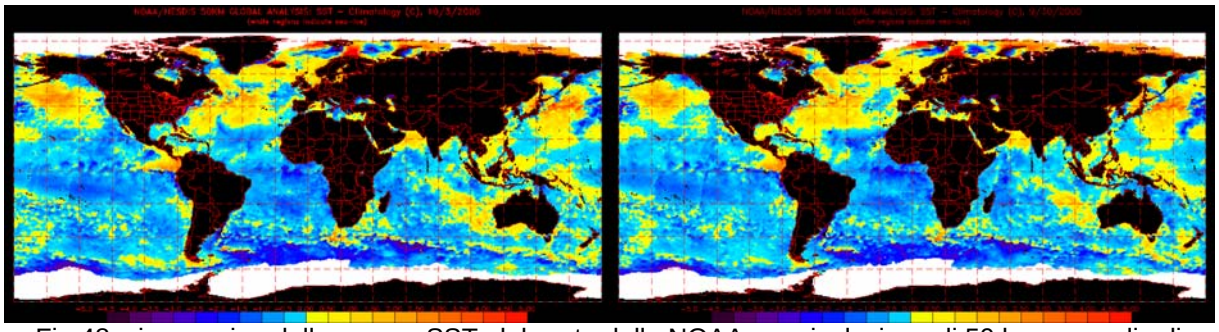


Fig.48: si osservino dalle mappe SST elaborate dalla NOAA con risoluzione di 50 km anomalie di temperature positive della Sea Surface Temperature sul Mediterraneo centro-occidentale

Un secondo episodio di estremo maltempo si verificò circa un mese dopo, nella prima decade di febbraio. Una profonda depressione che si originò in prossimità delle coste irlandesi intorno al 5 novembre, si spostò in direzione dell'Europa centro-settentrionale apportando maltempo in diverse zone, specie sul versante sud-alpino (Fig.49).

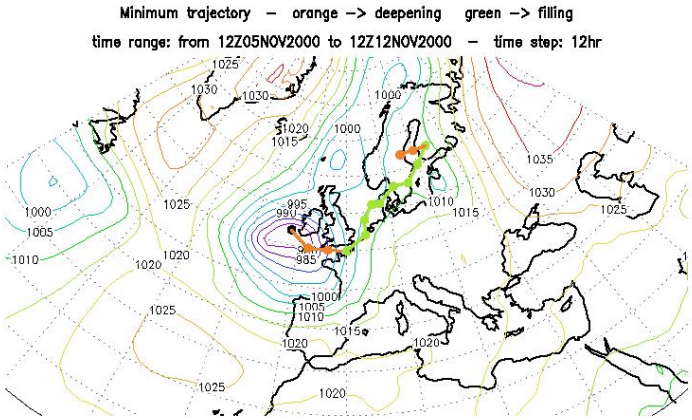


Fig.49: la mappa mostra la traiettoria del ciclone fra il 5 e il 12 novembre, con una prima fase di approfondimento, una intermedia di colmamento e infine di nuovo approfondimento.

La mappa barica riferite al livello del mare prevista da Hirlam per il 6 novembre (Fig.50) mostra una profonda depressione sulla Bretagna con valori prossimi ai 970 mb che attiva un importante flusso dai quadranti sud-occidentali in prossimità del versante sud-alpino; le masse d'aria umide sono costrette ad addossarsi alle catene montuose e a causa del sollevamento forzato orografico e alle condizioni fortemente cicloniche che favoriscono la convezione, si hanno intense precipitazioni su tutto il Nord-Italia, come si evidenzia dalla mappa Bolam delle precipitazioni previste per il 6 novembre (Fig.51).

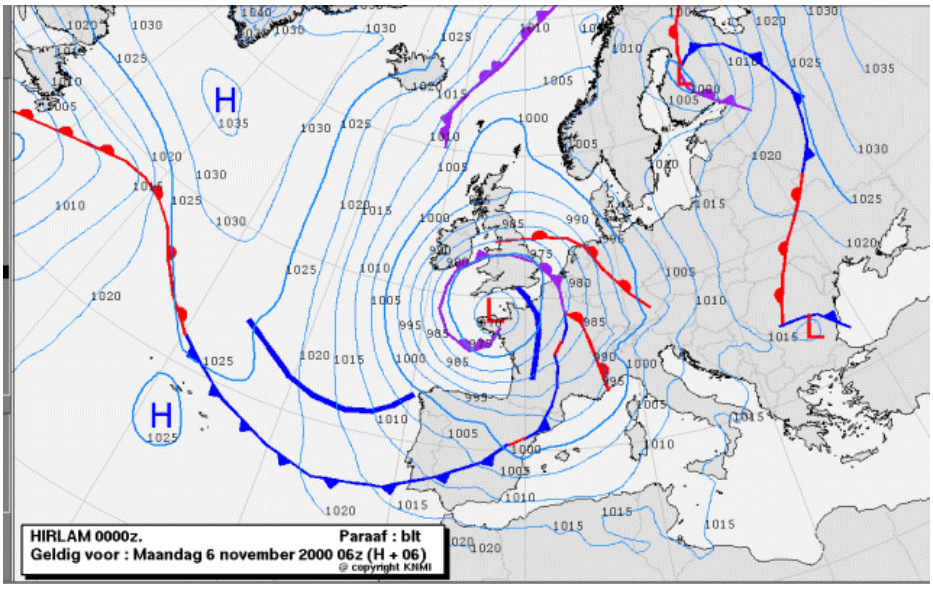


Fig.50: l'analisi della pressione riferita a livello del mare mostra una depressione sulla Bretagna a cui sono associati diversi sistemi frontali e linee di instabilità che apportano esteso maltempo su vaste regioni dell'Europa.

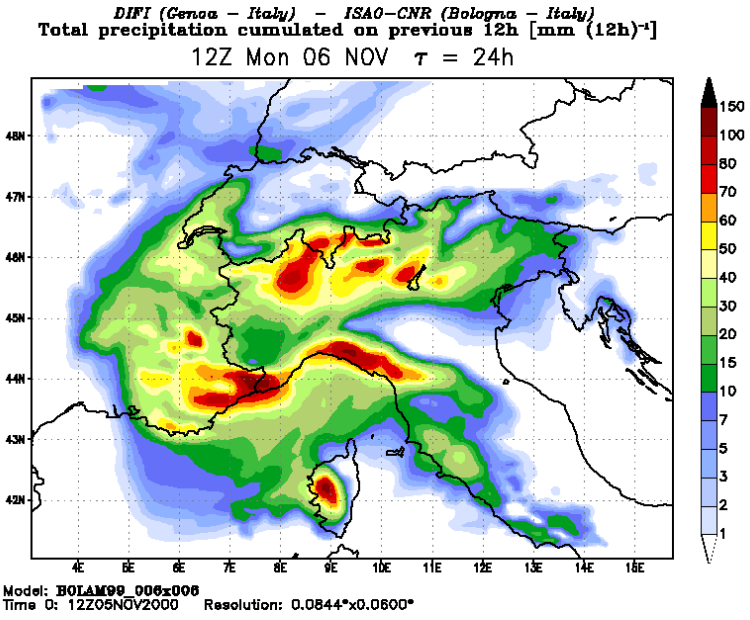


Fig.51: le precipitazioni previste da Bolam sono eccezionali per diverse zone del Nord-Italia, specie per il VCO, le prealpi bergamasche e bresciane e la Liguria, con punte superiori ai 150 mm/12h.

La mappa successiva (Fig.52) mostra il campo barico riferito a livello del mare previsto da Bolam per il 6 novembre. Si osservano correnti tese dai quadranti meridionali, da sud-ovest sull'estremo nord-ovest dell'Italia, da sud-est sul settore nord-orientale. Si noti la curvatura tipica delle isobare in condizioni di forte Stau sul versante sud-alpino, mentre sul versante nord-alpino la curvatura è anticiclonica e si hanno intense correnti discensionali (Fohn).

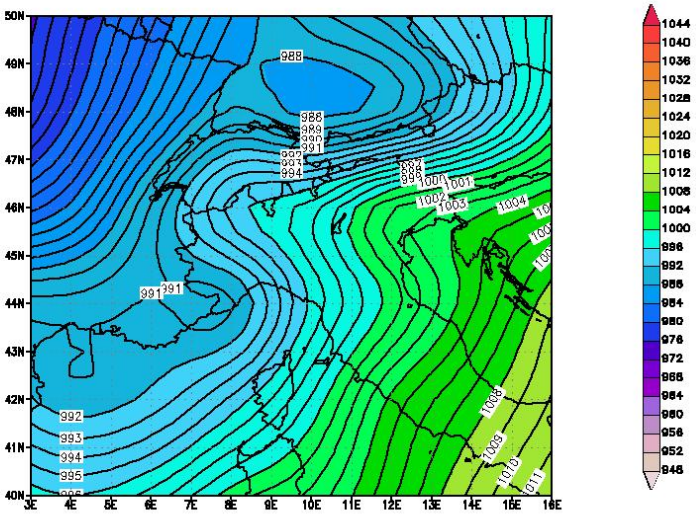


Fig.52: intenso richiamo di venti sciroccali sul versante adriatico, mentre di Libeccio sui mari di ponente.

Le due carte di reanalisi successive (Fig.53) evidenziano le configurazioni bariche alle diverse superfici isobariche, 500 mb, 850 mb e 700 mb per il 6 e 7 novembre.
Si osservi una profonda depressione ben strutturata a tutte le quote alimentata da aria fredda di estrazione artica, -30°C a 500 mb a largo delle coste atlantiche francesi e un intenso richiamo meridionale sul bacino centro-orientale del Mediterraneo. In seno a questa circolazione si sviluppano diversi sistemi perturbati che apportano maltempo, anche intenso come abbiamo visto a scala regionale sul versante sud-alpino

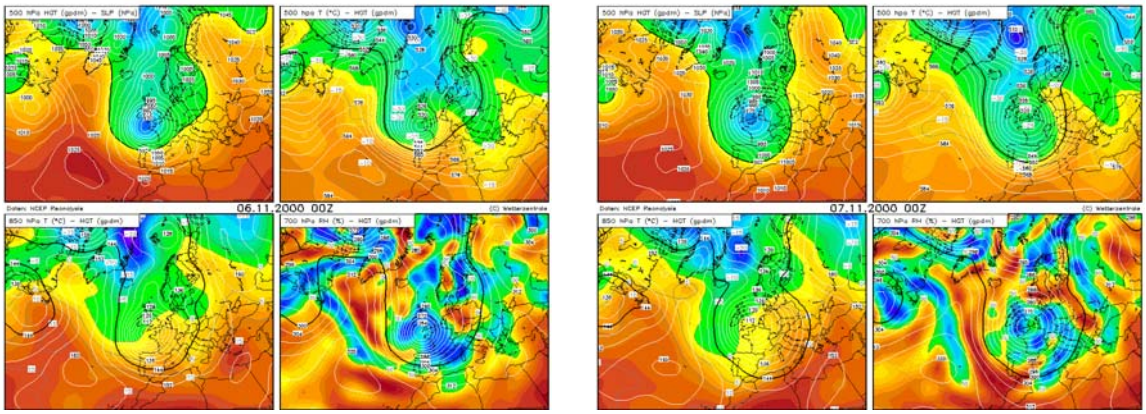


Fig.53: una profonda depressione influenza l'Europa e aria fredda di origine artica alimenta la circolazione depressionaria in quota, mentre al suolo sono attive correnti meridionali più calde.

La carta successiva (Fig.54) mostra l'avvezione di aria umida dai quadranti meridionali sull'Italia settentrionale e le temperature a 850 mb. Si osservi una massa d'aria estremamente umida in prossimità del versante adriatico a causa dell'intenso richiamo pre-frontale di scirocco e la disposizione delle isobare tipica di un intenso sbarramento di tipo orografico che apporta pesanti precipitazioni.

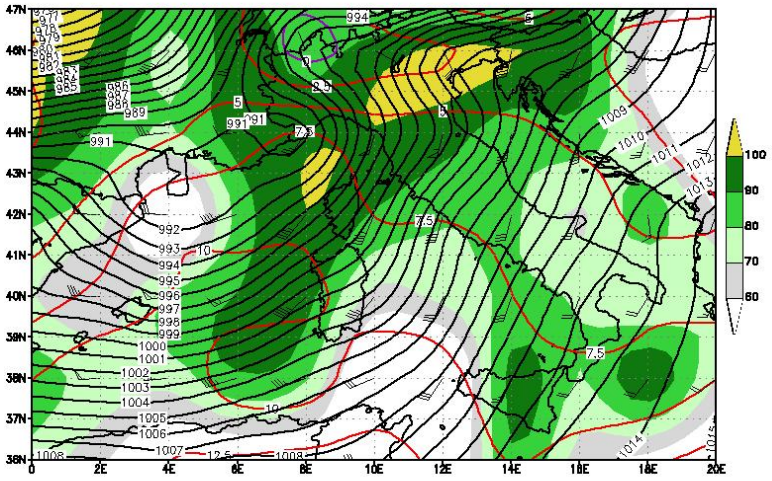


Fig.54: la mappa ad area limitata mostra per il 6 novembre una notevole avvezione di aria umida sull'Italia con valori prossimi al 100% di umidità a 860 mb sul versante adriatico della penisola.

Interessante è osservare nella carta successiva (Fig.55) il passaggio della parte anteriore destra del getto polare sul Nord-Italia, alla quale sono associate intense correnti ascensionali e forte convezione.

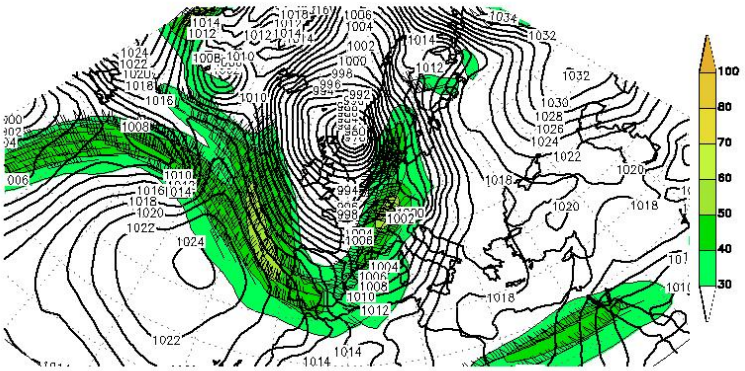


Fig.55: si nota sul Nord-Italia il passaggio del ramo anteriore destro del getto polare.

In conclusione sono mostrati il radiosondaggio (Fig.56) e la tabella delle grandezze meteorologiche misurate dal pallone sonda lanciato da Milano Linate nel giorno 7 di novembre (Tab.14).
Si osservano a tutte le quote intensi venti dai quadranti sud-occidentali, i valori di dew point e di temperatura sono uguali in prossimità del suolo e non si discostano molto alle

quote superiori ad indicare una massa d'aria molto umida, lo zero termico si colloca intorno ai 1800-1900 m, mentre a 500 mb si registrano temperature prossime ai -30°C.

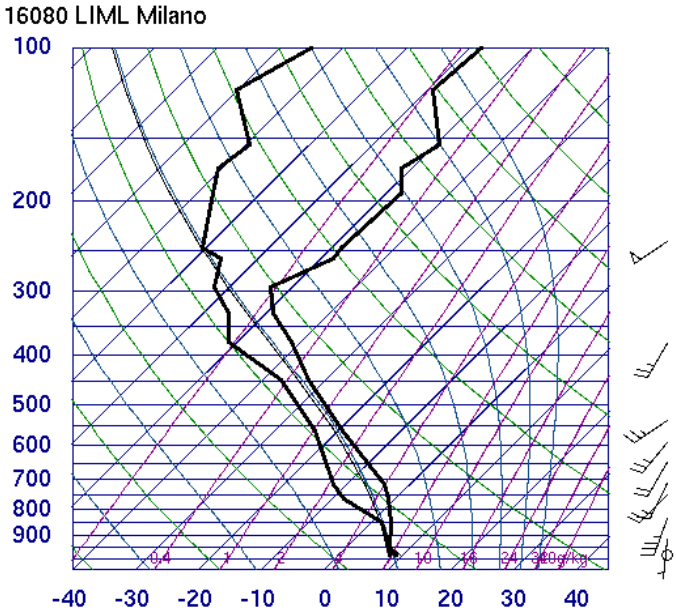


Fig.56: il diagramma mostra il radiosondaggio di Linate alle 00 del 7 novembre.

Livello	Quota	Temperatura	D.P.	U.R.	Velocità.	Direzione
981 hPa	103 m	9.0°C	7.8°C	92%	0 Km/h	--
956 hPa	317 m	7.0°C	6.7°C	98%	4 Km/h	293° (WNW)
917 hPa	657 m	5.6°C	4.9°C	95%	11 Km/h	185° (S)
847 hPa	1307 m	3.0°C	1.5°C	90%	56 Km/h	197° (SSW)
832 hPa	1450 m	2.3°C	-0.2°C	84%	65 Km/h	200° (SSW)
764 hPa	2137 m	-1.1°C	-8.1°C	59%	50 Km/h	221° (SW)
750 hPa	2284 m	-2.0°C	-9.2°C	57%	46 Km/h	225° (SW)
723 hPa	2575 m	-3.6°C	-11.5°C	55%	43 Km/h	220° (SW)
716 hPa	2652 m	-4.1°C	-12.1°C	54%	35 Km/h	213° (SSW)
709 hPa	2727 m	-4.7°C	-12.6°C	54%	30 Km/h	205° (SSW)
698 hPa	2847 m	-5.7°C	-13.3°C	55%	35 Km/h	225° (SW)
675 hPa	3104 m	-7.8°C	-14.9°C	57%	43 Km/h	235° (SW)
647 hPa	3429 m	-10.4°C	-16.9°C	59%	39 Km/h	210° (SSW)
631 hPa	3621 m	-12.0°C	-18.1°C	61%	31 Km/h	240° (WSW)
593 hPa	4097 m	-15.8°C	-21.0°C	65%	50 Km/h	220° (SW)
561 hPa	4523 m	-19.3°C	-23.6°C	69%	50 Km/h	228° (SW)
537 hPa	4840 m	-21.9°C	-26.2°C	68%	50 Km/h	235° (SW)
446 hPa	6185 m	-32.7°C	-37.2°C	64%	50 Km/h	222° (SW)
378 hPa	7330 m	-41.2°C	-51.1°C	33%	50 Km/h	210° (SSW)
377 hPa	7348 m	-41.3°C	-51.3°C	33%	50 Km/h	210° (SSW)
331 hPa	8218 m	-48.9°C	-55.9°C	44%	65 Km/h	217° (SW)
294 hPa	8989 m	-53.5°C	-62.5°C	32%	76 Km/h	224° (SW)

259 hPa	9815 m	-47.9°C	-65.9°C	11%	89 Km/h	231° (SW)
246 hPa	10154 m	-48.5°C	-70.5°C	6%	94 Km/h	234° (SW)
240 hPa	10317 m	-48.4°C	-71.2°C	5%	96 Km/h	235° (SW)
193 hPa	11755 m	-47.5°C	-77.5°C	2%	-- Km/h	--
172 hPa	12510 m	-51.7°C	-80.7°C	2%	-- Km/h	--
155 hPa	13189 m	-49.3°C	-79.3°C	2%	-- Km/h	--
121 hPa	14777 m	-59.1°C	-90.1°C	1%	-- Km/h	--
100 hPa	15976 m	-58.1°C	-85.1°C	2%	-- Km/h	--

Tab. 14: parametri meteo registrati dal radiosondaggio del 7 novembre.

9. Conclusioni

L'attività svolta dal WP1 nel primo anno di lavoro ha permesso di selezionare le stazioni meteorologiche con le serie termo-pluviometriche più consistenti all'interno del Bacino Idrogeologico del fiume Adda.
La possibilità di usufruire di banche dati meteorologiche informatizzate ha velocizzato le procedure di digitalizzazione. Quest'attività è stata svolta in stretta collaborazione con l'Unità Operativa Idrografia - ARPA, il Dipartimento di Produzione Vegetale dell'Università di Milano e il Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale dell'Università di Pavia e tuttora è in via di sviluppo attraverso la digitalizzazione dei dati termo-nivo-pluviometrici delle stazioni poste nel bacino sopralacuale.
La gestione dei dati nei diversi formati digitali ha necessariamente comportato lo sviluppo di procedure per uniformare i dati in un unico prototipo facilmente aggiornabile e caricabile in un database temporaneo in fase di allestimento.
Si è creata un'anagrafica delle stazioni con alcune informazioni base, legate alla posizione e al tipo di sensore; è in progetto un recupero più dettagliato di informazioni e di metadati che permetterà di ricostruire la storia della stazione.
La digitalizzazione da Annali e da Schede ha fatto emergere una serie di problematiche legate alle serie meteo-climatiche. Lo sviluppo di una serie di controlli di qualità dei dati ha permesso di eliminare i principali problemi legati alla loro registrazione.
Si è effettuata un'indagine preliminare della climatologia del bacino sub-lacuale per evidenziare caratteristiche climatiche ricorrenti: stagionalità delle precipitazioni, delle temperature, valori medi annuali delle grandezze meteo esaminate.
Infine si è sviluppato uno studio dei principali "*eventi estremi*" avvenuti in Lombardia nell'ultimo cinquantennio: ondate di gelo, di calore, siccità e alluvioni.
L'analisi ha messo in luce variazioni importanti non solo ai regimi termo-pluviometrici ma anche alle frequenze degli eventi estremi, imputabili al Cambiamento Climatico in atto.
Gli effetti si manifestano e si ripercuotono sul territorio Lombardo, sia sulla disponibilità delle risorse idriche sia sugli ecosistemi naturali, questi ultimi profondamente modificati dalle attività umane. E' dunque indispensabile che le elaborazioni meteo-climatiche siano integrabili e confrontabili con quelle idrogeologiche, idrologiche, di sviluppo e produzione agricola per ottenere una visione trasversale del Globale Change che si manifesta anche a scala regionale e fornire quindi degli strumenti per la pianificazione e la gestione politico-economica del territorio lombardo.

10. Appendice

Consistenza serie a scala mensile

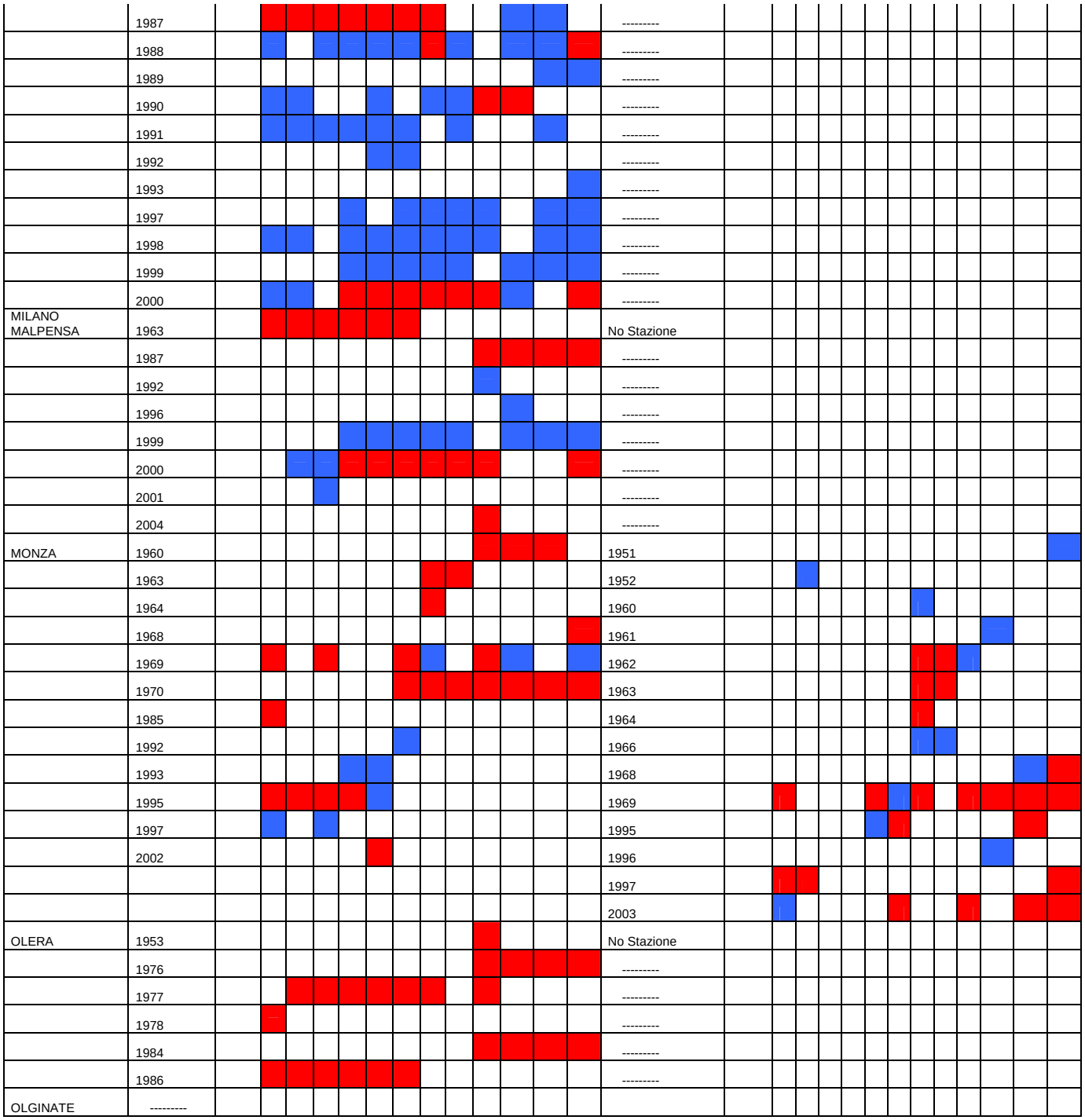
	ANNI RR	MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ANNI TX/TN	MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ANGOLO TERME	1967														1951													
	1972														1958													
															1960													
															1967													
															1972													
ASSO	1954														1953													
	1963														1954													
	1984														1984													
BERGAMO SANTA LUCIA	1962														1952													
	1988														1956													
	1989														1962													
	1991														1982													
	1992														1987													
	1993														1994													
	1994														1997													
	1996														1999													
															2003													
BREMBATE SOTTO	1951														---------													
	1952														---------													
	1956														---------													
	1958														---------													
	1959														---------													
	1974														---------													
	1986														---------													
BRENO	noStazione														1954													
	---------														1960													
	---------														1961													
BRESCIA (MELLA)	1963														1953													
	1990														1956													
	1992														1963													
	1994														1964													
	1995														1990													
	1997														1992													
	1998														1994													
	1999														1995													
	2000														1999													

	ANNI RR	MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ANNI TX/TN	MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BUSTO ARSIZIO	1965														No Stazione													
	1985														---------													
	1990														---------													
	1993														---------													
	1999														---------													
CALOLZIOCORTE	1960														No Stazione													
	1962														---------													
	1964														---------													
	1965														---------													
	1979														---------													
CASALMAGGIORE	1987														1964													
	1995														1970													
	1997														1975													
	1998														1984													
	1999														1985													
															1986													
															1987													
															1988													
															1989													
															1997													
															1999													
CERNUSCO SUL NAVIGLIO	1975														No Stazione													
	1981														---------													
	1995														---------													
	1997														---------													
CHIARI	1963														---------													
	1985														---------													
	1990														---------													
	1991														---------													
	1993														---------													
	1997														---------													
	1998														---------													
	1999														---------													
CLUSONE	1978														1966													
	1979														1975													
	1982																											
	1983																											
	1985																											
	1987																											
	1991																											
	1992																											
	1994																											
	1995																											
	1997																											
	2000																											

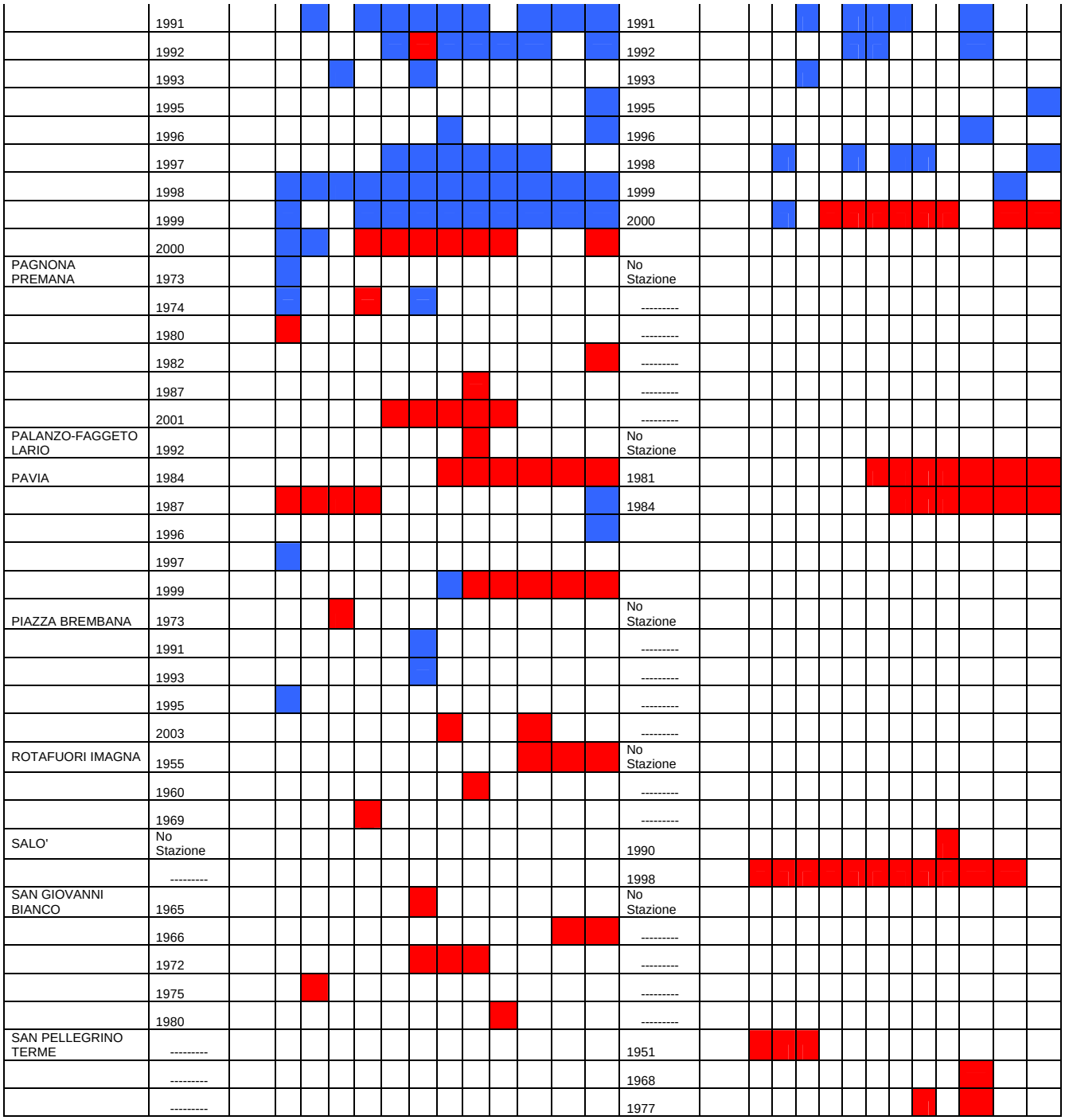
	ANNI RR	MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ANNI TX/TN	MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CODOGNO	1998														No Stazione													
	1999														---------													
	2000														---------													

	2001														---------													
COMO VILLA GENO *	1988														1953													
	1991														1977													
	1992														1988													
	1994														1989													
	1997														1990													
	1998														1991													
															1998													
															2000													
COSTA SERINA	1954														No Stazione													
	1967														---------													
	1977														---------													
	1984														---------													
	1986														---------													
CREMA	1990														No Stazione													
	1991														---------													
	1992														---------													
	1993														---------													
	1996														---------													
	1997														---------													
	2000														---------													
	2003														---------													
CREMONA	---------														1985													
DESENZANO	No Stazione														1963													
	---------														1973													
GANDINO	1956														No Stazione													
	1957														---------													
	1975														---------													
	1979														---------													
	2001														---------													
	2003														---------													
GARZENO	1962														No Stazione													
	1978														---------													
	1993														---------													
	2003														---------													
GHEDI	1951														1951													
	1985														1985													
	1988														1988													
	1990														1990													
	1991														1991													
	1999														1999													
	2000														2000													
	2002																											
	2004																											

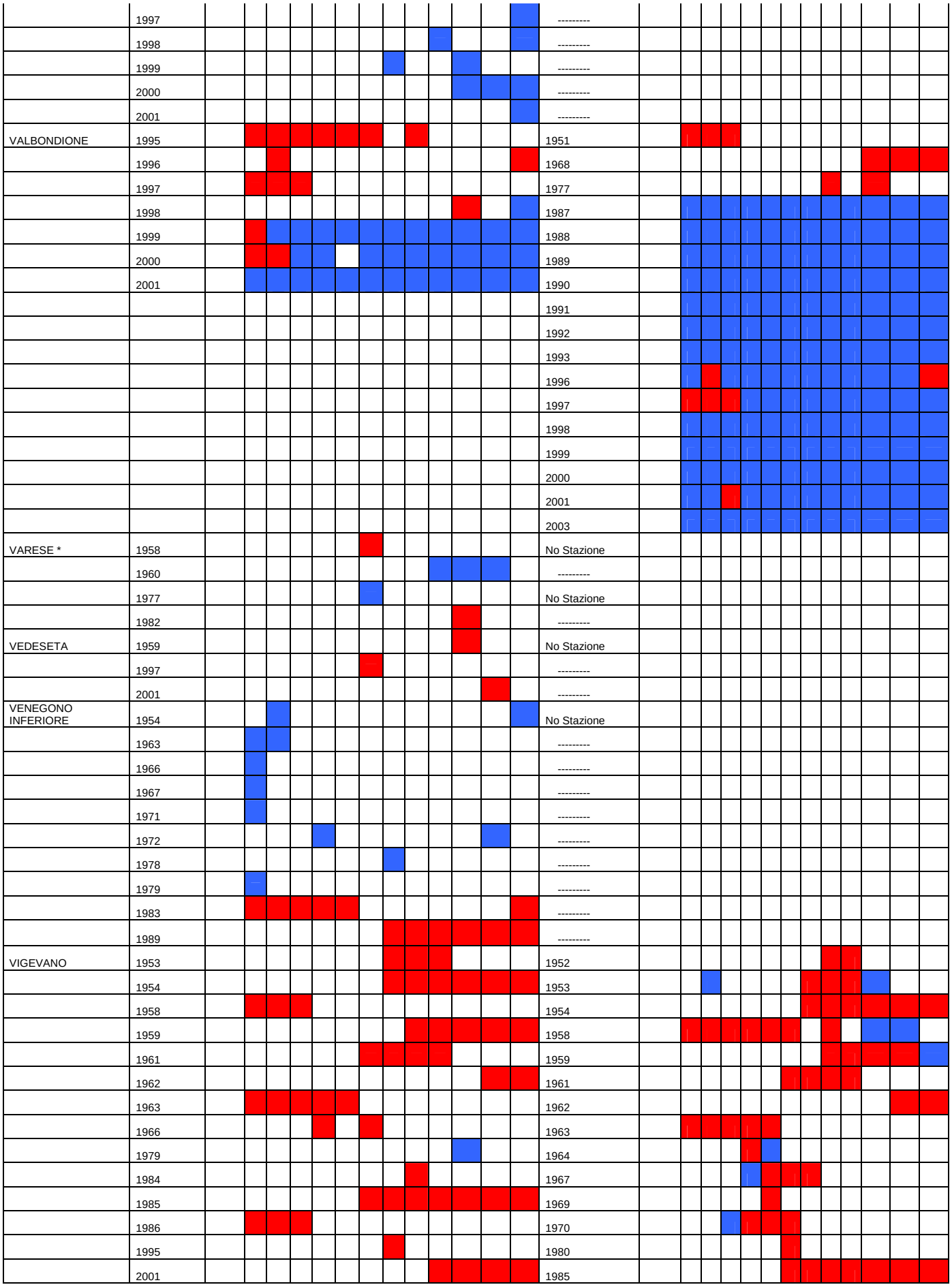
	ANNI RR	MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ANNI TX/TN	MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
LODI	1956														1956													
	1986														1991													
	2000														2000													
	2001																											
MILANO BRERA	---------														2001													
MILANO LINATE	1984														---------													

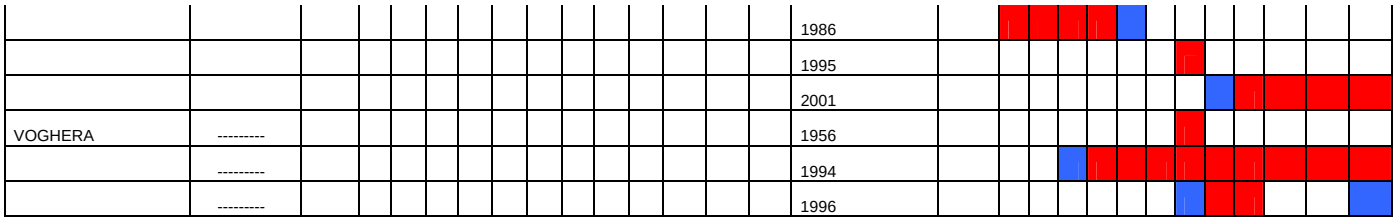


	ANNI RR	MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ANNI TX/TN	MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ORIO AL SERIO	1953														1953													
	1960														1960													
	1964														1964													
	1974														1965													
	1986														1973													
	1987														1974													
	1988														1988													
	1989														1989													
	1990														1990													



	ANNI RR	MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ANNI TX/TN	MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TREVIGLIO	1957														No Stazione													
	1975														---------													
	1978														---------													
	1981														---------													
	1988														---------													
	1989														---------													
	1990														---------													
	1991														---------													
	1993														---------													
	1994														---------													


1997 ---------
1998 ---------
1999 ---------
2000 ---------
2001 ---------
VALBONDIONE 1995 1951
1996 1968
1997 1977
1998 1987
1999 1988
2000 1989
2001 1990
1991
1992
1993
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2003
VARESE * 1958 No Stazione
1960 ---------
1977 No Stazione
1982 ---------
VEDESETA 1959 No Stazione
1997 ---------
2001 ---------
VENEGONO INFERIORE 1954 No Stazione
1963 ---------
1966 ---------
1967 ---------
1971 ---------
1972 ---------
1978 ---------
1979 ---------
1983 ---------
1989 ---------
VIGEVANO 1953 1952
1954 1953
1958 1954
1959 1958
1961 1959
1962 1961
1963 1962
1966 1963
1979 1964
1984 1967
1985 1969
1986 1970
1995 1980
2001 1985

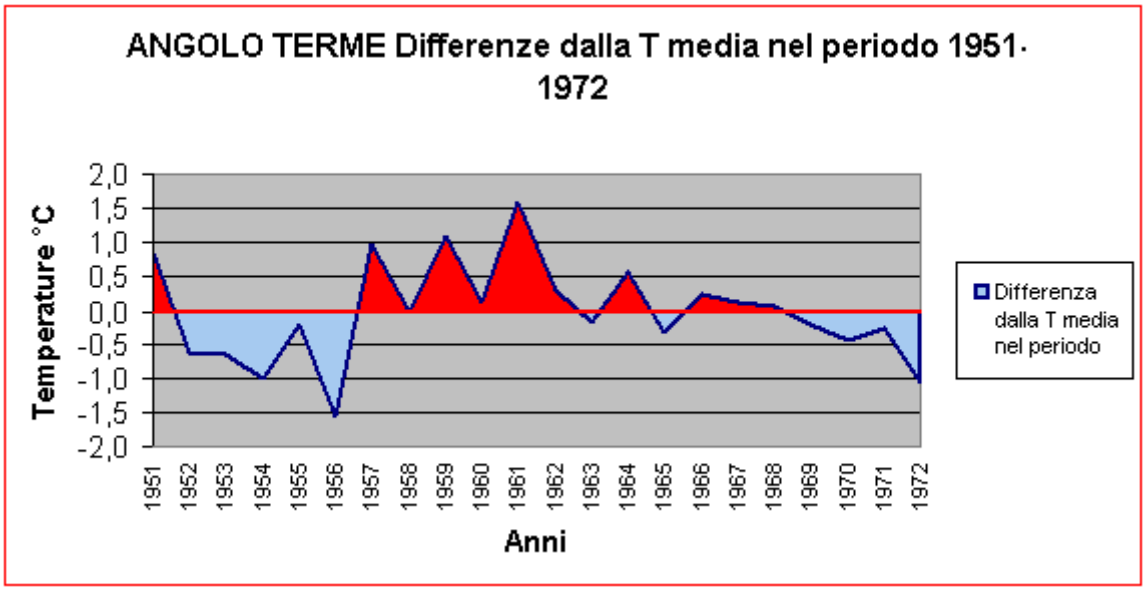


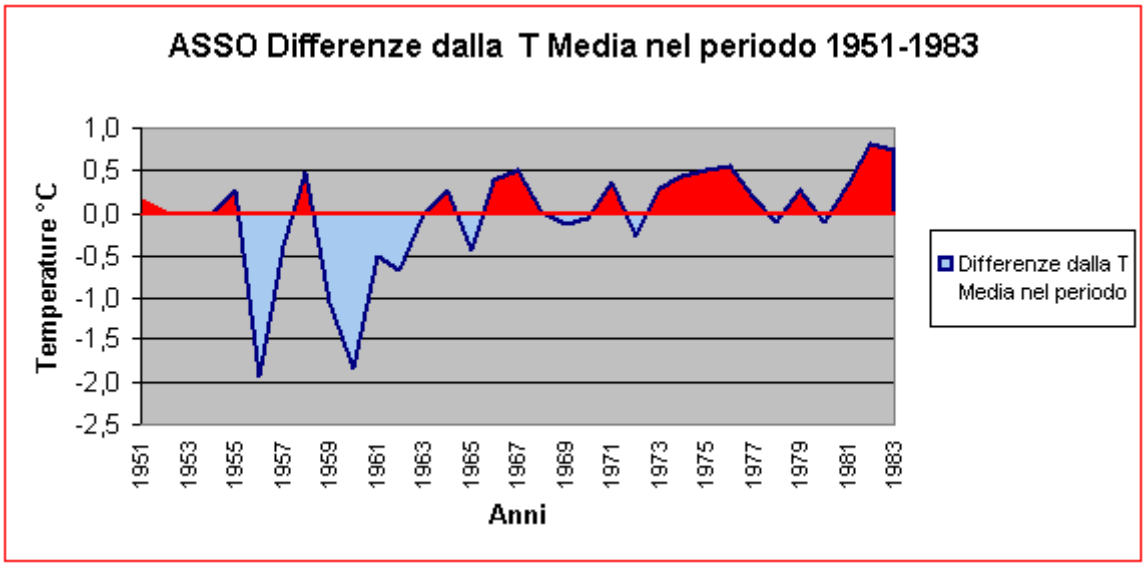
Anagrafica delle stazioni meteorologiche

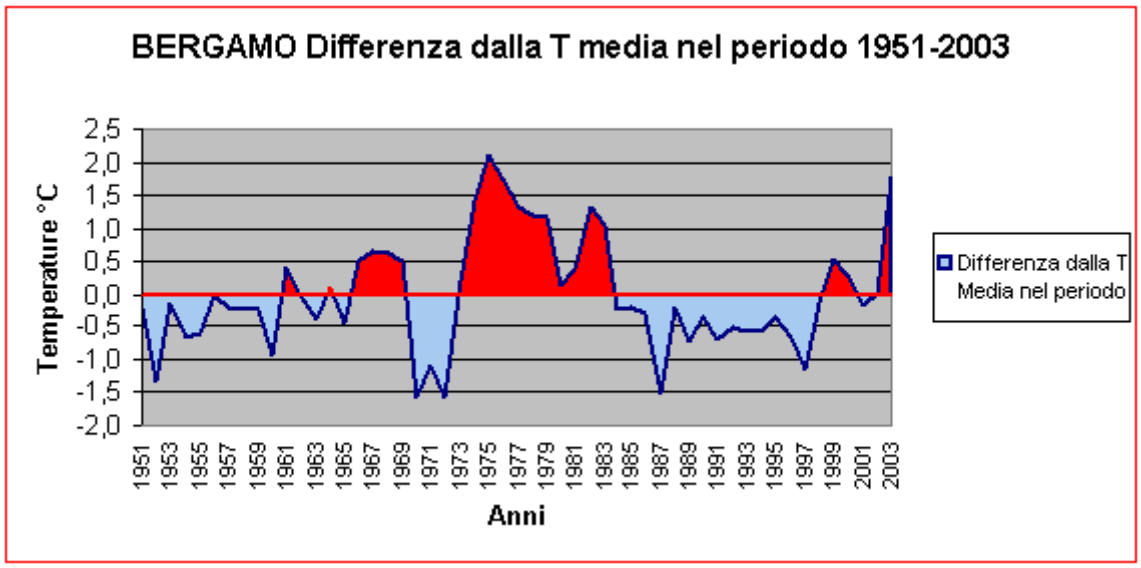
ID_ST	Prov	Località	alt	Gb_N	Gb_E	Fonte	tipo	parametri	intervalloP	intervalloT
1	BS	ANGOLO TERME	420	5083660,41	1588133,91	SIMN	M	P,T	1951-1980	1951-1972
2	SO	APRICA	1181	5111829	1589311	SIMN	M	P, T	1951-2003	//
3	LC	ASSO	427	5079365	1520914	SIMN	M	P	1951-1984	1951-1984
4	LC	BALLABIO SUPERIORE	732	5083118	1532538	SIMN	M	P	1951-1982	//
5	LC	BELLAGIO	263	5091359	1520539	SIMN	M	P	1955-1997	//
6	LC	BELLANO	206	5098656	1523362	SIMN	M	P	1951-1997	
7	BG	BERGAMO SANTA LUCIA	366	5061019	1550821	SIMN	M	P, T	1925-1941;1951-2003	1880-1941;1951-2003
8	SO	BORMIO	1225	5146909	1605148	SIMN	M,R	P,T	1913-1941;1951-2004	1923-1941; 1951-2003
9	BG	BREMBATE SOTTO	173	5049850	1543112	SIMN	M	P	1951-1986	1951-1985
10	BS	BRENO	312	5091266	1600942	SIMN	M	T	//	1951-1989
11	BS	BRESCIA	120	5043017	1595219	SIMN	M,R	P,T	1879-1941; 1951-2003	1879-1941; 1951-2003
12	SWISS	BRUSIO	755	5122549,33	1587578,44	SIMN	M	P	1951-1978	//
13	VA	BUSTO ARSIZIO	224	5051563	1488521	SIMN	M	P	1951-1999	//
14	LC	CALOLZIOCORTE	208	5072015	1533892	SIMN	R	P	1951-1994	//
15	SO	CAMPODOLCINO	1104	5138650	1527120	SIMN	M	P	1951-1978	//
16	SO	CANCANO	1930	5152415	1601307	SIMN	M,R	P,T	1936-1941; 1951-2004	//
17	BG	CARONA	1050	5096569	1560568	SIMN	M	P, T	1951-2003	//
18	CR	CASALMAGGIORE	25	4981217	1612403	SIMN	M	P	1961-2001	1964-2001
19	SO	CASE PIZZINI ARMISA	1060	5108107	1576924	SIMN	M,R	P,T	1927-1941; 1951-1997	//
20	MI	CERNUSCO SUL NAVIGLIO	134	5040498	1526252	SIMN	R	P	1951-1997	//
21	BS	CHIARI	148	5042720	1573095	SIMN	M,R	P,T	1951-2003	1951-1976
22	SO	CHIAVENNA	333	5129294	1530635	SIMN	R	P	1951-2003	
23	BG	CLUSONE	648	5081969	1573750	SIMN	M,R	P,T	1951-2000	1951-1995
24	SO	CODERA	824	5120641	1536537	SIMN	M,R	P,T	1926-1941; 1951-2003	//
25	LO	CODOGNO	58	5001799	1555232	SIMN	M,R	P	1951-2001	//
26	CO	COMO VILLA GENO	200	5074470	1506186	SIMN	M	P,T	1913-1941; 1951-1998	1907-1941; 1953-2003
27	BG	COSTA SERINA	807	5075607	1557409	SIMN	M	P	1951-1985	//
28	CR	CREMA	79	5024007	1553732	SIMN	M	P,T	1951-2000	1951-2003
29	CR	CREMONA	45	4998361	1580165	SIMN	M,R	P,T	1951-2003	1951-2003
30	BS	DESENZANO	64	5036035,7	1620087,52	SIMN	M	T	//	1951-1972
31	BS	EDOLO	655	5113791	1603498	SIMN	M,R	P,T	1951-2003	//
32	CO	FAGGETO LARIO	205	5078989	1511648	SIMN	M	P,T	1974-2003	//
33	BG	FOPPOLO	1520	5099229	1558368	SIMN	R	P,T	1951-1989	1951-1989
34	SO	FORNI SAN GIACOMO	2184	5141947	1620102	SIMN	M,R	P,T	1971-2003	
35	BG	GANDINO	570	5073524	1570466	SIMN	M	P	1951-2003	//
36	CO	GARZENO	670	5109025	1519269	SIMN	M	P	1951-2003	//
37	SO	GEROLA ALTA	1015	5100864	1542684	SIMN	R	P,T	1913-1941;1951-1997	//
38	BS	GHEDI	102	5031416	1603652	A.M.	M	P,T	1951-2004	1951-2000

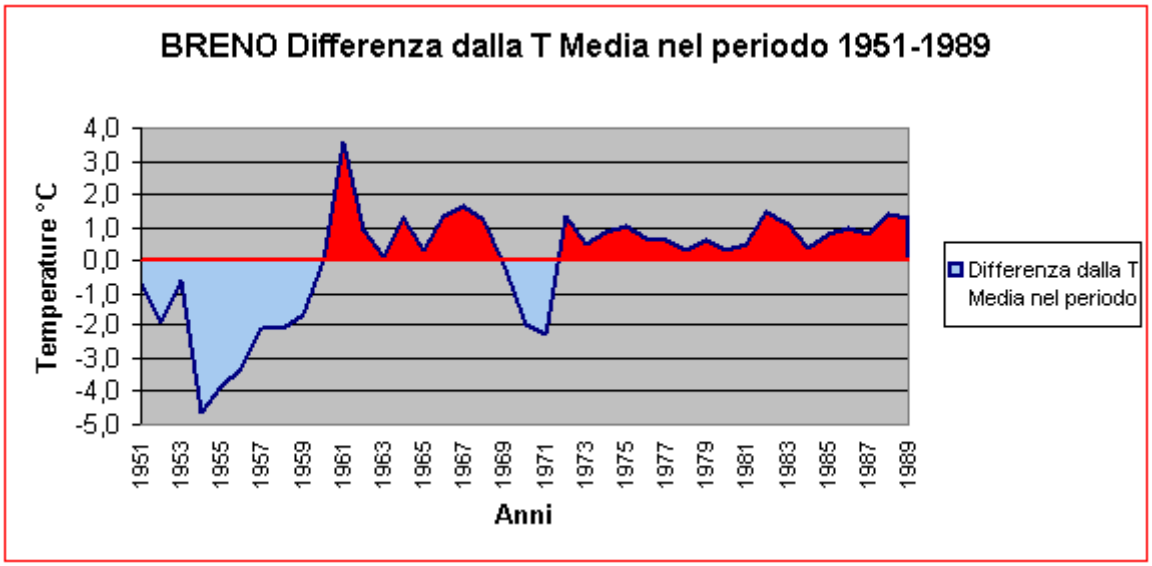
ID_ST	Prov	Località	alt	Gb_N	Gb_E	Fonte	tipo	parametri	intervalloP	intervalloT
39	BG	GROMO	709	5090851,49	1571240,33	SIMN	M	P	1951-1980	//
40	SO	GROSOTTO	613	5126640	1597103	SIMN	M,R	P,T	1971-2003	//
41	CO	INTROBIO	600	5090540	1535082	SIMN	M	P	1951-1977	//
42	BG	LAGO DEL DIAVOLO	2145	5099062	1567195	SIMN	M	P,T	1968-1995	//
43	BG	LAGO FREGABOLGIA	1950	5097038	1566640	SIMN	M	P,T	1953-1995; 2003	//
44	BG	LAGO GEMELLI	2145	5092812	1562916	SIMN	M	P	1956-1996	//
45	SO	LAGO INFERNO	2332	5096274	1540908	SIMN	M,R	P,T	1951-1996; 2003	//
46	SO	LAGO TRUZZO	2064	5134077	1524489	SIMN	M	P,T	1928-1941; 1951-2003	//
47	SO	LAGO VENINA	1800	5104245	1566994	SIMN	M,R	P,T	1951-2003	//
48	SO	LANZADA	983	5124399	1567276	SIMN	M,R	P	1913-1941; 1951-2003	//
49	SO	LE PRESE	950	5133867	1604312	SIMN	M,R	P,T	1913-1941; 1951-2004	//
50	LO	LODI	80	5018346	1539410	SIMN	M,R	P,T	1951-2003	1951-2003
51	MI	MILANO BRERA	147	5034831	1514932	SIMN	M	P,T	1951-2003	1951-2004
52	MI	MILANO LINATE	103	5033074	1521896	A.M.	M	P,T	1951-2000	1951-2000
53	VA	MILANO MALPENSA	234	5052293	1477862	A.M.	M	P,T	1963-2004	//
54	MI	MONZA	163	5047884	1521020	SIMN	M,R	P,T	1951-2003	1951-2003
55	SO	MORBEGNO REGOLEDO	255	5108750	1543532	SIMN	M	P,T	1913-1941; 1951-1981	//
56	BG	OLERA	518	5067169	1553855	SIMN	M	P	1951-1990	//
57	LC	OLGINATE	197	5070902	1533204	SIMN	M,R	P,T	1961-2000	1968-2003
58	BG	ORIO AL SERIO	238	5057592	1553890	A.M.	M	P,T	1952-2000	1952-2000
59	LC	PAGNONA PREMANA VARRONE	700	5100595	1531431	SIMN	M	P,T	1951-2003	//
60	PV	PAVIA	77	5003419	1510659	SIMN	M,R	P,T	1951-1999	1951-1984
61	CO	PIANO DELLE CASERE	1832	5094157	1561820	SIMN	M,R	P,T	1951-2003	//
62	BG	PIAZZA BREMBANA-OLMO AL BREMBO	526	5088313	1552358	SIMN	M,R	P,T	1970-2003	//
63	SO	PONTE DI GANDA	913	5110290	1586866	SIMN	M,R	P,T	1951-2003	//
64	SO	PREMADIO CENTRALE	1305	5148970	1603669	SIMN	M,R	P,T	1972-2003	//
65	BG	ROTAFUORI IMAGNA	691	5075757	1540310	SIMN	M	P	1951-1984	//
66	SO	RUSCHEDO	755	5117664	1549059	SIMN	M,R	P,T	1913-1941; 1951-1996	//
67	SO	S. CATERINA VALFURVA	1740	5140906	1615176	SIMN	M,R	P,T	1921-1941; 1951-2004	//
68	SO	S. FRANCESCO A MESE	281	5128111	1529178	SIMN	M	P,T	1952-1997	//
69	SO	S. STEFANO ARMISA	1865	5107579,87	1576199,55	SIMN	M	P	1951-1996	//
70	BS	SALO'	75	5051262	1618559	UCEA	M	T	//	1956-1999
71	BG	SAN GIOVANNI BIANCO	400	5080454	1550560	SIMN	M	P,T	1951-1994	1973-1994
72	BG	SAN PELLEGRINO TERME	355	5075843	1551994	SIMN	R	P,T	1951-2003	1951-2003
73	BG	SARDEGNANA	1750	5096309	1562145	SIMN	M	P,T	1951-2003	//
74	SO	SCAIS	1500	5104281	1571278	SIMN	M,R	P,T	1926-1941; 1951-2003	//
75	SO	SONDRIO	298	5113017	1565986	SIMN/ERSAF	M,R	P,T	1894-1950; 1951-2004	1894-1950; 1951-2000
76	SO	STUETTA	1850	5146170	1526860	SIMN	M,R	P,T	1927-1941; 1952-2003	//
77	SO	TIRANO	430	5118864	1588883	SIMN	M	P,T	1913-1941; 1951-1980	//
78	BG	TREVIGLIO	126	5040620	1547082	SIMN	R	P	1951-2001	//
79	BG	VALBONDIONE	890	5098464	1577924	SIMN	M	P	1951-2003	1951-2003
80	SO	VALLE RATTI	915	5115993	1537134	SIMN	M	P,T	1935-1941; 1956-2003	//
81	BG	VALMORTA	1780	5101711	1580264	SIMN	M	P	1951-1997	//
82	BG	VALTORTA	930	5091695	1541451	SIMN	M	P	1951-2003	//
83	VA	VARESE	382	5073790	1485972	SIMN	M,R	P	1913-1941; 1951-2003	//
84	SO	VEDELLO C.LE	1060	5106714	1569661	SIMN	M,R	P,T	1921-1941; 1951-2003	//
85	BG	VEDESETA	817	5082077	1541894	SIMN	M	P	1951-2003	//
86	VA	VENEGONO INFERIORE	341	5064519,28	1492435,59	SIMN	M	T	//	1951-1989
87	PV	VIGEVANO	116	5018233	1488460	SIMN	R	P	1952-2001	1952-2001
88	PV	VOGHERA	93	4981798	1500240	SIMN/ERSAF	M,R,A	P,T	1951-1990;2003	1951-1996

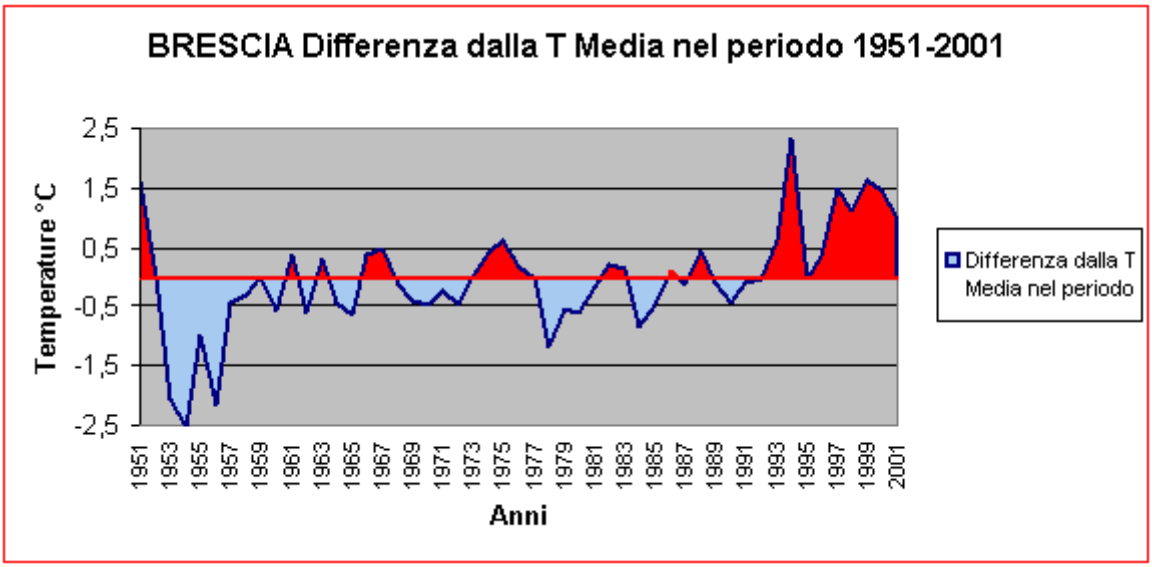
Anomalie di temperatura

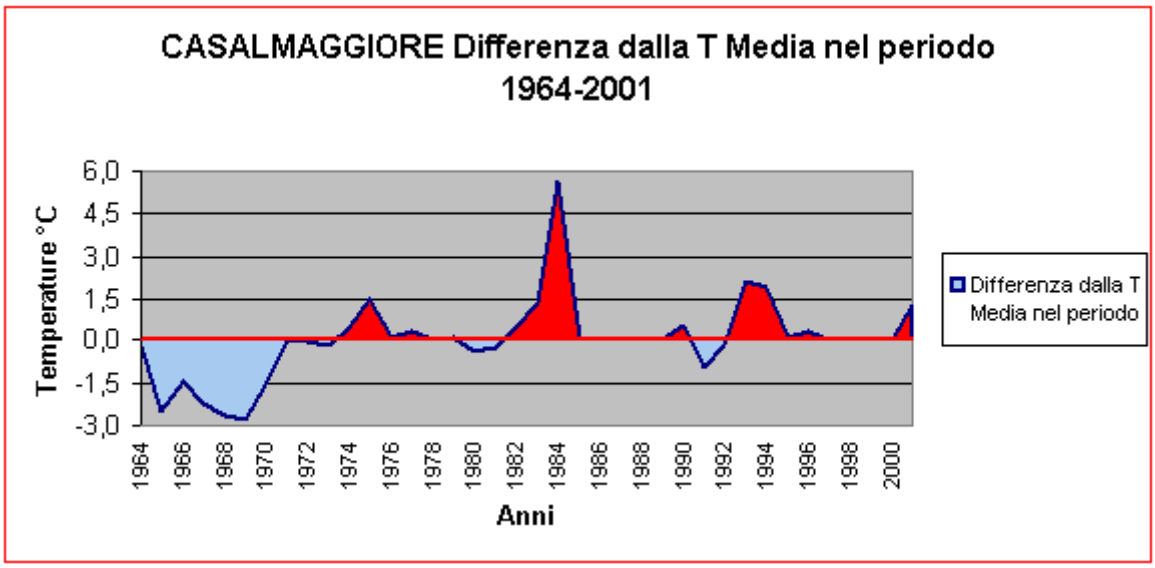


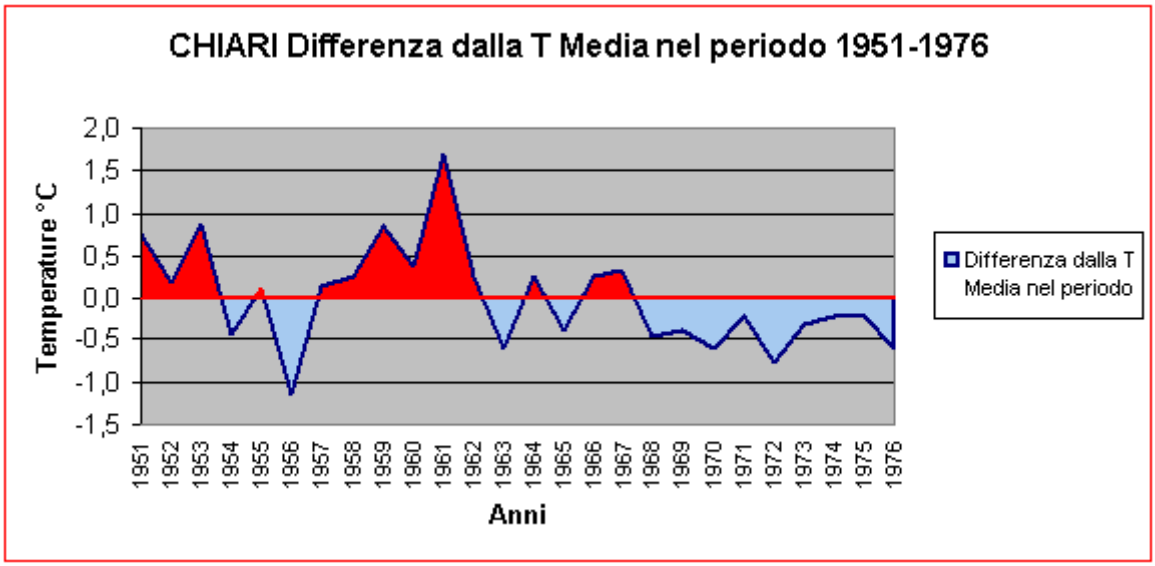


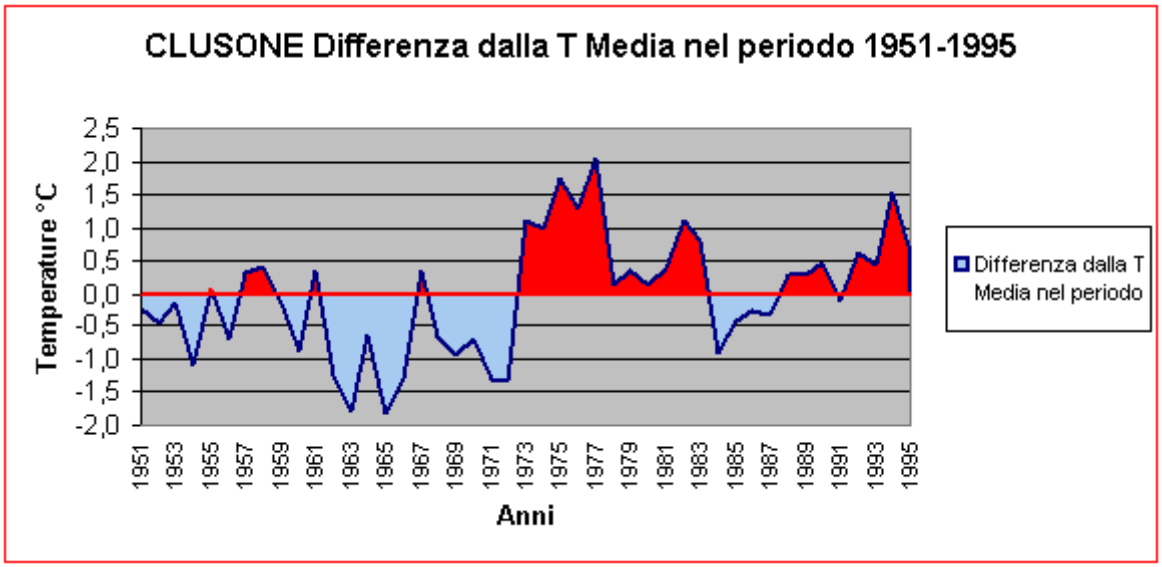

BERGAMO Differenza dalla T media nel periodo 1951-2003
Temperature °C
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
-1,5
-2,0
1951 1953 1955 1957 1959 1961 1963 1965 1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989 1991 1993 1995 1997 1999 2001 2003
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo

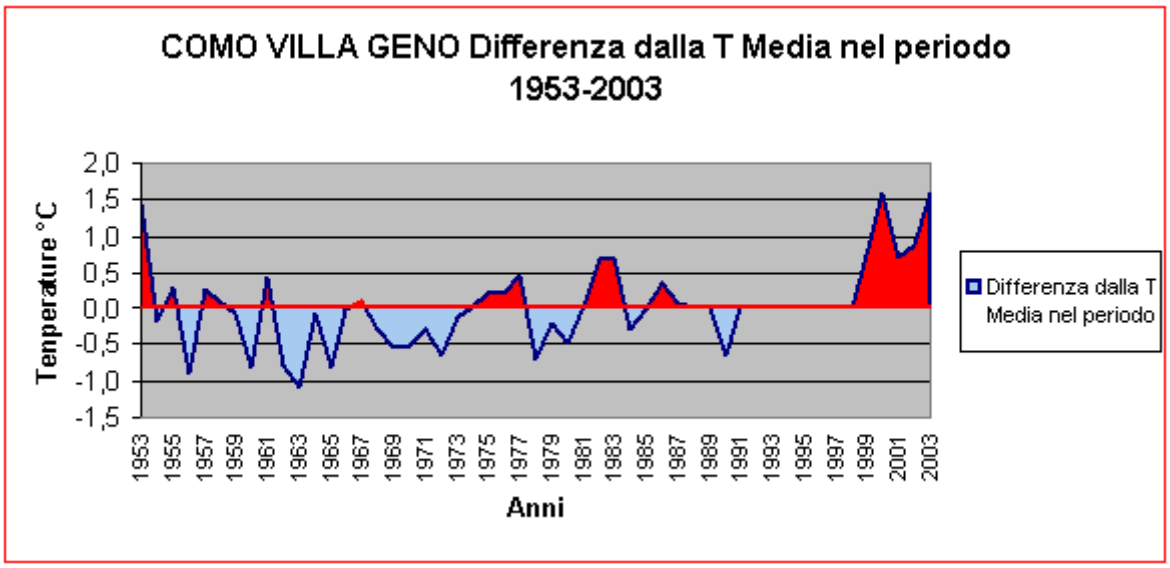

BRENO Differenza dalla T Media nel periodo 1951-1989
Temperature °C
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
-1,0
-2,0
-3,0
-4,0
-5,0
1951 1953 1955 1957 1959 1961 1963 1965 1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo

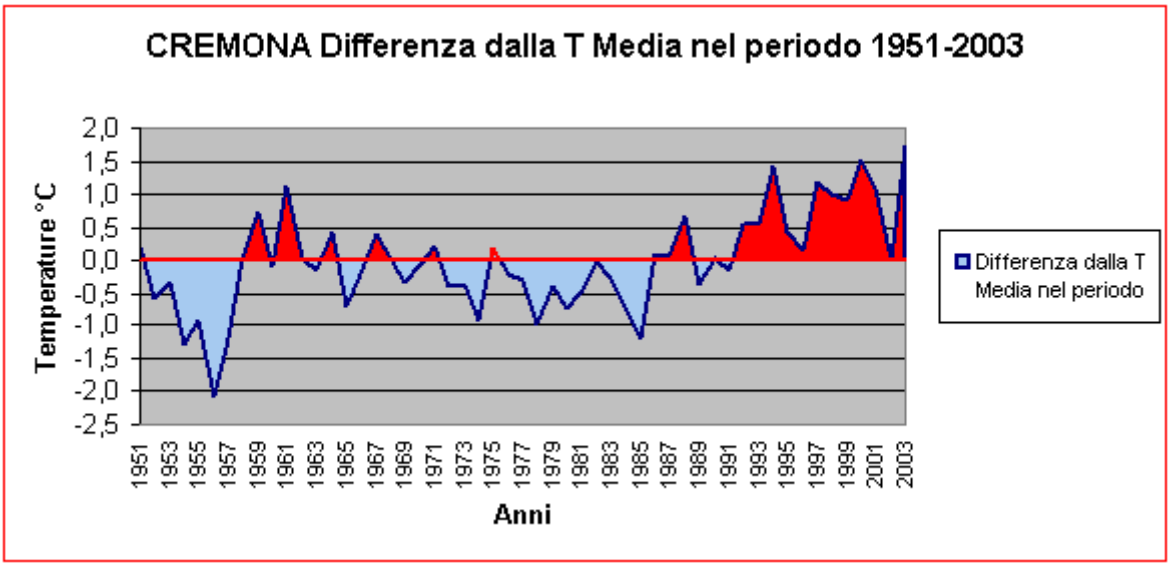

BRESCIA Differenza dalla T Media nel periodo 1951-2001
Temperature °C
2,5
1,5
0,5
-0,5
-1,5
-2,5
1951 1953 1955 1957 1959 1961 1963 1965 1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989 1991 1993 1995 1997 1999 2001
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo

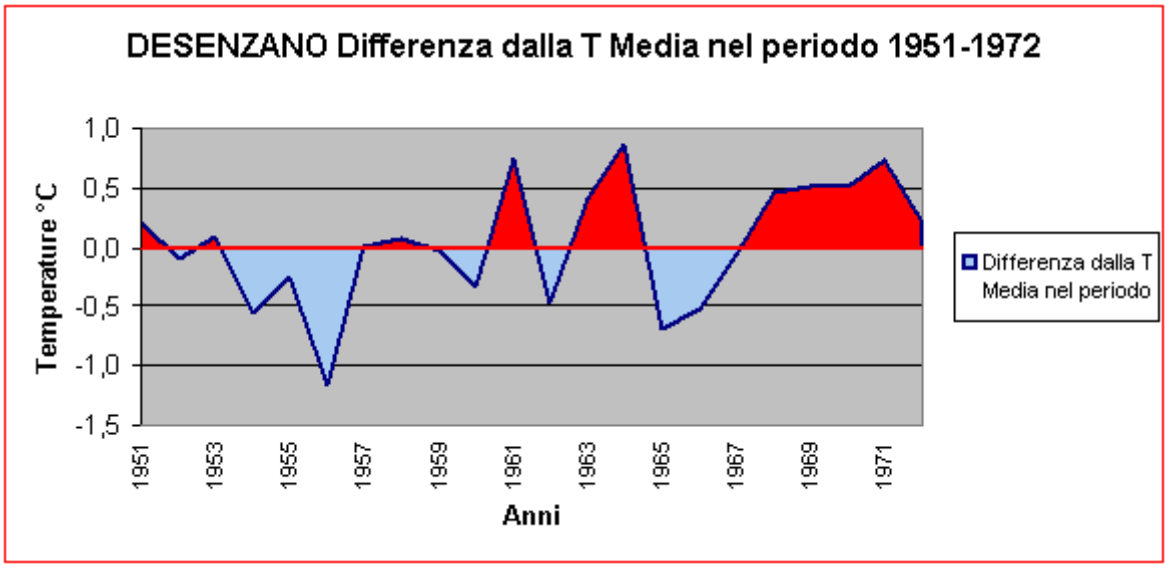

CASALMAGGIORE Differenza dalla T Media nel periodo 1964-2001
Temperature °C
6,0
4,5
3,0
1,5
0,0
-1,5
-3,0
1964 1966 1968 1970 1972 1974 1976 1978 1980 1982 1984 1986 1988 1990 1992 1994 1996 1998 2000
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo

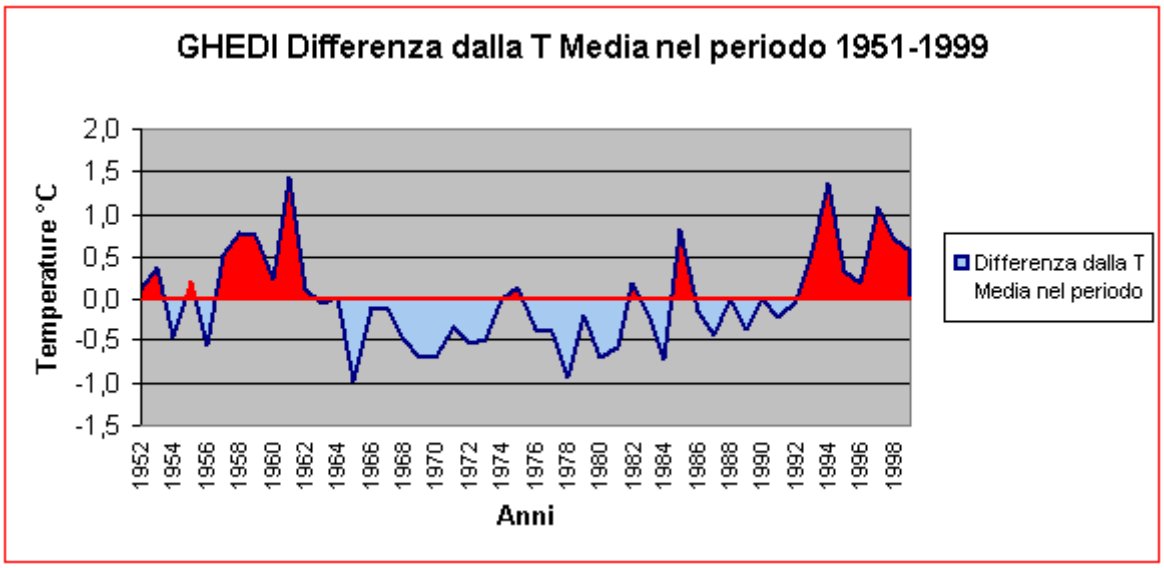

CHIARI Differenza dalla T Media nel periodo 1951-1976
Temperature °C
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
-1,5
1951 1952 1953 1954 1955 1956 1957 1958 1959 1960 1961 1962 1963 1964 1965 1966 1967 1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo

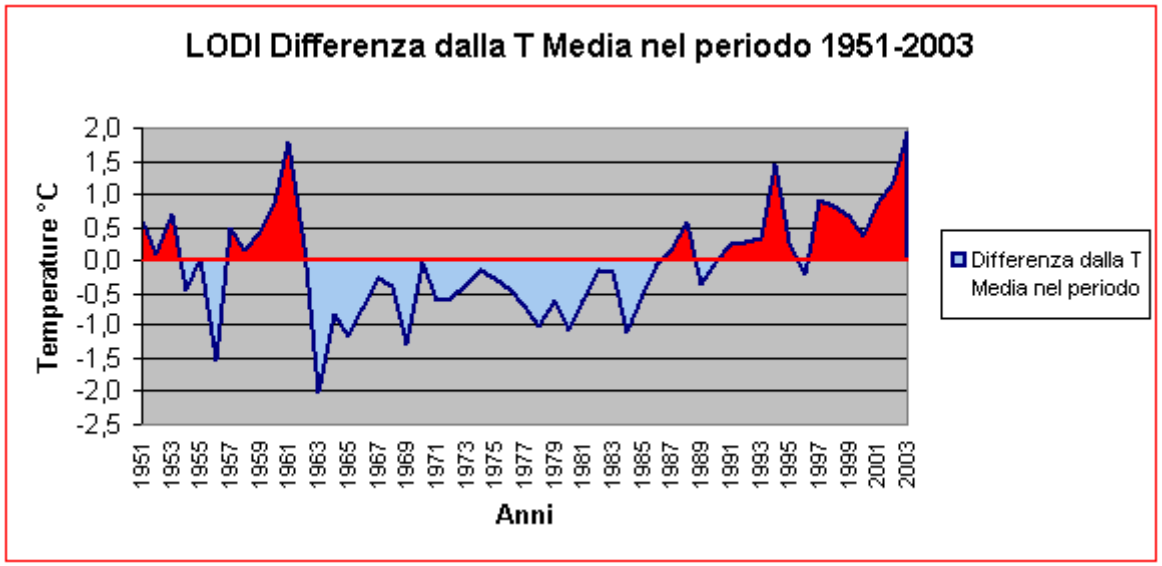

CLUSONE Differenza dalla T Media nel periodo 1951-1995
Temperature °C
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
-1,5
-2,0
1951 1953 1955 1957 1959 1961 1963 1965 1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989 1991 1993 1995
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo

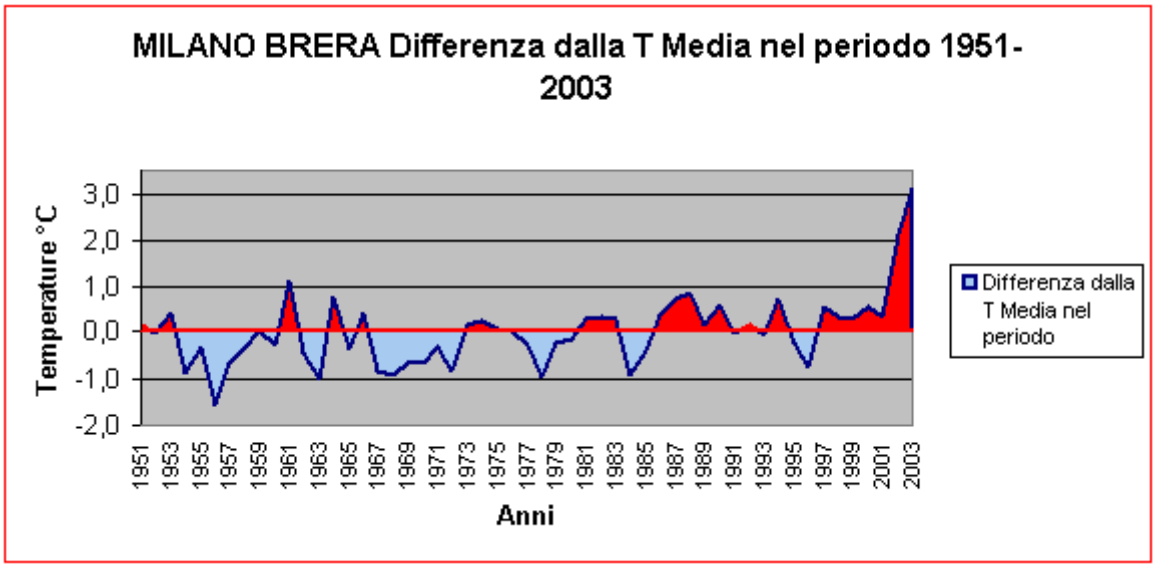

COMO VILLA GENO Differenza dalla T Media nel periodo 1953-2003
Temperature °C
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
-1,5
1953 1955 1957 1959 1961 1963 1965 1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989 1991 1993 1995 1997 1999 2001 2003
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo

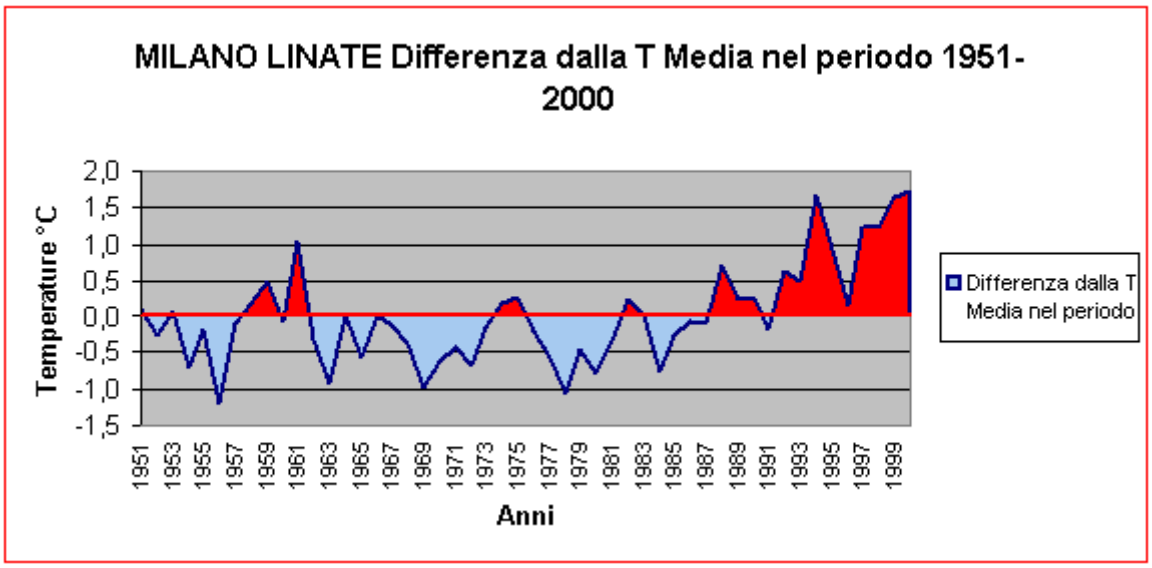

CREMONA Differenza dalla T Media nel periodo 1951-2003
Temperature °C
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
1951 1953 1955 1957 1959 1961 1963 1965 1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989 1991 1993 1995 1997 1999 2001 2003
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo

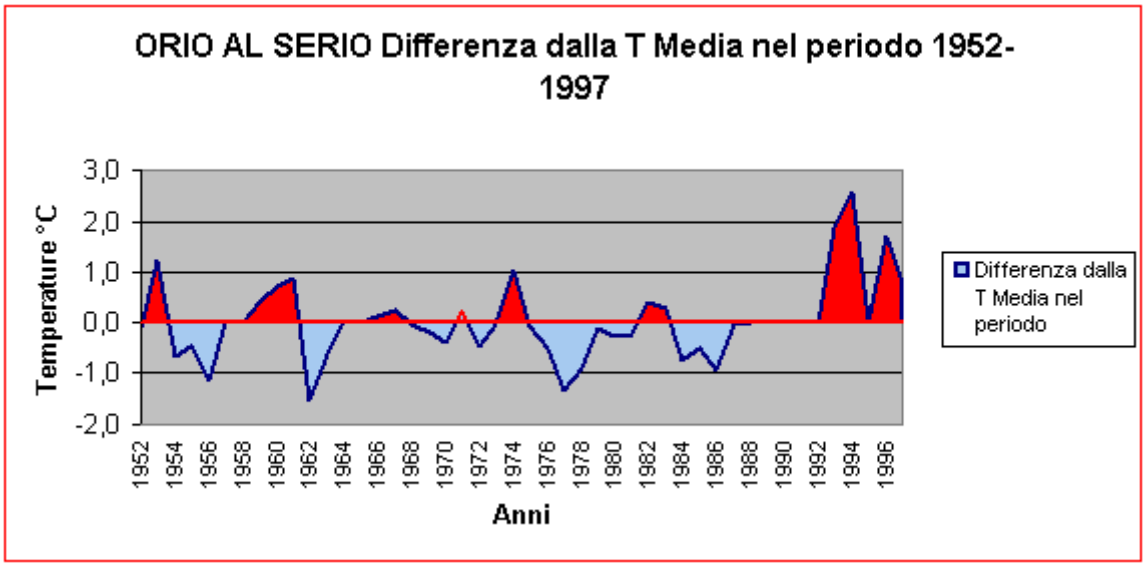

DESENZANO Differenza dalla T Media nel periodo 1951-1972
Temperature °C
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
-1,5
1951 1953 1955 1957 1959 1961 1963 1965 1967 1969 1971
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo

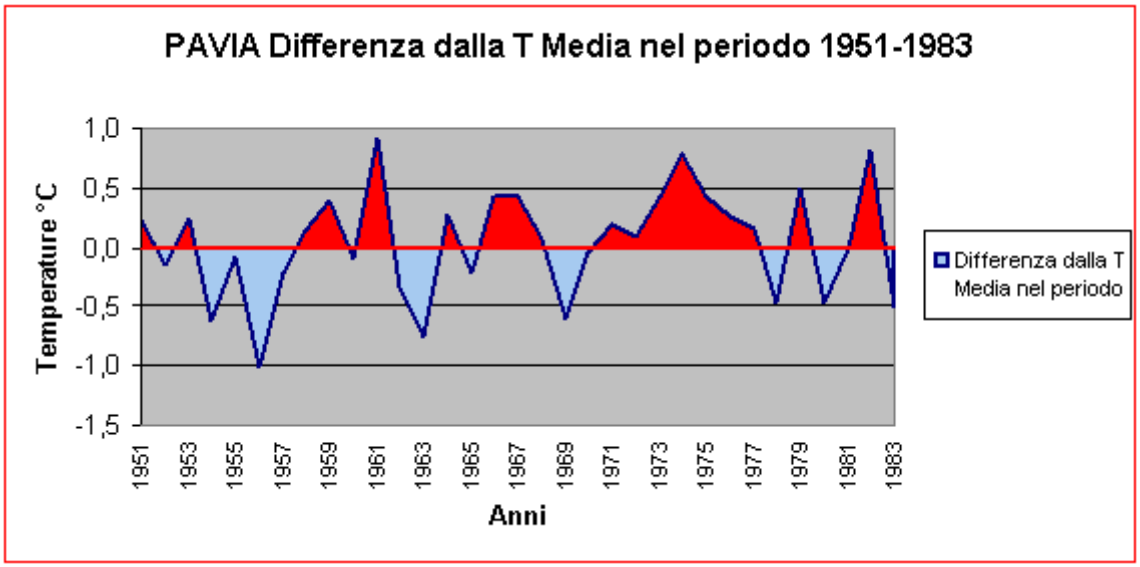

GHEDI Differenza dalla T Media nel periodo 1951-1999
Temperature °C
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
-1,5
1952 1954 1956 1958 1960 1962 1964 1966 1968 1970 1972 1974 1976 1978 1980 1982 1984 1986 1988 1990 1992 1994 1996 1998
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo

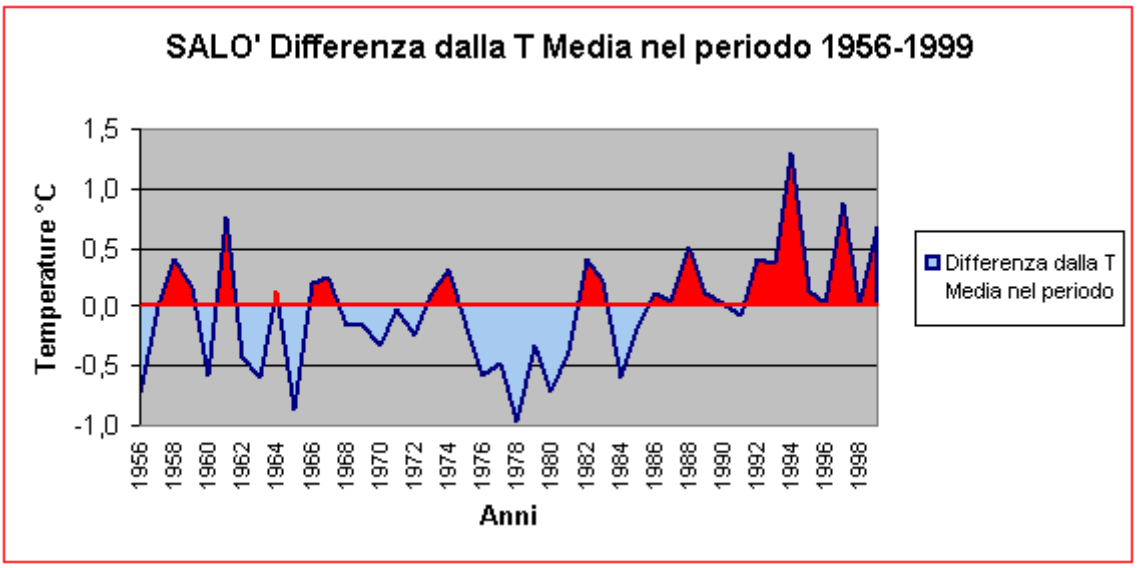

LODI Differenza dalla T Media nel periodo 1951-2003
Temperature °C
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
1951 1953 1955 1957 1959 1961 1963 1965 1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989 1991 1993 1995 1997 1999 2001 2003
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo

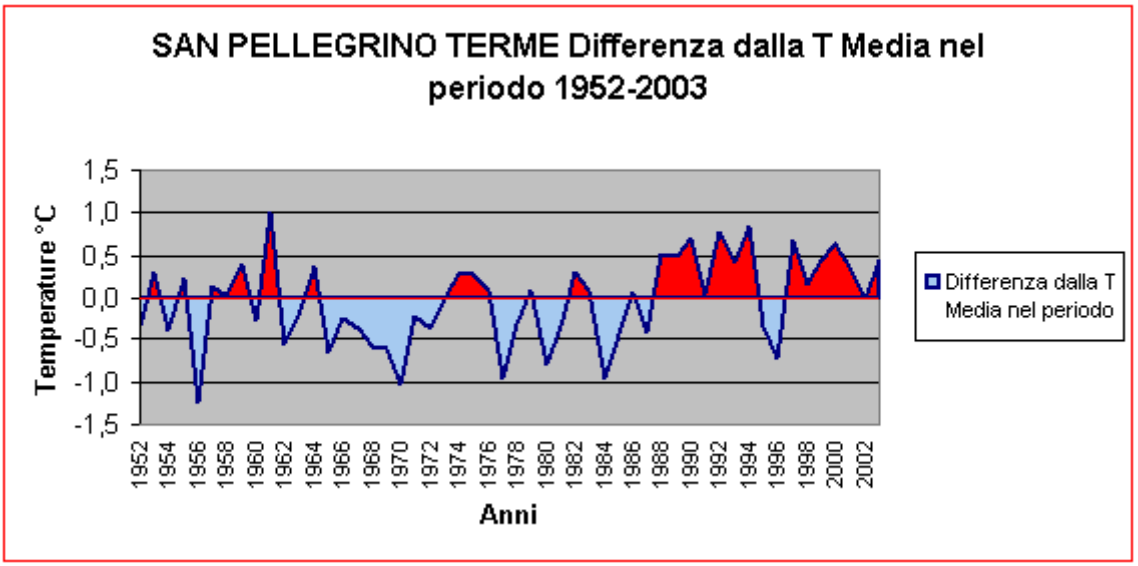

MILANO BRERA Differenza dalla T Media nel periodo 1951-2003
Temperature °C
3,0
2,0
1,0
0,0
-1,0
-2,0
1951 1953 1955 1957 1959 1961 1963 1965 1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989 1991 1993 1995 1997 1999 2001 2003
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo

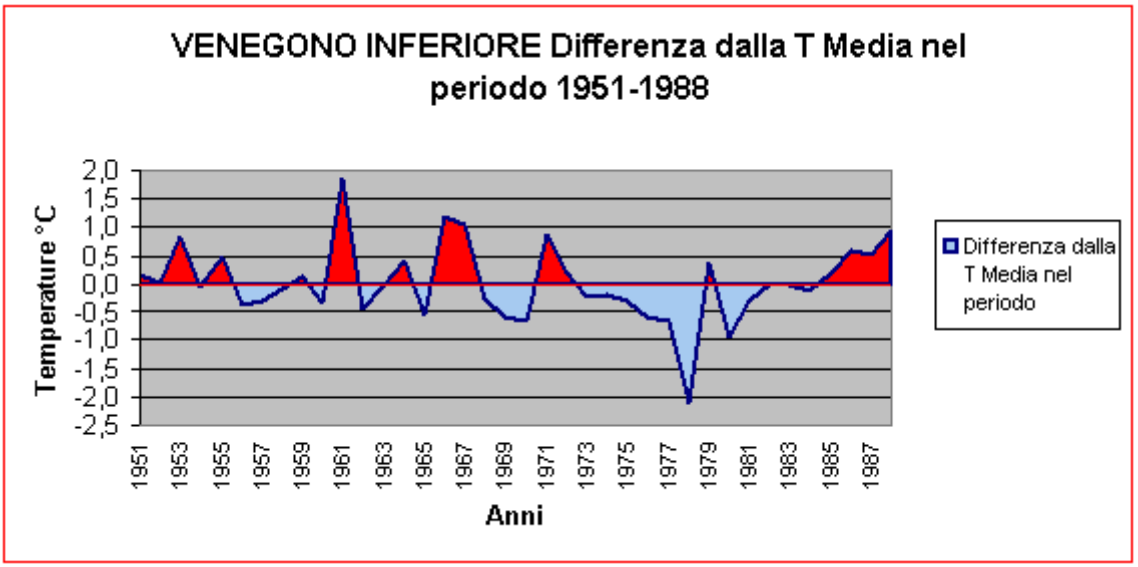

MILANO LINATE Differenza dalla T Media nel periodo 1951-2000
Temperature °C
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
-1,5
1951 1953 1955 1957 1959 1961 1963 1965 1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989 1991 1993 1995 1997 1999
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo

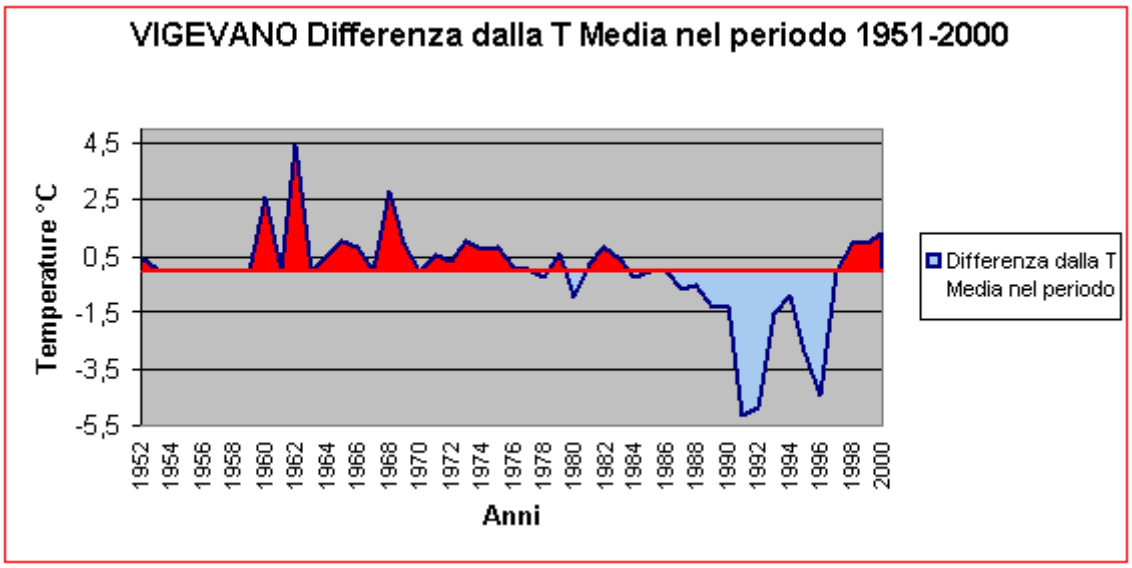

ORIO AL SERIO Differenza dalla T Media nel periodo 1952-1997
Temperature °C
3,0
2,0
1,0
0,0
-1,0
-2,0
1952 1954 1956 1958 1960 1962 1964 1966 1968 1970 1972 1974 1976 1978 1980 1982 1984 1986 1988 1990 1992 1994 1996
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo

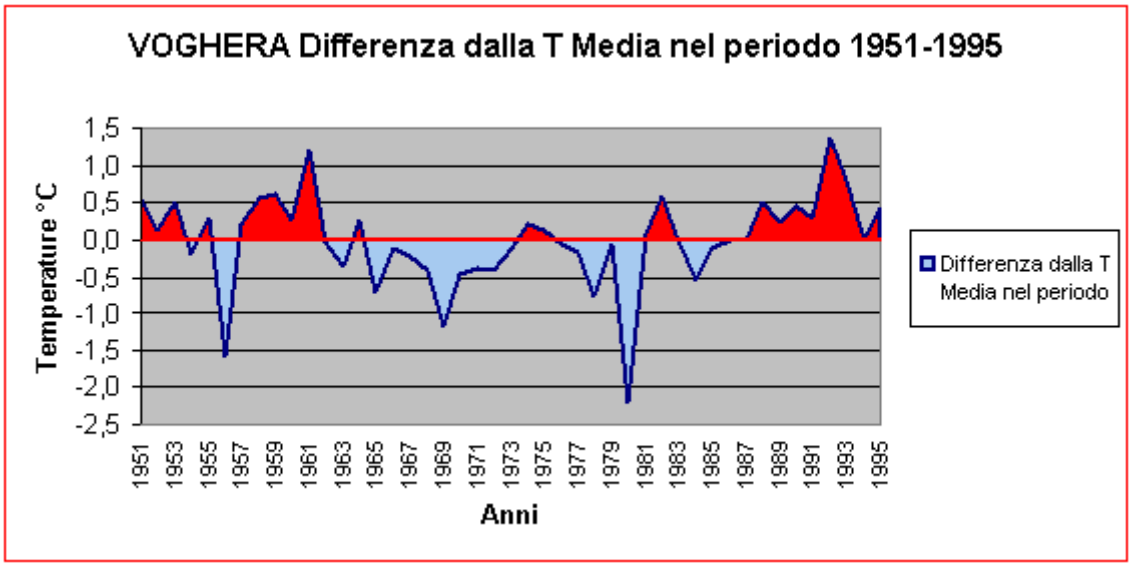

PAVIA Differenza dalla T Media nel periodo 1951-1983
Temperature °C
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
-1,5
1951 1953 1955 1957 1959 1961 1963 1965 1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo


SALO' Differenza dalla T Media nel periodo 1956-1999
Temperature °C
1,5
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
1956 1958 1960 1962 1964 1966 1968 1970 1972 1974 1976 1978 1980 1982 1984 1986 1988 1990 1992 1994 1996 1998
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo


SAN PELLEGRINO TERME Differenza dalla T Media nel periodo 1952-2003
Temperature °C
1,5
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
-1,5
1952 1954 1956 1958 1960 1962 1964 1966 1968 1970 1972 1974 1976 1978 1980 1982 1984 1986 1988 1990 1992 1994 1996 1998 2000 2002
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo


VENEGONO INFERIORE Differenza dalla T Media nel periodo 1951-1988
Temperature °C
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
1951 1953 1955 1957 1959 1961 1963 1965 1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo


VIGEVANO Differenza dalla T Media nel periodo 1951-2000
Temperature °C
4,5
2,5
0,5
-1,5
-3,5
-5,5
1952 1954 1956 1958 1960 1962 1964 1966 1968 1970 1972 1974 1976 1978 1980 1982 1984 1986 1988 1990 1992 1994 1996 1998 2000
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo


VOGHERA Differenza dalla T Media nel periodo 1951-1995
Temperature °C
1,5
1,0
0,5
0,0
-0,5
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
1951 1953 1955 1957 1959 1961 1963 1965 1967 1969 1971 1973 1975 1977 1979 1981 1983 1985 1987 1989 1991 1993 1995
Anni
Differenza dalla T Media nel periodo

11. Le attività correlate

Nel primo anno di attività vi è stata la partecipazione ad una serie di conferenze, workshop e convegni che trattassero tematiche correlate al cambiamento climatico e alla gestione delle risorse idriche.
Nel dettaglio si è partecipato alla conferenza organizzata da Arpa Lombardia sulla gestione integrata delle risorse idriche a scala di bacino dal titolo: "*Teconologie innovative per il monitoraggio e la previsione dei fenomeni di interesse per la pianificazione*".
Una seconda conferenza di nostro interesse è stata quella organizzata da ERSAF: "*L'acqua, una risorsa per il sistema agricolo lombardo*".
Si è partecipato al primo convegno di Foralps che si è tenuto a Lubiana dal titolo: "*Contributions for a wise management of water resources from meteorology and climatology*".
Infine vi è stato un'importante partecipazione al Workshop che si è tenuto presso l'ICTP di Trieste in cui si sono sviluppati i temi riguardanti la teoria e l'uso di modelli climatici a scala regionale.
All'interno della poster session del workshop di Trieste è stato presentato il **poster** del progetto Riclic.

12. Bibliografia

A.Jurkovic, I.Auer, E.Korus *Digitalization and interpolation of daily snow data in Austria and surrounding regions.*

Brunetti Michele, Letizia Buffoni, Adriana Fassina, Luigi Iafrate, Gianluca Lentini, Franca Mangianti, Carla Masiello, Maurizio Maugeri, Elisabetta Mazzucchelli, Fabio Monti, Teresa Nanni, Rossella Pastorelli, Corrado. *Acquisizione, esame critico ed analisi di serie storiche italiane per lo studio delle variazioni del clima. Testo base e appendice 1, Relazione tecnica Progetto Climagri.*

Cacciamani Carlo, Marco Lazzeri, Andrea Selvini, Rodica Tomozeiu, Ambra Zuccherelli, 2001. *Evidenza di cambiamenti climatici sul Nord Italia. Parte 1: Analisi delle temperature e delle precipitazioni. Quaderno tecnico Arpa SIM n°04/2001.*

Cacciamani Carlo, Stefano Marchesi, Antonella Morgillo, Valentina Pavan, Rodica Tomozeiu, 2004. *Estensione ed applicazione di prototipo di bollettino di siccità; previsione statistica. Relazione Attività 4 Progetto Sedemed.*

K. Tolika, P. Maheras, H.A. Flocas and A. Arseni-Papadimitriou, 26 Ottobre 2005.
An evaluation of a general circulation model (GC M) and the NCEP-NCAR reanalysis data for winter precipitation in Greece. International J.Climatol. 26*: 935-955 (2006)*

L. Bodri, V. Cermak, M. Kresl, 2005. *Trends in precipitation variability: Prague. Climati Change, Vol.72, N°1-2, September 2005.*

M.Nadbath, *Metadata*; Environmental Agency of the Republic of Slovenia, Ljubljana.

Olivia Martius, Evelyn Zenklusen, Cornelia Schwierz and Huw C. Davies, 2 November 2005. *Episodes of Alpine Heavy Precipitation with an overlying elongated stratospheric intrusion: a climatology. International J.Climatol.* 26*: 1149-1164 (2006)*

Polemio M., Dragone V., Limoni P.P., Mitolo D., Santaloia F., Settembre 2005. *The degradation hazard of groundwater resources of the Metaponto costal plain (Southern Italy)*.
Aquifer Vulnerability and Risk, 2° International Workshop, Colorno, Settembre 2005.

Roberto Serra, Angela Sulis and Chiara Manenti: *From paper to file: archives in Arpa Lombardia.*

Tomozeiu Rodica, Valentina Pavan, Carlo Cacciamani, 2003. *Cambiamenti climatici in valori medi ed estremi di temperatura e precipitazione in Emilia-Romagna. Quaderno tecnico Arpa SIM n°11/2001.*

12.1. Libri consultati

Climatic Changes, M.I. Budyko; American Geophysical Union.
I Cambiamenti Climatici, Meteorologia e Clima simulato, Antonello Pasini; Bruno Mondadori.
Il clima, Navarra Pinchera; Editori Laterza.
Il clima e il computer: nascita e sviluppo della scienza del clima attraverso l'uso dei calcolatori elettronici; Collana informatica Domani in collaborazione con IBM SEMEA.
Il tempo in montagna: manuale di meteorologia alpina, Giovanni Kappenberger, Jochen Kerkmann; Zanichelli.
I Protagonisti del Clima, Andrea Giuliacci; Alpha Test.
Esercitazioni di Meteorologia: Strumenti – Messaggi – Carte Meteo, Salvatore Abate; Liguori Editore.
Prevedere il tempo con Internet, Mario Giuliacci, Paolo Corazzon, Andrea Giuliacci; Alpha Test.
I più grandi eventi meteorologici della storia, Paolo Corazzon; Alpha Test.
Rivista di Meteorologia Aeronautica, Anno 66 n°2.
Rivista della Società Meteorologica Italiana, Nimbus; n 35-36.
Il clima di Vercelli dal 1871, Daniele Cat Berro, Maurizio Ratti, Luca Percalli, Elisabetta Lupotto; Edizioni Mercurio.
Eventi alluvionali in Piemonte: 13-16 ottobre 2000; Arpa Piemonte.
Rapporto sullo stato dell'ambiente in Lombardia; Edizione 2005-2006.

12.2. Siti internet consultati

http://sgl.cluster.it/NuovoSGL/HomePage_Ita.htm
www.arl.noaa.gov
www.arpalombardia.it
www.cpc.ncep.noaa.gov
www.ecmwf.int
www.icod.org.mt/aerosol/dust/med/dep/archive/
www.ilmeteo.it
www.meteogiornale.it
www.infomet.am.ub.es
www.westwind.ch
www.wetterzentrale.de
www.wunderground.com
www.msc-smc.ec.ca/nwsd/manuals/manab/manab_e.cfm
www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/boundlay.html
www.geologia.com
www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html
http://meted.ucar.edu/dispersion/cam_hys/index.htm
www.nimbus.it
www.meteoam.it
http://meted.ucar.edu/mesoprim/dust/
http://wms.jpl.nasa.gov
http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/
http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/
http://www.cru.uea.ac.uk/
http://www.ecmwf.int/research/era/
http://www.ictp.trieste.it/~pubregcm/RegCM3/

WP2 – Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso

Responsabile: Prof. Luigi Natale – Dip. di Ingegneria Idraulica e Ambientale – Università degli Studi di Pavia.

Collaboratori: Ing. Gabriele Bria, Ing. Mario Fugazza, Ing. Nathabandu Kottegoda, Ing. Ugo Moisello, Ing. Enrico Raiteri – Dip. di Ingegneria Idraulica e Ambientale – Università degli Studi di Pavia
Ing. Gianni Lisini – Dip. di Ingegneria elettronica – Università degli Studi di Pavia

INDICE

1. Introduzione 75
2. Individuazione delle variazioni climatiche con l'analisi statistica di lunghe serie storiche 76
3. Caratterizzazione della copertura nevosa nel bacino dell'Adda mediante misure satellitari 78
3.1. Scopo del lavoro 78
3.2. Metodologia 78
3.2.1. Cenni ai principi fisici del telerilevamento passivo 78
3.2.2. Struttura della catena di elaborazione progettata 79
3.2.3. Sensore e dati utilizzati 80
3.3. Il sensore AVHRR 80
3.3.1. Caratteristiche dei dati AVHRR 81
3.3.2. Ricerca dei dati AVHRR 82
3.4. Stato di sviluppo della catena di elaborazione 84
3.5. Esempi di risultati 85
4. Modellazione della formazione e propagazione dei deflussi 89
4.1. Base dati di misure idrologiche per il bacino della Valmalenco 89
4.2. Dipendenza delle principali grandezze idrologiche dalla quota. 93
4.3. La correlazione tra le stazioni di misura 95
4.4. La F.F.T. di serie temporali 98
4.5. Caratteristiche morfometriche del bacino 110
4.6. Afflussi meteorici al bacino 114
4.6.1. Sottobacino B1: Bacino del Mallero Alto 115
4.6.2. Sottobacino B2 : bacino del Torrente Lanterna 116
4.6.3. Sottobacino B3 : bacino del Mallero Basso 117
4.7. La trasformazione afflussi-deflussi 119
4.7.1. Modello a parametri concentrati 119
4.7.2. Modello a parametri distribuiti. 119
4.7.3. Metodo del bilancio di energia 121
4.7.4. Metodo dell'indice di temperatura 122
4.8. Applicazioni al bacino della Valmalenco 124
5. Riferimenti bibliografici 129

1. Introduzione

L'attività di ricerca condotta presso il Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale dell'Università di Pavia (WKP2) ha come obiettivo quello di definire i comportamenti ottimali nella gestione dei prelievi e della ripartizione della risorsa idrica nella Regione Lombardia

A tale scopo, il progetto mira a fornire un modello operativo che consenta di simulare il processo di formazione dei deflussi in modo di valutare sia l'utilizzo ottimale della risorsa, sia di salvaguardare la qualità dell'ambiente fluviale.
Lo scenario considerato, oggetto di studio, è costituito dal bacino dell'Adda, affluenti compresi.

La ricerca è stata inizialmente focalizzata sulla raccolta dei dati climatici (pluviometria, nivometria, termometria, ecc.) con l'obbiettivo di creare un archivio dati che potrà essere utilizzato dagli enti partecipanti al progetto. Per la sua complessità ed importanza l'attività, delegata ad ARPA Lombardia, ha richiesto la collaborazione tra i WKP che partecipano al progetto, fra i quali l'Università di Pavia (WKP2), che ha collaborato nel periodo trascorso, e tuttora collabora.

L'attività per l'acquisizione dei dati climatici su tutto il bacino della Lombardia è condotta in sede A.R.P.A. una volta alla settimana; è stato inoltre realizzato dal WKP2 e fornito ad ARPA un programma in linguaggio Fortran per la gestione dei dati climatici (dalla forma matriciale alla forma vettoriale e viceversa).
Per quanto riguarda l'attività di ricerca vera e propria si possono individuare tre filoni principali:

1) **Individuazione delle variazioni climatiche;**
2) **Caratterizzazione della copertura nevosa nei bacini montani;**
3) **Modellazione della formazione e propagazione dei deflussi.**

Dei punti 1) e 3) si occupano ricercatori del Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale; del punto 2) si occupano ricercatori del Dipartimento di Elettronica dell'Università di Pavia, sezione Telerilevamento.
Nel seguito si riporta lo stato attuale della ricerca per i tre aspetti evidenziati.

2. Individuazione delle variazioni climatiche con l'analisi statistica di lunghe serie storiche

Scopo della ricerca è lo studio della tendenza a lungo termine e delle variazioni stagionali nelle serie storiche di grandezze climatiche usando la procedura di campionamento di Gibbs. I metodi più comunemente usati per lo studio delle tendenze a lungo termine e, in particolare, delle variazioni stagionali, si prefiggono di individuare gli andamenti di insieme delle serie storiche di grandezze climatiche. In termini generali lo scopo è di individuare un andamento per la tendenza a lungo termine e uno per le variazioni stagionali sul periodo di durata delle osservazioni. Per lo studio si possono usare osservazioni con base temporale mensile, giornaliera ovvero annua.

Le serie climatiche solitamente studiate sono temperature, precipitazioni, portate, variabili atmosferiche, quali la concentrazione di anidride carbonica, la pressione atmosferica e il S.O.I. (Sourthen Oscillation Index). In passato sono state utilizzate varie tecniche di analisi statistica quali medie mobili, analisi in frequenza e metodi più sofisticati di analisi spettrale. Sebbene questi metodi siano di facile applicazione la loro principale limitazione consiste nella scelta della finestra temporale con l'inevitabile conseguenza che finestre lunghe tendono a tagliare le oscillazioni a bassa frequenza, mentre finestre corte presentano il problema opposto.

Un approccio alternativo ai precedenti consiste nel modellare la componente di tendenza e la componente periodica come se fossero variabili casuali di una serie temporale. Seguendo l'approccio dei filtri di Kalman si può usare un sistema stocastico dinamico per interpretare la variabile idrologica con una funzione di stato che incorpori la componente di tendenza e la componente periodica. Inoltre, poiché le proprietà statistiche, quali ad esempio la varianza, non sono conosciute per entrambe le componenti, sarebbe bene considerarle come variabili casuali. Un modello stocastico di questo tipo consente di costruire una procedura di analisi statistica generale e comoda da utilizzare, pur presentando notevoli problemi nella applicazione numerica. Questi problemi sono superabili solo con l'approccio Monte Carlo che consiste nella taratura delle variabili del modello stocastico adottando percorsi casuali: questo moderno approccio è indicato con il nome di Markov Chain Monte Carlo (MCMC). Nell'applicazione del metodo Monte Carlo è usata la procedura di campionamento di Gibbs. I vantaggi conseguiti sono la sua convergenza al livello desiderato, la semplicità e la versatilità di applicazione.

Di seguito è riportato un esempio di applicazione del filtro di Gibbs mediante il quale è stato possibile scindere il segnale temporale riferito alle altezze mensili di precipitazione (Fig.1) rispettivamente nella componente di tendenza (Fig.2) e nella componente periodica (Fig.3) e in quella casuale.

I dati di precipitazione mensile si riferiscono alla stazione di misura Svizzera di Airolo, la serie di osservazioni si riferisce agli anni compresi tra il 1925 ed il 2005.

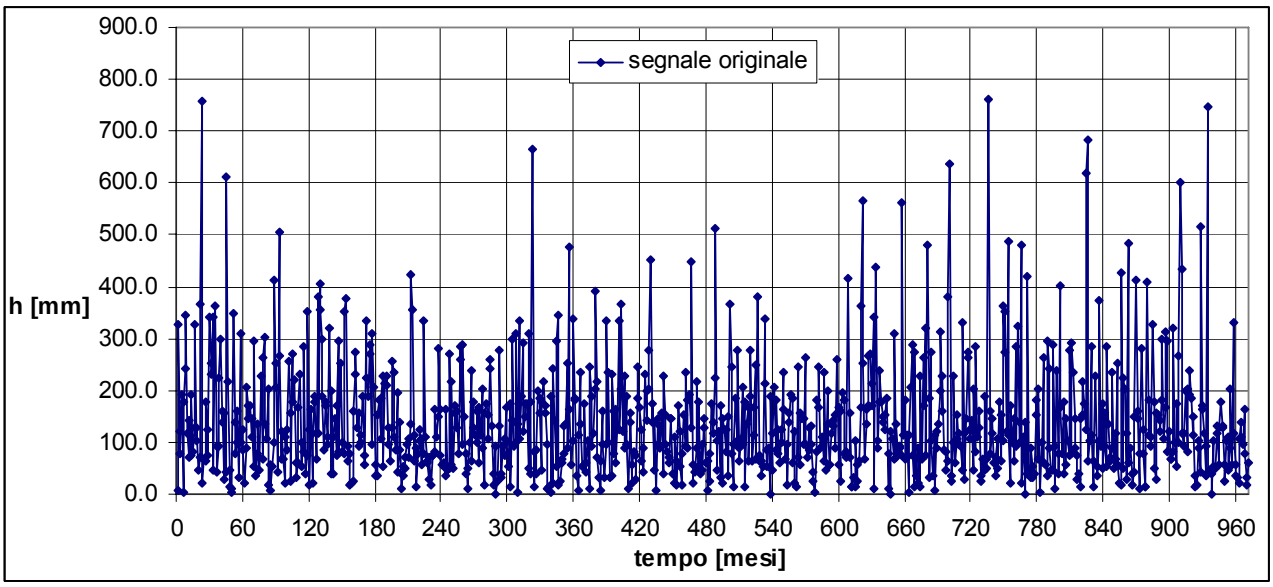


Fig. 1 – Segnale temporale di origine, altezza di pioggia mensile (Airolo 1925-2005)

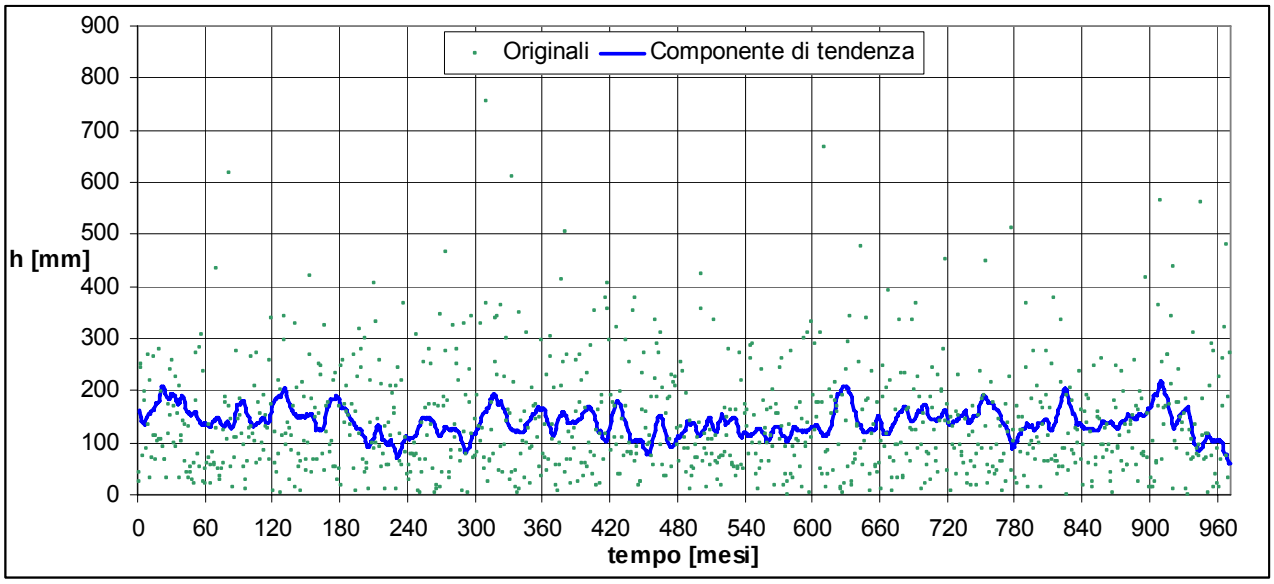


Fig. 2 – Componente di tendenza del segnale, altezza di pioggia (Airolo 1925-2005)

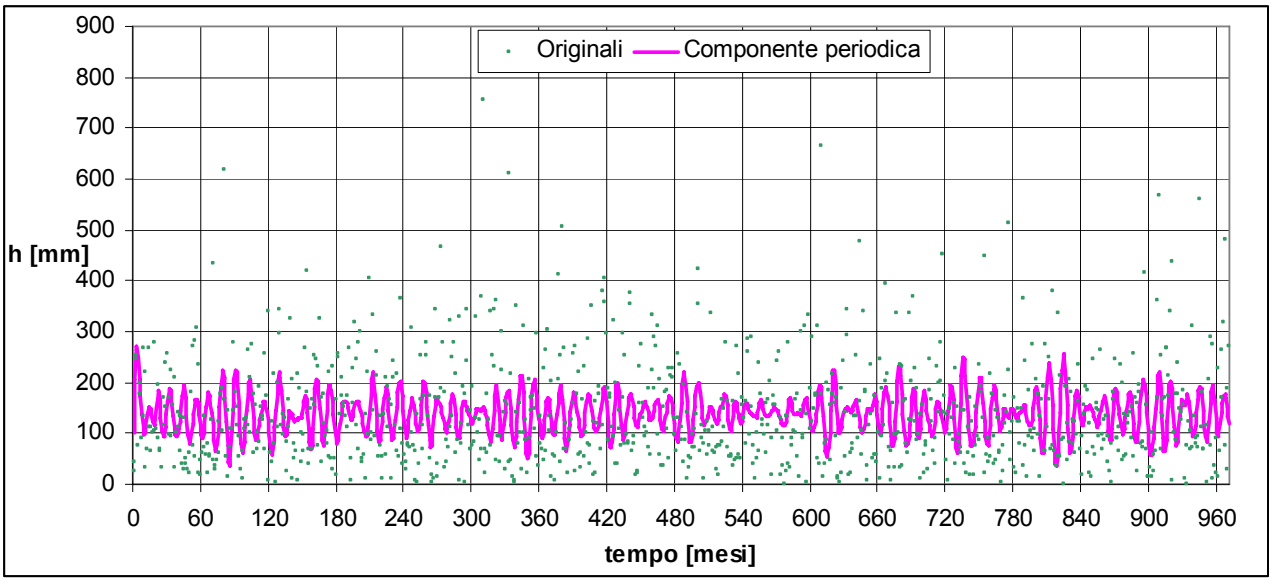


Fig. 3 – Componente periodica del segnale , altezza di pioggia (Airolo 1925-2005)

3. Caratterizzazione della copertura nevosa nel bacino dell'Adda mediante misure satellitari

3.1. Scopo del lavoro

Il lavoro oggetto di questo progetto è finalizzato alla stima dei parametri di interesse per valutazioni ambientali nelle aree coperte da precipitazioni nevose o da nevi perenni nell'area della Lombardia tramite misure satellitari. In altre parole si cerca un riscontro delle misure "puntuali", fatte a terra della copertura nevosa, tramite misure satellitari. Si partirà da un'immagine satellitare raffigurante la zona della Lombardia e da essa si cercherà di porre in evidenza (classificare) la zona ricoperta da neve (fig. 4).

(a) (b)

Fig. 4: (a)- immagine Avhrr falsi colori; (b) – relativa classificazione

La figura 1 rappresenta un esempio di dati di input e di output del lavoro: a sinistra in falsi colori un'immagine satellitare della Lombardia; a destra un esempio di classificazione della copertura nevosa.

3.2. Metodologia

Questo lavoro si basa sull'utilizzo di dati telerilevati per l'estrazione di coperture nevose, con particolare attenzione agli andamenti temporali e a serie storiche di dati acquisiti nel passato. Per chiarire la tecnica utilizzata, in questa sezione si fornisce una breve descrizione dei principi fisici del telerilevamento passivo da satellite, con particolare attenzione alla banda dell'infrarosso. A seguire, si definirà la catena di elaborazione in corso di implementazione, giustificandone i diversi passaggi.

3.2.1. Cenni ai principi fisici del telerilevamento passivo

Il telerilevamento passivo da satellite nella banda dell'infrarosso risulta particolarmente utile nella misura della temperatura superficiale del terreno sia in condizioni diurne che notturne poiché in tale banda risulta massima la radianza naturalmente emessa dalla terra. Le caratteristiche spettrali della radiazione emessa risultano infatti descritte dalla legge di Plank, con un massimo di emissione ad una lunghezza d'onda che diminuisce all'aumentare della temperatura del corpo emittente secondo la legge di Wien; per un corpo che si trova alla temperatura ambiente di circa 27 °C tale massimo si colloca alla lunghezza d'onda di circa 10 μm. La misura della copertura nevosa mediante telerilevamento a infrarosso da satellite è possibile solamente in opportuni intervalli spettrali dette "finestre" in cui l'estinzione atmosferica (sia per assorbimento sia per

diffusione) è minima e la trasparenza è massima. Queste finestre sono centrate alle lunghezza di 3.7 µm e di 11 µm per evitare le righe di assorbimento dovute all'anidride carbonica, l'azoto molecolare, ozono ed il vapor d'acqua. Dai valori di radianza si risale a quello di temperatura di radianza definito come quella temperatura termometrica che il corpo emittente avrebbe se fosse un corpo nero (con assorbimento uguale ad uno) e situato vicino allo strumento di misura.

Tale temperatura risulta generalmente inferiore a quella reale a causa di assorbimento dei vari componenti che costituiscono l'atmosfera. Nonostante che la massima trasparenza dell'atmosfera nell'infrarosso si presenti nelle due finestre a 3.7 e 11 µm, da un punto di vista operativo per il calcolo della temperatura del mare si preferisce utilizzare la finestra a 11 µm perché presenta i seguenti vantaggi:

- la superficie nevosa ha la massima emissione a tale lunghezza d'onda;
- la componente solare riflessa è trascurabile;
- la riflettanza della superficie del mare è inferiore rispetto a quella a 3.7 µm, rendendo la componente atmosferica riflessa trascurabile per la maggior pare delle applicazioni.

3.2.2. Struttura della catena di elaborazione progettata

Tenendo conto dei principi di cui sopra e delle richieste di analisi di copertura nevosa in catene di dati satellitari, con cadenza necessariamente dell'ordine delle 24 ore, la catena di elaborazione proposta si basa sull'utilizzo di dati multibanda, con informazioni sia nella banda ottica che nell'infrarosso, ed è costituita dai seguenti passi.

I Passo

Dal dato iniziale Avhrr si provvede a separare le 5 bande, la prima conterrà il dato ottico mentre le restanti sono dedicate all'infrarosso. Dalla 4 banda si preleva l'informazione relativa alla temperatura. In questa fase il dato viene generato attraverso un software freeware di supporto; successivamente si provvederà a integrare tale funzionalità all'interno della routine di separazione bande. Successivamente tale dato contenente le temperature viene processato in modo da estrarre le sole zone dell'immagine che presentano una temperatura compresa fra un minimo ed un massimo valore, in relazione sia all'ora di acquisizione dell'immagine, sia al periodo dell'anno. Tale procedimento permette di operare una prima separazione fra zone che potenzialmente sono ricoperte da neve. In definitiva avremo in uscita sia zone innevate che zone prive di neve ma ricoperte da nuvole.

II Passo

Il secondo passo prevede di raffinare la scelta delle soglie di temperatura tramite l'utilizzo del DEM (Digital Elevation Model) relativo alla zona di interesse. Lo scopo è quello di poter variare le soglie di temperatura in relazione all'altezza del territorio, trattandosi in particolar modo di zone montuose, in cui il fattore "altezza" non è trascurabile. In generale zone ad quota maggiore avranno temperature del manto nevoso minori di quelle collocate ad altezze inferiori. Oltretutto la conoscenza sull'altezza delle quota permette di stimare "a priori" la probabilità relativa di presenza di ghiacciai perenni in caso di classificazione dubbia.

III Passo

La terza parte del procedimento prevede di utilizzare la 3^{a} banda del dato Avhrr con lo scopo di separare zone ricoperte da nuvole da zone innevate. In tale banda (presente solo in alcuni sensori Avhrr montati su satelliti NOAA) la discriminazione fra neve e nuvole risulta più agevole in quanto la riflettanza e notevolmente differente. In ingresso alla routine verrà inserito il risultato proveniente dai passi precedenti (II.B.1 – II.B.2). Ciò nonostante tale procedimento non può che stimare la presenza di nuvole e dirci poco o nulla sulla eventuale presenza di neve al di sotto di esse.

IV Passo

Successivamente si procederà ad aggiungere una routine in grado di colmare le relative lacune che inevitabilmente si presenteranno all'interno della classificazione, lacune dovute a coperture nevose sotto le quali non si può dedurre la reale presenza o assenza di neve. Partendo dalle zone in cui vi sia assenza di copertura nuvolosa e dal dato integrativo DEM, si procederà ad stimare la probabilità di avere copertura nevosa sottostante. Tale metodo è ragionevole nel caso di limitate zone dell'immagine coperte da nuvole.

V Passo

Al fine di migliorare ulteriormente l'accuratezza della classificazione in caso di immagini in cui vi sia presenza massiccia di nuvole, è possibile procedere ad una classificazione che prenda in esame più immagini contemporaneamente acquisite in diversi momenti della giornata. In tale modo si cerca di sfruttare il fatto che durante la giornata l'eventuale copertura nevosa cambia in misura decisamente limitata rispetto a quella nuvolosa, in quanto le correnti d'aria ne variano in continuazione la forma e l'estensione. Anche in questo caso il procedimento è attuabile nel caso vi siano nuvole di estensione non particolarmente elevata.

3.2.3. Sensore e dati utilizzati

Sulla base delle richieste dell'applicazione e della metodologia indicata nella sezione precedente, la scelta dei dati satellitari da utilizzarsi è ricaduta su quelli ottenuti dai sensori AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), in quanto da un lato presentano risoluzione che possono apparire adeguate per il nostro utilizzo (circa 1 km di risoluzione spaziale), dall'altro forniscono una copertura temporale della nostra zona di interesse praticamente quotidiana per un ampio lasso temporale. Al fine di voler fare uno studio sulle serie storiche delle coperture nevose che presenti sulla Lombardia, essi appaiono i più indicati, in quanto sono disponibili dati pressoché quotidiani dal '87 in poi. Altro punto a loro favore è la completa gratuità dei dati stessi. Di fondamentale importanza è la possibilità di avere più bande di frequenza su qui poter lavorare, soprattutto nella zona dell'infrarosso in cui vi sono bande su cui vi è la possibilità di discriminare al meglio la copertura nevosa da quella nuvolosa.

3.3. Il sensore AVHRR

Sui satelliti del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e' installato, tra gli altri strumenti, anche lo spettroradiometro ad immagine AVHRR (sigla che sta per Advanced Very High Resolution Radiometer) in grado di misurare l'intensità della radiazione elettromagnetica riflessa ed emessa dalla superficie terrestre in diverse bande di lunghezze d'onda nel visibile, nell'infrarosso vicino e nell'infrarosso termico. Il sistema di

scansione dell'AVHRR ha un angolo totale di scansione di circa 55° equivalenti ad una larghezza della strisciata a terra di circa 2400 Km.

Il primo AVHRR era un radiometro a 4 canali su piattaforma TIROS-N lanciato nell'Ottobre 1978. La seconda versione è stata migliorata con uno strumento a cinque canali (AVHRR/2) lanciata la prima volta su piattaforma NOAA-7. L'ultima versione e' l'AVHRR/3. Attualmente sono operativi i satelliti NOAA 12-15-16 e 17 con le versioni 2 e 3 dell'AVHRR.

Le orbite dei satelliti NOAA sono polari eliosincrone con una quota di circa 850 Km ed un periodo orbitale dell'ordine dei 100 minuti. Caratteristica delle orbite polari eliosincrone e' quella di ripassare nello stesso punto alla stessa ora locale. Nel caso della costellazione dei satelliti NOAA questo permette il monitoraggio dello stesso punto diverse volte al giorno (fino a 10 con i cinque satelliti oggi operativi).

Il sensore AVHRR (Advance Very High Resolution Radiometer), montato a bordo dei satelliti NOAA è stato progettato per applicazioni relative all'analisi meteorologica e per le previsioni del tempo. Il primo satellite utilizzato operativamente risale al 1978 (NOAA 6) ma all'epoca solo pochi centri di ricezione a terra disponevano di capacità di immagazzinamento dei dati che tali piattaforme inviavano regolarmente a terra. Dagli inizi degli anni 80 ad oggi la tecnologia ha consentito di ottenere delle macchine sempre più potenti in termini di capacità di calcolo e di memorie per immagazzinare i dati. Contemporaneamente, i dati acquisiti si sono dimostrati utili non solo per scopi meteorologici, ma anche per il monitoraggio della temperatura superficiale terrestre che marina. Inoltre le immagini riprese nel visibile e nel vicino infrarosso si sono rivelate come preziose fonti di informazione riguardo alla vegetazione terrestre.

Il sensore AVHRR è un radiometro a scansione nadirale operante in 5 bande (vedi tabella 1) che coprono l'intervallo spettrale dal visibile (0.58 μm) all'infrarosso termico (12.4 μm). Ogni banda viene misurata dal satellite secondo la stessa vista, in modo da poter effettuare analisi multispettrali sovrapponendo le informazioni provenienti dai diversi intervalli spettrali.

Canali del sensore	**Lunghezza d'onda (μm)**
CH1	0.58 - 0.68
CH2	0.725 - 1.1
CH3	1.6 - 1.8
CH4	10.3 - 11.3
CH5	11.4 - 12.4

Tab. 1: lunghezze d'onda delle singole bande

3.3.1. Caratteristiche dei dati AVHRR

I dati provenienti dal sensore AVHRR vengono attualmente utilizzati per la determinazione della copertura nevosa, nuvolosa, della temperatura superficiale del mare

e del terreno, l'osservazione della vegetazione, della neve e del ghiaccio, del mare e delle acque interne. In [1] vi è la descrizione dell'utilizzo di tali dati finalizzato al rilievo della temperatura superficiale del mare, mentre in [2] e [4] viene dato un esempio di utilizzo di tali immagini nella classificazione delle aree ricoperte da neve nella zona delle Alpi svizzere.

I dati disponibili dall'AVHRR, considerata la lunga operatività dei satelliti NOAA, ci consentono quindi la realizzazione di studi specifici sul monitoraggio in continuo degli ecosistemi ed in particolare lo studio degli eventuali cambiamenti in atto o già avvenuti. Presso il NOAA è disponibile una serie temporale quasi ventennale di dati sintetici (derivati dai dati originali), organizzata in una banca dati georeferenziata, utile per analisi ambientali a livello regionale. Lo scopo principale del suddetto Database è quello di derivare, a partire dai valori registrati nella varie bande, informazioni relative alla superficie della zona di interesse, nel nostro caso mirato a discriminare la copertura nevosa.

La temperatura del suolo è un parametro chiave per poter discriminare le zone ricoperte da neve da quelle che non lo sono. Inoltre tramite opportuni accorgimenti è possibile discriminare zone nevose da zone nuvolose. L'indice di verde NDVI definito come il rapporto tra la semidifferenza e la semisomma tra i canali visibile e vicino infrarosso, è un parametro chiave nella stima della copertura vegetale e viene quindi utilizzato come ulteriore parametro di discriminazione.

Per quanto riguarda il particolare problema oggetto di questo lavoro, si può osservare che una opportuna combinazione delle varie bande del sensore è possibile ottenere una buona discriminazione fra zone occupate da neve da quelle occupate da nuvole. In particolare gli ultimi sensori AVHRR montati sui satelliti NOAA permettono di avere una banda incentrata sui 1.6 micron in cui le due risposte spettrali sono nettamente differenti fra di loro (vedi fig. 5). Ciò enfatizza la differenza fra le due situazioni. In mancanza di tale banda la discriminazione risulta decimante più difficile essendo le risposte spettrali praticamente simili nella rimanente porzione di spettro.

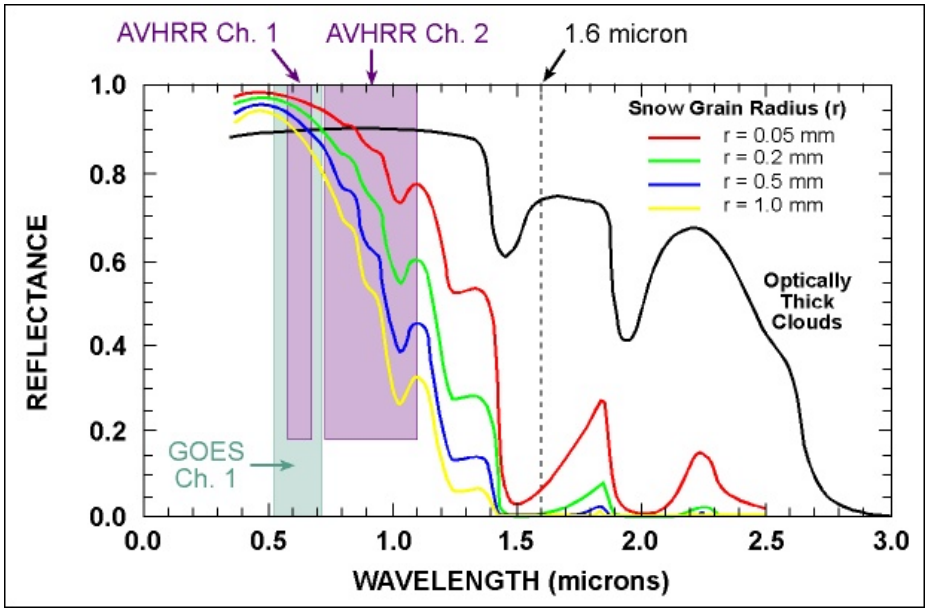


Fig. 5: Andamento spettrale di nuvole/neve nelle diverse bande Avhrr

3.3.2. Ricerca dei dati AVHRR

Tramite il sito del NOAA (http://www.class.noaa.gov/nsaa/products/welcome) è possibile scaricare gratuitamente i dati di nostro interesse. Tale procedura è coadiuvata da un'interfaccia grafica in cui è possibile fornire vari parametri fra cui:

- Intervallo di tempo in cui si vogliono visualizzare le immagini disponibili;
- Coordinate della zona di interesse (nel nostro caso la Lombardia);
- Intervallo orario in cui desideriamo il passaggio del satellite;
- Tipo di risoluzione spaziale desiderata (4 km/pixel o 1 km/pixel)

Successivamente l'interfaccia interrogherà il database che visualizzerà le immagini che sono reperibili compatibilmente con i dati immessi; inoltre ci fornirà a schermo le zone di copertura del passaggio del satellite per ogni immagine disponibile. Coadiuvati da tale mappa si sceglierà in definitiva l'immagine o le immagini che meglio inglobano la zona di interesse. Le immagini verranno fornite tramite ftp. Il lasso di tempo che intercorre fra il momento in cui si chiedono le immagini è quando sono disponibili per il download, varia fra alcuni minuti e la mezz'ora. Una mail avverte della disponibilità.

Nella figura qui di seguito sono riportati i tre passaggi relativi:

1. alla schermata di richiesta dei dati, con impostati i parametri di interesse per la area oggetto di questo studio (fig. 6-a);
2. alla schermata in cui sono presentati i risultati della richiesta, con le posizioni dei dati disponibili e la possibilità di selezionarne un sottoinsieme (fig. 6-b);
3. alla schermata per il download dei dati selezionati(fig. 6-c).

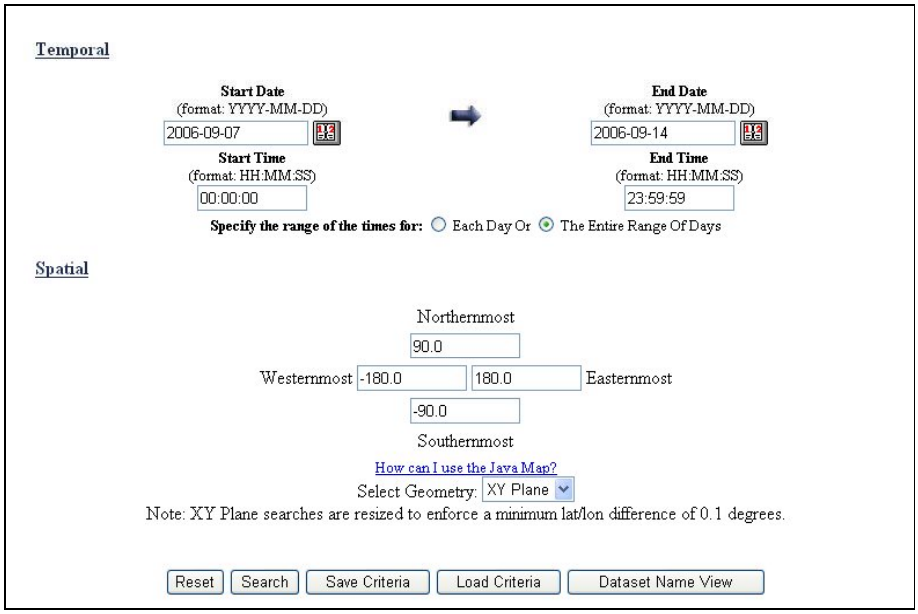


Fig. 6(a) – Impostazione parametri

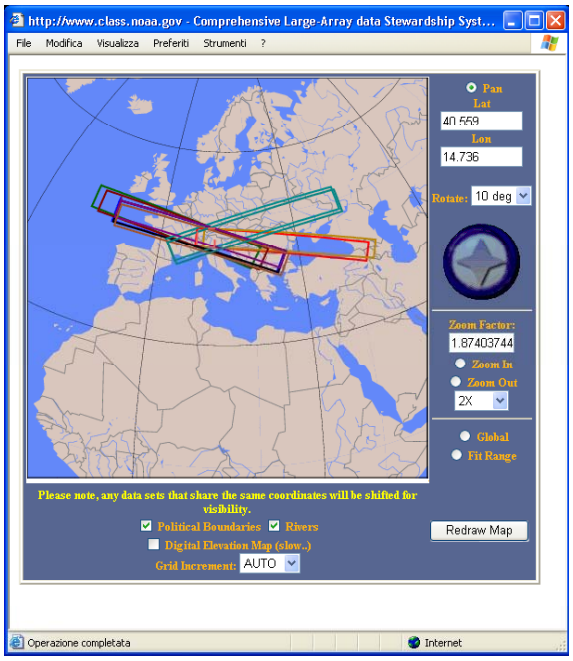


Fig. 6(b) – Schermata di scelta immagine

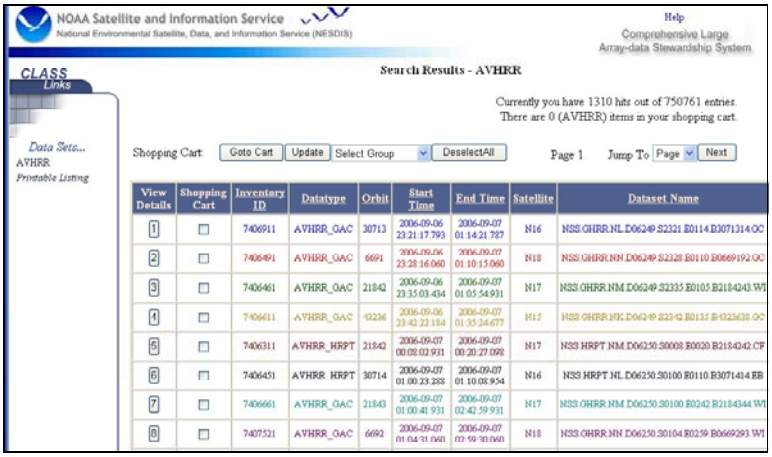


Fig. 6(c) – Schermata download dati

3.4. Stato di sviluppo della catena di elaborazione

Attualmente la catena di elaborazione progettata nella sezione III di questo documento è stata parzialmente implementata mediante un programma in linguaggio C, dotato al momento solo di un'interfaccia testuale. Sia i dati che e parametri vengono passati tramite linea di comando. I risultati vengono salvati nella stessa cartella dove sono presenti i dati iniziali.

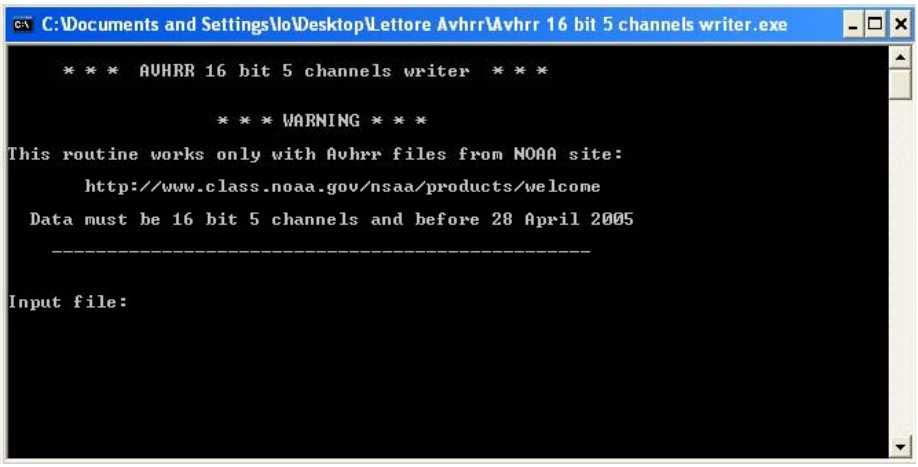


Fig. 7 – Interfaccia testuale routine lettura dati AVHRR

Nell'esempio è visualizzata l'interfaccia che permette di generare le 5 bande sottoforma di file ASCII a 16 bit di risoluzione cromatica (toni di grigio) partendo da un'immagine AVHRR, dunque nel formato che viene fornito dal NOAA.

Successivamente si procede alla elaborazione del file contenente le temperature quale elemento discriminante fra suolo coperto/non coperto da neve. In base alla periodo dell'anno in esame si utilizzeranno soglie di temperatura differenti, mirate a discriminare ad un primo livello le zone nevose dal resto del terreno. Tale funzione è realizzata tramite un ulteriore algoritmo che provvede a "sogliare" il dato contenente le temperature al suolo. Anche in questo caso si tratta di un'interfaccia a linea di comando.

Fino a questo momento sono stati ottenuti risultati soddisfacenti utilizzando una sola parte della procedura di classificazione, vale a dire la sola discriminazione fatta tramite le temperature al suolo. Successivamente si provvederà ad integrare tale procedura con il resto delle bande.

Come fase ultima si provvede alla generazione di un file compatibile con la piattaforma software ArcView. In tale formato è possibile avere all'interno di un unico progetto (spesso formato da più file), l'immagine originale in falsi colori, la classificazione, e il dato relativo alla georeferenziazione, in maniera da facilitarne l'utilizzazione in passi di elaborazione o di modellazione successivi.

3.5. Esempi di risultati

Al fine di valutare la versione attuale della procedura, si è concordato con l'ARPA Lombardia di valutare alcune date che corrispondono a giorni in cui la copertura nuvolosa è minima e per i quali si può avere un confronto con quanto da loro estratto a partire da un'altra scelta di sensore, il MODIS. I dati ed i prodotti del sensore MODIS a bordo dei satelliti ad orbita bassa TERRA e AQUA rappresentano un ragionevole compromesso tra risoluzione spaziale e frequenza di osservazione. Su entrambi i satelliti è montato il MODIS (sigla che sta per MODerateresolution Imaging Spectroradiometer), uno spettro-radiometro a 36 bande che misura la radiazione nel visibile e nell'infrarosso, derivandone prodotti relativi alla vegetazione, alla tipologia della superficie, alla fluorescenza della clorofilla sugli oceani, alle proprietà delle nubi e degli aerosol, agli incendi, alla neve su terra e ai ghiacci su mare. Il primo MODIS fu lanciato a bordo del satellite TERRA nel Dicembre 1999, il secondo su AQUA nel maggio 2002. Per contro il MODIS non essendo disponibili in date precedenti il 2001 non è possibile utilizzarlo per classificazione riguardante immagini anteriori a tale data. Uno scopo del lavoro è la valutazione delle serie storiche di copertura nevosa, dunque realizzabile con dati AVHRR. L'approccio di ARPA Lombardia è la classificazione supervisionata di immagini MODIS ottenute tramite

“mosaico”, dunque per la maggior parte dei casi prive di coperture nuvolose. La classificazione viene fatta utilizzando classificatori non supervisionati e successivamente raggruppando in un secondo tempo le varie classi in modo supervisionato.

In figura 8 è rappresentato un risultato di classificazione ottenuto utilizzando solo la discriminante “temperatura”. L’immagine in questione è del 2 aprile 2001. Le zone azzurre corrispondono ad una classificazione “neve”, mentre quelle bianche (verso la zona centrale) la classificazione delle nuvole.

Trascurando alcuni falsi riconoscimenti (ad es. nella zona in alto a destra), tale classificazione risulta accettabile considerando che si tratta di un risultato intermedio.
Di seguito sono riportate anche le classificazioni ottenute nelle seguenti date:

- 2 aprile 2001
- 28 maggio 2001
- 20 giugno 2001
- 9 settembre 2001

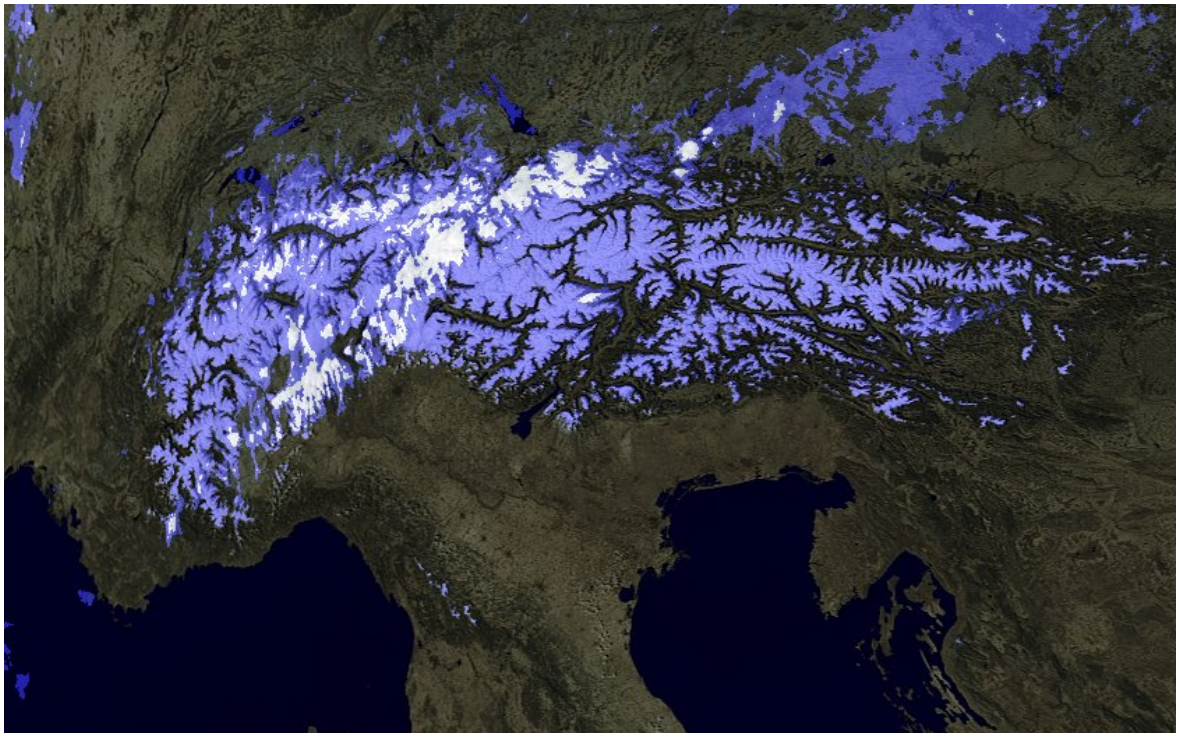


Fig. 8(a) – Immagine 2 aprile 2001

A parte l’ultima data, le soglie di temperatura, scelte fino ad ora indipendentemente dalla stagione dell’anno, danno risultati discreti.

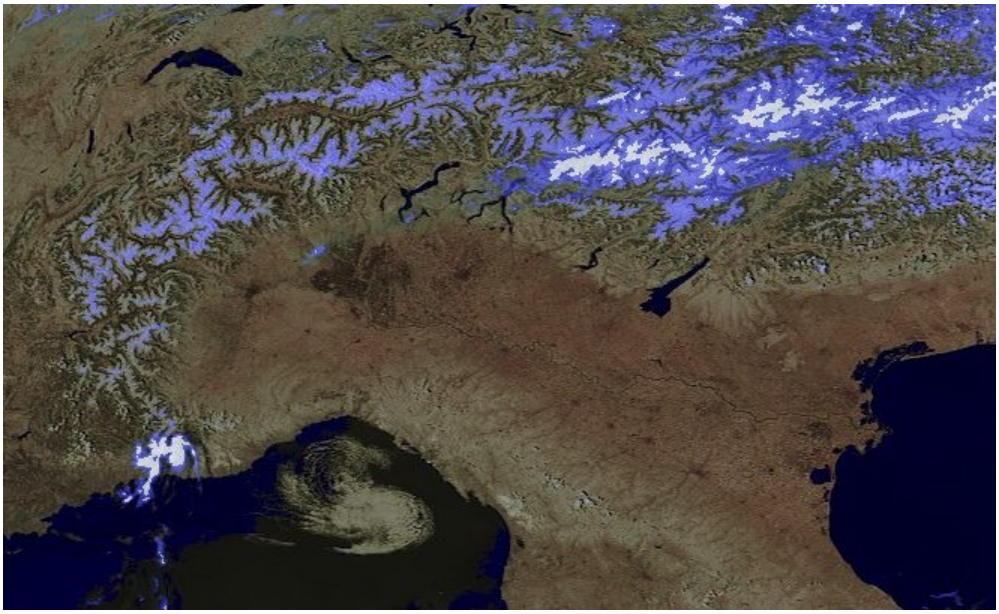


Fig. 8(b) – Immagine 28 maggio 2001

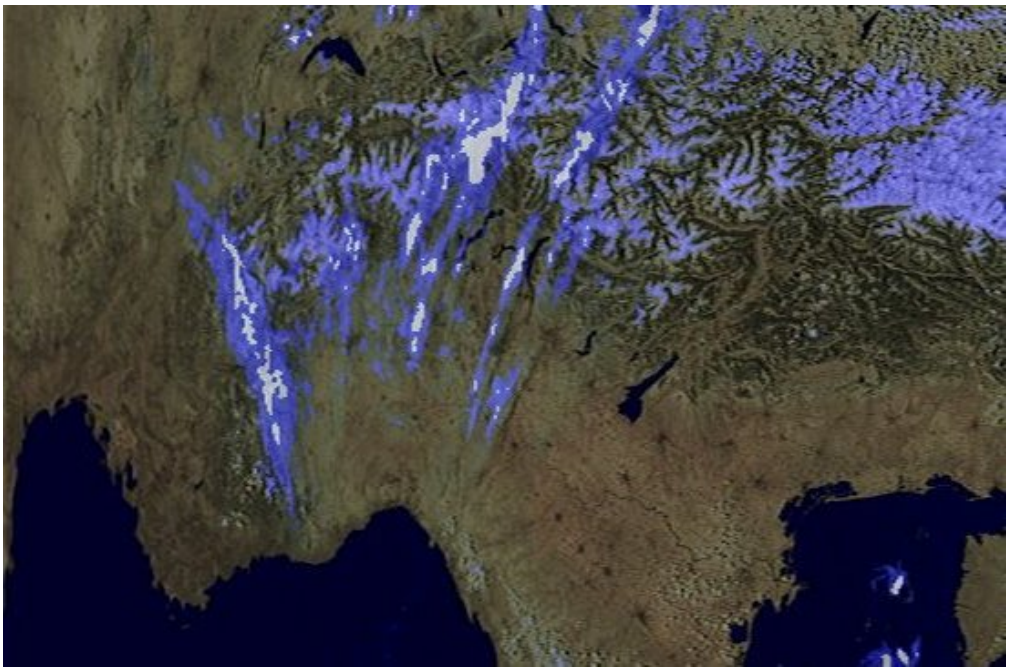


Fig. 8 (c) – Immagine 20 giugno 2001

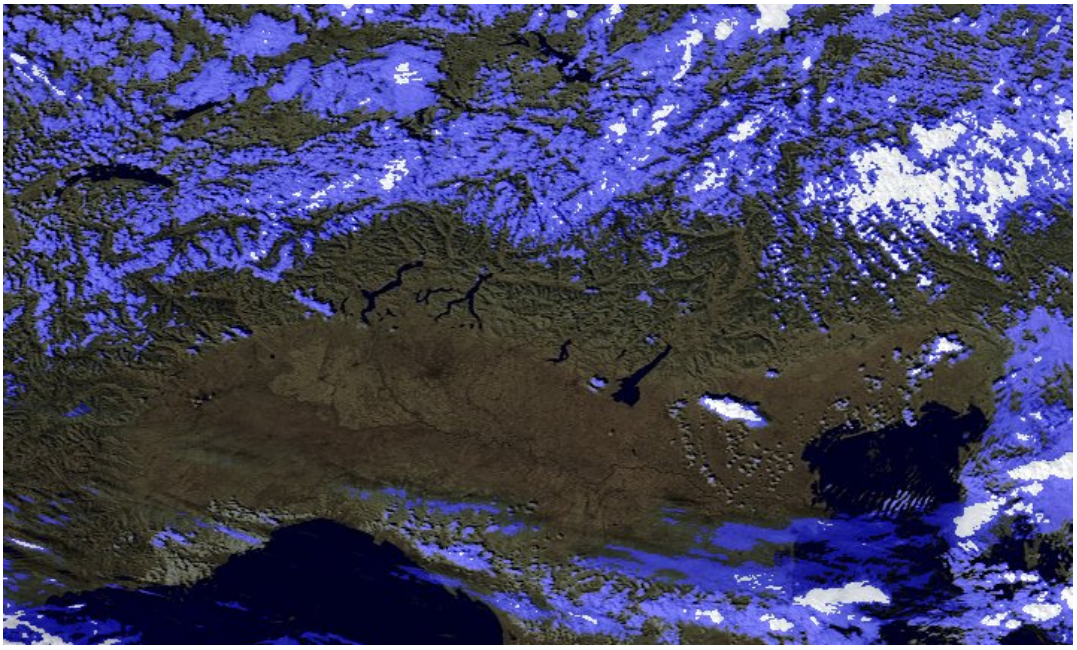


Fig. 8 (d) – Immagine 9 settembre 2001

Da tali risultati ottenuti nella prima fase del progetto si nota come il principale ostacolo sia costituito dalla copertura nuvolosa praticamente onnipresente sulle immagini. La principale causa è da ricercare, come precedentemente accennato, al fatto di mostrare una temperatura superficiale simile a quella delle zone coperte da neve e una riflessione pressoché identica nella banda del visibile.

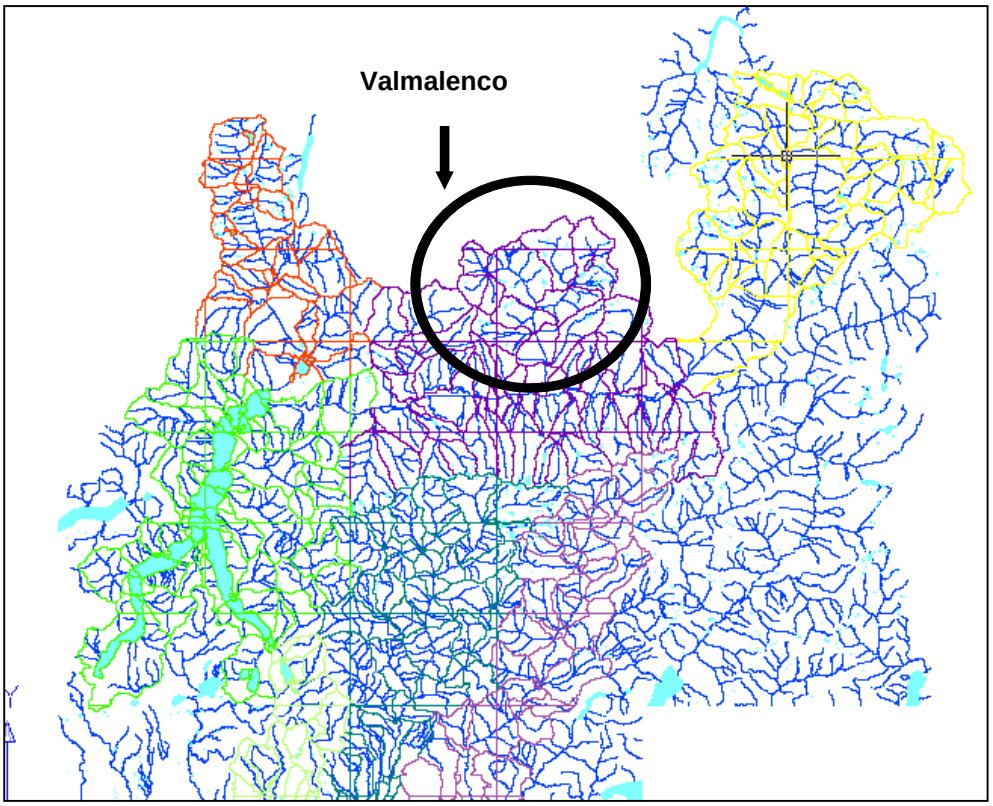
4. Modellazione della formazione e propagazione dei deflussi

In ambito locale, all'interno dell'unità WP2, si è deciso, come primo passo nell'ambito della costruzione di un modello, di focalizzare lo studio sul bacino della Valmalenco caratterizzato da una situazione idrologica resa particolarmente complessa dalla presenza di ghiacciai e abbondanti precipitazioni nevose nel periodo invernale, da forti variazioni di quota e dalla presenza di numerosi invasi artificiali. Per questo bacino è già disponibile una base dati di misure idrologiche (pioggia, altezza del manto nevoso, temperatura, deflusso), ricavata da studi precedenti sufficientemente ampia da consentire di analizzare in dettaglio il fenomeno fisico della formazione e propagazione del deflusso e di mettere quindi a punto un modello di simulazione in continua della trasformazione afflussi-deflussi sui lunghi periodi.

Il modello, una volta testato, potrà essere in seguito esteso, previa taratura, a tutto il territorio della Lombardia ed usato per finalità specifiche in sinergia con i contributi forniti dagli altri gruppi di ricerca.

Lo studio del bacino della Valmalenco è stato inizialmente condotto strutturando l'analisi nei seguenti punti :

- Raccolta dati climatici (dati pluviometrici, nivometrici e termometrici) reperiti da stazioni automatiche (fonte A.R.P.A.), archiviazione dati.
- Ricostruzione dati pluviometrici mancanti per tutte le stazioni mediante: correlazione tra stazioni limitrofe, analisi degli ietogrammi di pioggia.



4.1. Base dati di misure idrologiche per il bacino della Valmalenco

Per quanto riguarda il bacino della Valmalenco, è stata creata una banca dati di misure idrologiche (pluviometrie, nivometrie e termometrie) considerando 21 stazioni automatiche ubicate all'interno del bacino.

I dati sono stati reperiti dalla banca dati dell'A.R.P.A. Lombardia e da precedenti studi di ricerca condotti sul bacino presso il Dipartimento di Idraulica dell'Università.
Nel reperire le serie di osservazioni si è fatto riferimento alle sole misure giornaliere, per quanto riguarda le pluviometrie le stazioni automatiche registrano sia l'altezza di pioggia sia l'altezza di neve fusa (quando presente).

Le serie di osservazioni disponibili sono relativamente brevi a parte le serie storiche delle stazioni di Lanzada e Sondrio, le osservazioni risultano comunque sufficienti per studiare i fenomeni fisici di maggior interesse per la messa a punto del modello.

Si riportano di seguito, in tabella 2 le serie di osservazioni disponibili per le pluviometrie, nivometrie e termometrie.
Si riporta inoltre (Fig. 9) lo schema del bacino e l'ubicazione delle stazioni di misura.

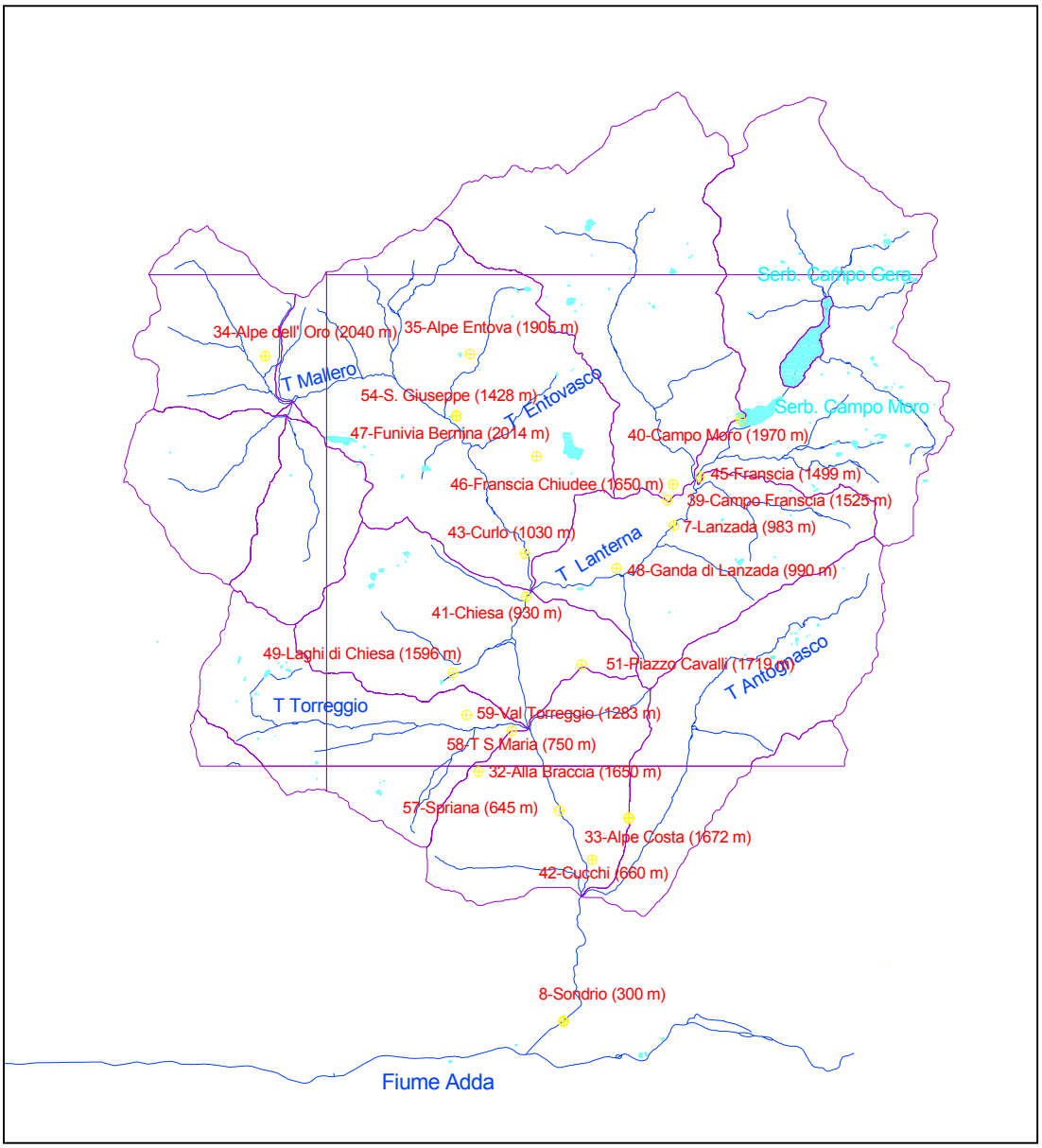


Fig. 9 - Bacino della Valmalenco, stazioni di misura

N	Stazione	[m s.l.m.]	Pluviometrie	Termometrie	Nivometrie
7	Lanzada	930	1913-2001	1989-2001	
8	Sondrio	300	1913-1973		
32	Alla Braccia	1650	1989-2001	1989-2001	
33	Alpe Costa	1672	1989-2001	1989-2002	1989-2001
34	Alpe Oro	2040	1989-2001		1990-2001
35	Alpe Entova	1905	1989-2001	1989-2002	
39	Campo Franscia	1525	1989-2001	1989-1999	
40	Campo Moro	1970	1968-2002	1986-2002	1990-2001
41	Chiesa	930	1987-2001		
42	Cucchi	660	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

Tab. 2 – Stazioni di misura considerate e relative serie di osservazioni disponibili

Creato un archivio dati per il bacino, si sono “ricostruiti” i dati di pioggia mancanti per tutte le stazioni di misura considerate.
Il criterio adottato è stato quello di calcolare il coefficiente di correlazione tra tutte le stazioni, facendo riferimento ai dati mensili di precipitazione.

Considerando quindi solo le stazioni limitrofe maggiormente correlate si sono ricostruiti i dati giornalieri mancanti confrontando gli ietogrammi di pioggia, facendo riferimento ovviamente alle sole stazioni in cui risultavano disponibili le osservazioni giornaliere.

Si riporta a titolo di esempio, il caso di Lanzada (anno 1990), precisamente manca l’osservazione dell’altezza di precipitazione rispettivamente il 16 Aprile ed il 12 Agosto come mostra la tabella 3

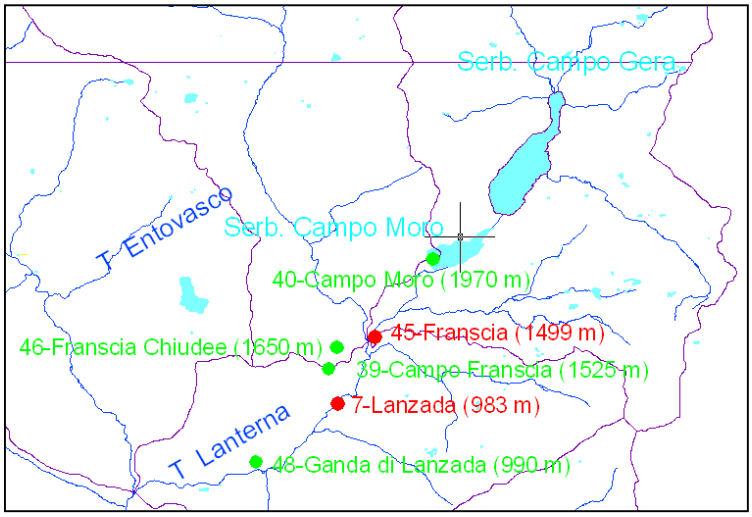
Stazione di Lanzada anno 1990 h pioggia giornaliera [mm]											
G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
0	0	0	0	0	0	9	0.2	0.2	0.8	12.4	0
0	1.8	0	0.2	0	0.4	9.4	0	0	0.2	0.2	0
0	0	0	11	0	0	14.6	0	0	0	5.2	0
0	0	0	10.6	0	5.2	0	0	1.8	34	5.4	0
0	0	0	1.6	0	26.4	1.4	0	0.2	0.2	0	0
0	0	0	9	1.8	19	0.4	6.6	0	0	0.6	0.2
0	0	0	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	2	0	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	1.8	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	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		11.2	15		7.4		0

Tab. 3– Altezza giornaliera di precipitazione [mm]
nell'anno 1990 (Lanzada)

Sono stati quindi confrontati gli ietogrammi di pioggia tra le stazioni di Lanzada e Franscia.
Tra tutte le stazioni limitrofe a Lanzada infatti (Franscia, Campo Franscia, Ganda di Lanzada, Campo Moro e Franscia Chiudee), Franscia risulta essere quella maggiormente correlata con Lanzada ed inoltre sono disponibili le osservazioni nei due giorni considerati.

Coefficiente di correlazione:

Stazione	46	45	40
7	0.79	0.82	0.77



Si riporta (Fig. 10) il confronto tra gli ietogrammi di pioggia per i mesi di Aprile ed Agosto

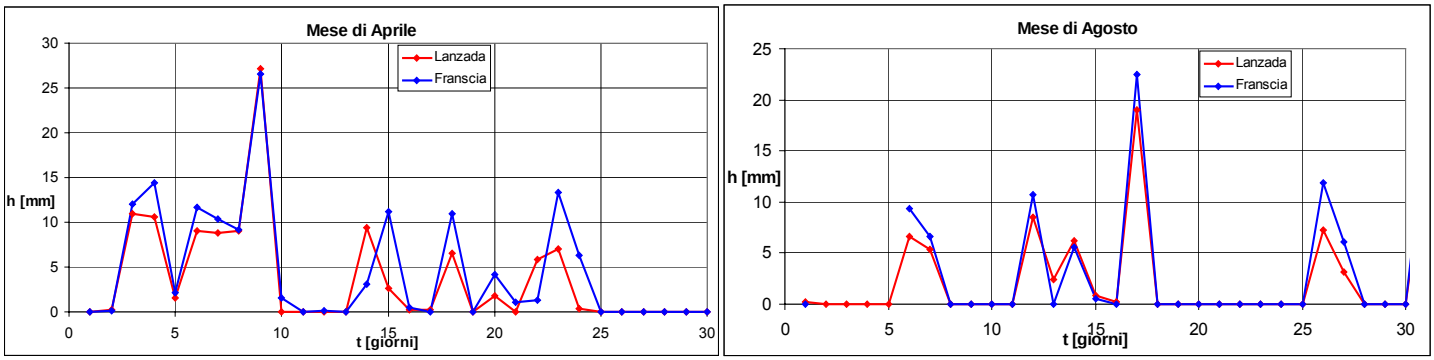


Fig. 10– Confronto tra gli ietogrammi di pioggia (stazioni di Lanzada e Franscia)

Per ogni mese si sono scalati gli ietogrammi di pioggia determinando il valore che esprime il rapporto medio tra le altezze di pioggia nelle due stazioni di misura.

Noto il rapporto tra gli ietogrammi, è stato possibile "calcolare" il dato di pioggia mancante.

Questo lavoro è stato fatto per le 21 le stazioni considerando tutti gli anni che costituiscono le serie di osservazioni disponibili.

L'operazione è stata necessaria per condurre l'analisi sui dati di pioggia mensili come mostrato in seguito.

4.2. Dipendenza delle principali grandezze idrologiche dalla quota

Creato quindi un archivio dati, si è studiata la dipendenza delle principali grandezze idrologiche (altezza di pioggia, altezza del manto nevoso, temperatura) dalla quota assoluta, facendo riferimento a valori medi mensili. La conoscenza di questi gradienti è di fondamentale importanza per la definizione dello zero termico, necessario per distinguere la precipitazione nevosa dalla pioggia e per definire l'inizio della fase di scioglimento, nonché per l'evapotraspirazione.

A titolo di esempio è riportato di seguito (Fig. 11 e 12) l'andamento dell'altezza di pioggia [mm] in funzione della quota assoluta [m s.l.m.] per i mesi di Settembre ed Agosto per il bacino della Valmalenco.

L'analisi è stata condotta considerando le serie pluviometriche comprese tra il 1990 ed il 2001 per diciassette stazioni di misura ubicate in Valmalenco, le stazioni sono poste a quote differenti.

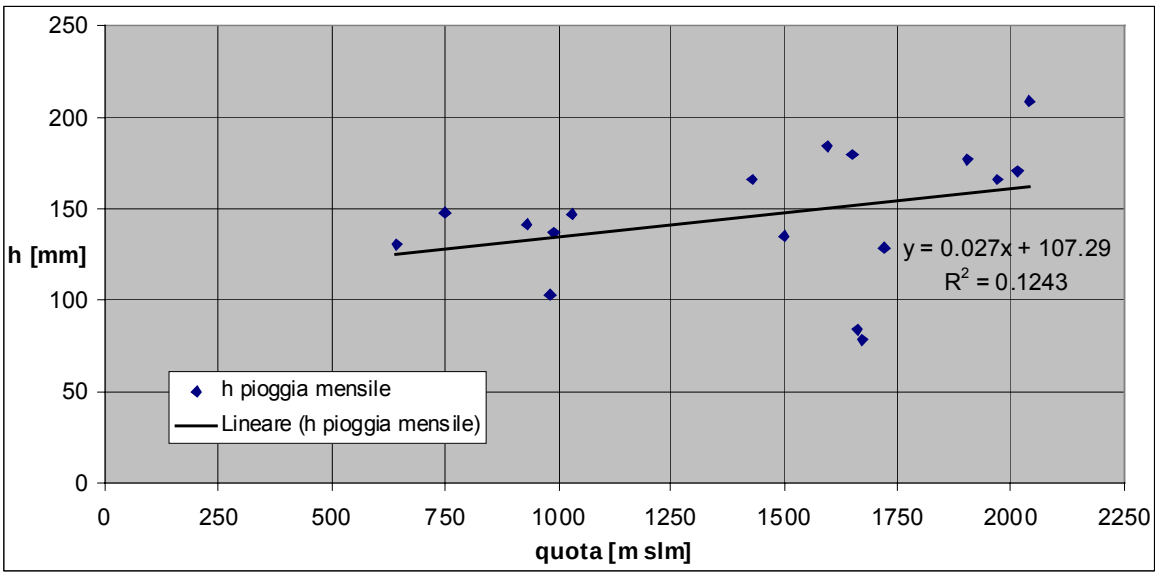


Fig. 11 – Dipendenza dell'altezza di pioggia media mensile dalla quota per il mese di Settembre

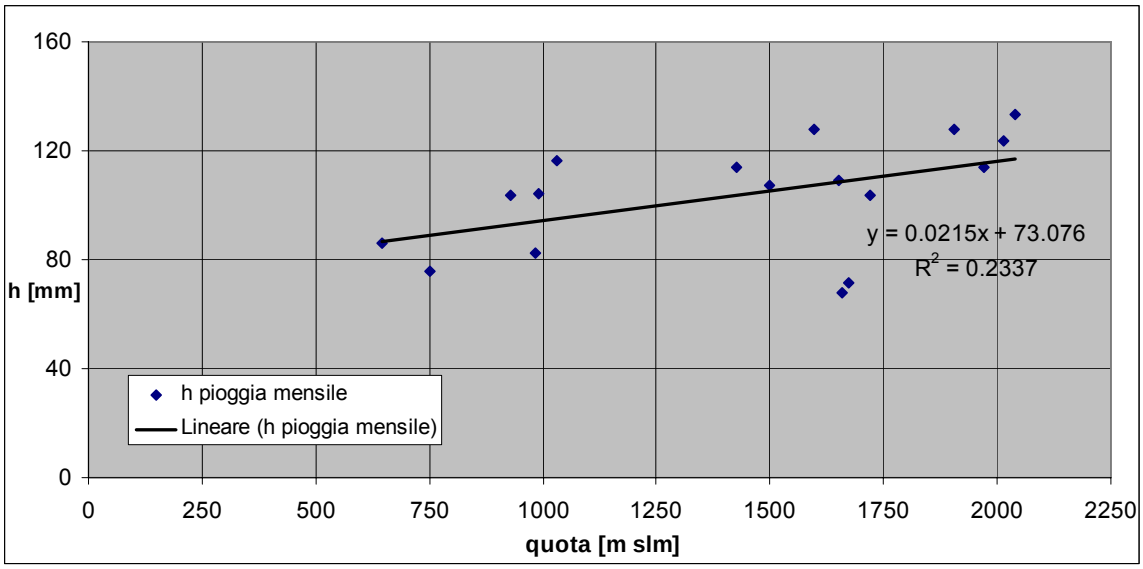


Fig. 12 – Dipendenza dell'altezza di pioggia media mensile dalla quota per il mese di Agosto

In modo analogo sono stati determinati i gradienti dell'altezza media del manto nevoso e della temperatura [°C] con la quota assoluta. L'analisi mensile è stata condotta considerando dieci stazioni di misura situate a differenti quote, si riportano, come esempio, i risultati ottenuti rispettivamente per i mesi di Agosto e Dicembre (Fig. 13 e 14).

Il gradiente è stato valutato considerando le temperature medie mensili dal 1989 al 2001.

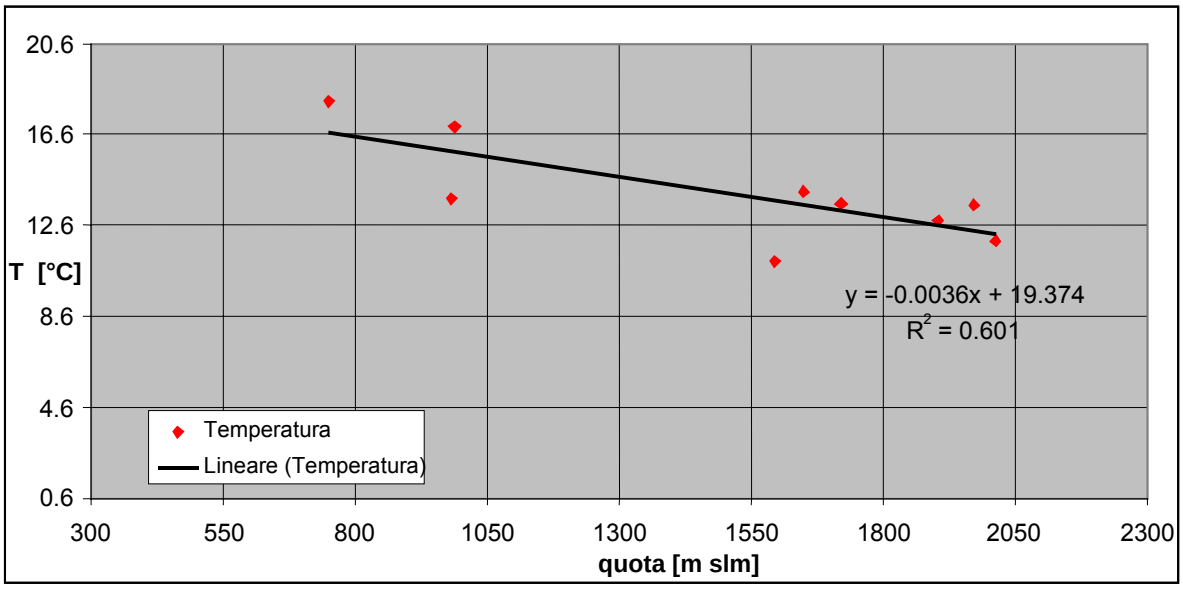


Fig. 13 – Dipendenza della temperatura media mensile dalla quota per il mese di Agosto

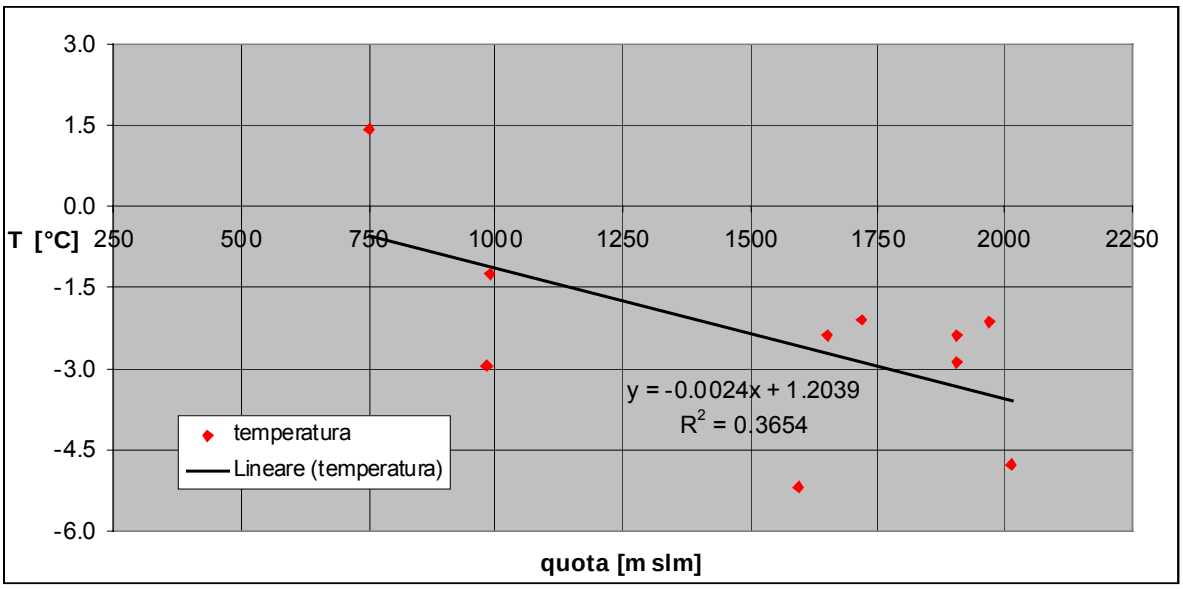


Fig. 14 – Dipendenza della temperatura media mensile dalla quota per il mese di Dicembre

4.3. La correlazione tra le stazioni di misura

E' stato successivamente effettuato uno studio per verificare l'esistenza e l'entità di correlazioni fra le grandezze idrologiche misurate in diverse stazioni della valle.

Lo scopo è quello di escludere l'utilizzo di misure poco significative e di consentire, quando possibile, di estendere brevi serie di misure, non sufficienti a coprire il periodo di indagine, utilizzando serie più lunghe.

Sono stati quindi determinati i coefficienti di correlazione tra tutte le stazioni per i dati pluviometrici e per le temperature.

L'analisi, per quanto riguarda i dati pluviometrici, è stata infatti condotta sia prima che dopo la ricostruzione dei dati mancanti.

Si riportano le tabelle con i coefficienti di correlazione per i dati di pioggia " ricostruiti" (Tabella 4) e per i dati di temperatura (Tabella 5).

I coefficienti di correlazione sono stati determinati solo per le stazioni per le quali le serie dei dati risultano contemporanee.

Serie dati non contemporanee

Matrice di correlazione (dati di pioggia mensili)

59	1.000																				
58	0.948	1.000																			
57	0.939	0.947	1.000																		
54	0.965	0.919	0.935	1.000																	
51	0.918	0.874	0.903	0.896	1.000																
49	0.961	0.824	0.824	0.832	0.850	1.000															
48	0.978	0.903	0.927	0.932	0.900	0.813	1.000														
47	0.818	0.866	0.876	0.880	0.927	0.920	0.864	1.000													
46	0.841	0.766	0.790	0.810	0.800	0.644	0.827	0.758	1.000												
45	0.872	0.863	0.902	0.892	0.892	0.794	0.866	0.877	0.810	1.000											
43	0.897	0.907	0.901	0.883	0.848	0.812	0.920	0.820	0.804	0.781	1.000										
42		0.942	0.947	0.928	0.893	0.799	0.912	0.883	0.789	0.858	0.911	1.000									
41	0.972	0.920	0.915	0.902	0.874	0.853	0.888	0.866	0.721	0.908	0.890	0.898	1.000								
40	0.943	0.915	0.909	0.908	0.934	0.900	0.894	0.958	0.775	0.909	0.850	0.893	0.895	1.000							
39		0.957	0.938	0.930	0.928	0.901	0.899	0.963	0.801	0.928	0.922	0.918	0.899	0.983	1.000						
35	0.947	0.875	0.911	0.964	0.918	0.848	0.920	0.918	0.823	0.885	0.848	0.907	0.887	0.942	0.904	1.000					
34	0.867	0.869	0.875	0.901	0.916	0.918	0.864	0.938	0.729	0.837	0.855	0.880	0.884	0.942	0.946	0.920	1.000				
33	0.733	0.689	0.722	0.744	0.815	0.689	0.700	0.782	0.703	0.686	0.706	0.777	0.706	0.773	0.780	0.790	0.792	1.000			
32	0.898	0.921	0.922	0.878	0.919	0.887	0.888	0.944	0.761	0.874	0.912	0.906	0.893	0.935	0.965	0.877	0.921	0.788	1.000		
8														0.808						1.000	
7	0.906	0.860	0.864	0.857	0.810	0.655	0.860	0.776	0.740	0.826	0.812	0.848	0.817	0.790	0.798	0.842	0.747	0.673	0.776	0.819	1.000
	59	58	57	54	51	49	48	47	46	45	43	42	41	40	39	35	34	33	32	8	7

Tab. 4 – Coefficiente di correlazione relativo ai dati di pioggia (valori medi mensili)

			Matrice di correlazione (temperature medie mensili)										
59	1.000												
58	0.994	1.000											
51	0.989	0.983	1.000										
49	0.985	0.962	0.959	1.000									
48	0.991	0.994	0.995	0.972	1.000								
47	0.992	0.988	0.995	0.967	0.987	1.000							
42		0.995	0.987	0.963	0.995	0.990	1.000						
40	0.982	0.959	0.963	0.918	0.958	0.972	0.960	1.000					
39		0.988	0.994	0.955	0.987	0.995	0.991	0.972	1.000				
35	0.989	0.984	0.997	0.961	0.982	0.997	0.988	0.973	0.996	1.000			
33	0.994	0.975	0.997	0.953	0.833	0.775	0.981	0.966	0.989	0.997	1.000		
32	0.261	0.686	0.711	0.640	0.709	0.713	0.994	0.695	0.997	0.711	0.674	1.000	
7	0.995	0.963	0.968	0.928	0.968	0.976	0.968	0.983	0.973	0.975	0.967	0.697	1.000
	59	58	51	49	48	47	42	40	39	35	33	32	7

Serie dati non contemporanee

Tab. 5 – Coefficiente di correlazione relativo ai dati temperatura (valori medi mensili)

4.4. La F.F.T. di serie temporali

E' stato poi realizzato un programma in linguaggio Fortran per eseguire la F.F.T. (Fast Fourier Transform) di serie temporali, con questo programma sono stati analizzati i dati di temperatura media mensile e di pioggia media mensile (osservazioni dal 1990 al 1998) per tutte le stazioni di misura.

L'analisi è stata fatta escludendo le seguenti componenti: componenti sub-annuale (periodo compreso tra 0 e 12 mesi), annuale (periodo di 12 mesi), pluri-annuale (periodo maggiore di 12 mesi).

La componente sub-annuale rappresenta la componente casuale (*random*) che costituisce il segnale temporale analizzato.

La componente annuale è legata alla periodicità che caratterizza gli eventi climatici (altezza di precipitazione e temperatura) nel periodo preso in esame.

Le armoniche che costituiscono la componente pluriannuale del segnale caratterizzano invece l'ubicazione delle stazioni all'interno della valle, l'andamento temporale di questa componente è quindi legato agli eventi climatici registrati all'interno del bacino.

Per ogni stazione si sono confrontati i segnali e gli spettri di ampiezza normalizzati ottenuti dall'analisi.

Sono stati quindi confrontati i coefficienti di correlazione calcolati precedentemente con quelli ottenuti dopo aver eseguito l'analisi di Fourier, sia per le componenti eliminate dal segnale originario che per quelle filtrate.

Si riportano come esempio i risultati ottenuti dall'analisi di Fourier eseguita sui dati di pioggia e di temperatura per la stazione di Lanzada (Fig. 16,17,18).

In figura 15 è riportato lo spettro delle ampiezze del segnale temporale riferito alle altezze mensili di pioggia (periodo 1990-1998), ottenuto per la stazione di Lanzada.

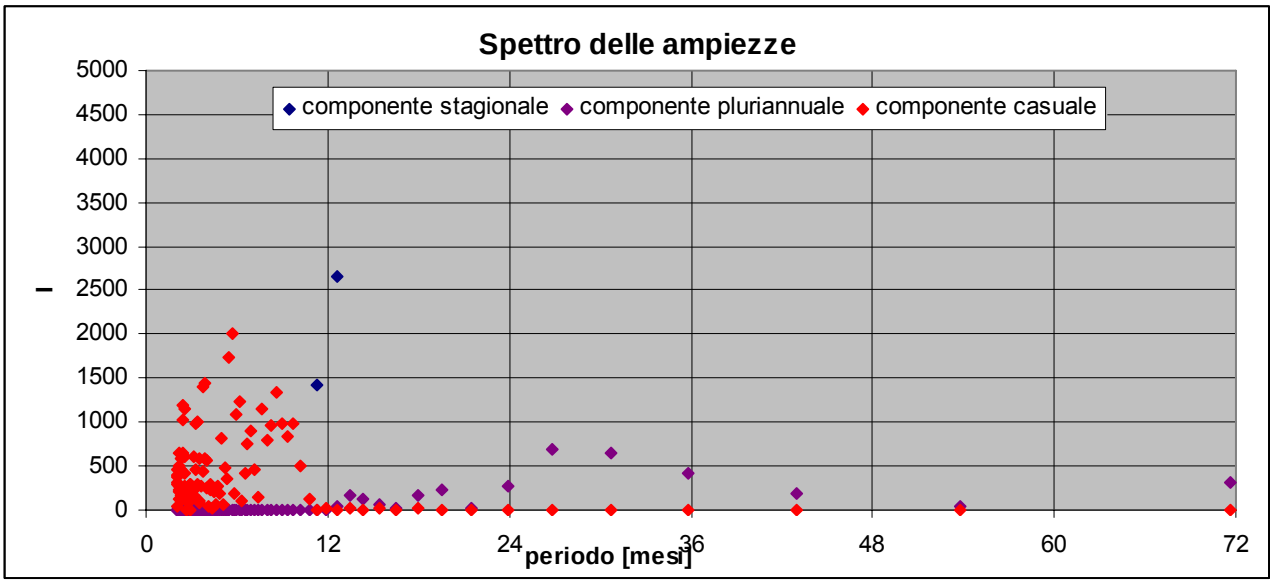


Fig. 15 – Spettro delle ampiezze (Lanzada 1990-1998)

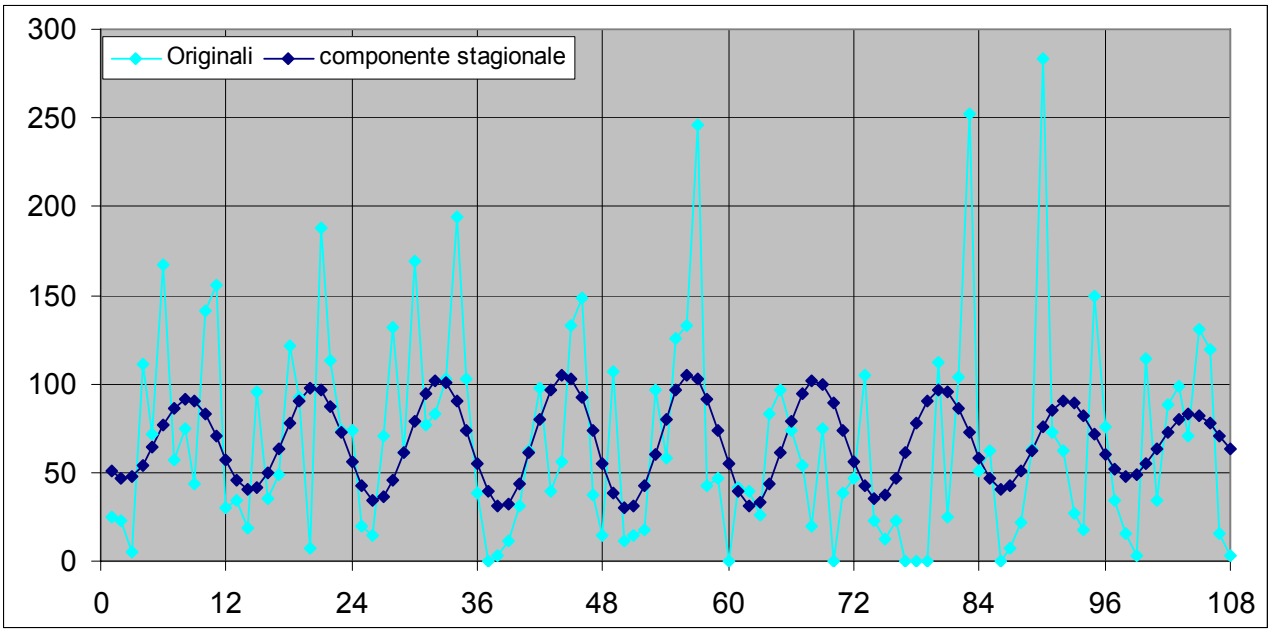


Fig. 16 – Stazione di Lanzada, dati originali, Componente stagionale

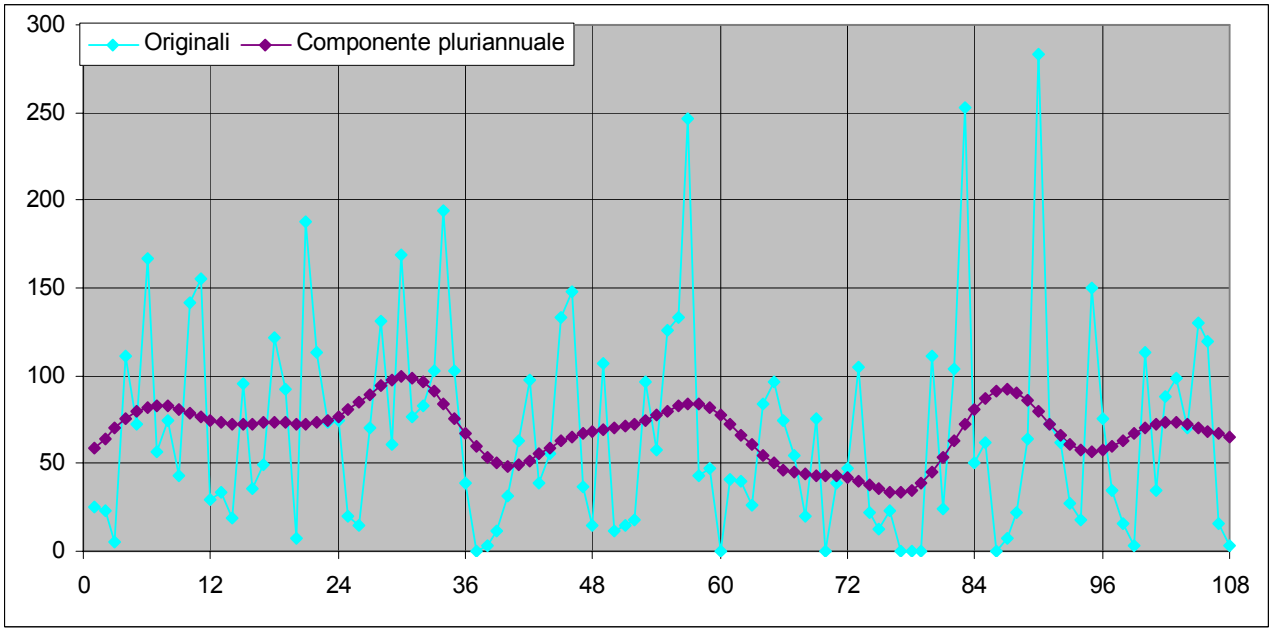


Fig. 17– Stazione di Lanzada, dati originali, Componente pluriannuale

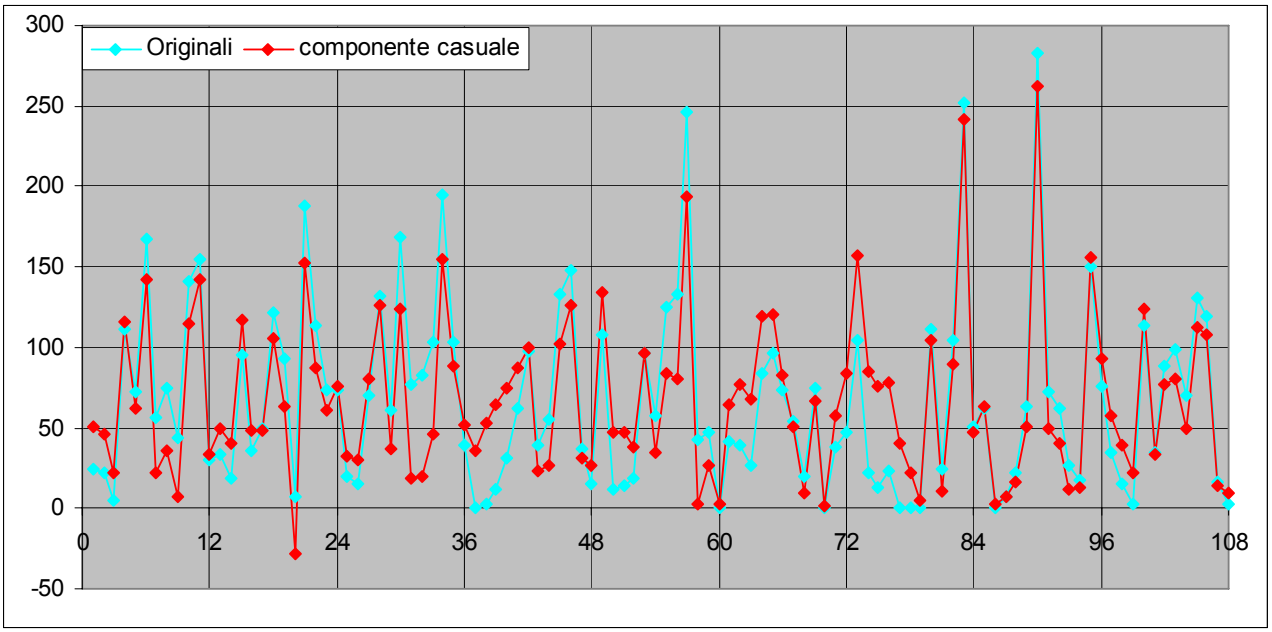


Fig. 18 – Stazione di Lanzada, Dati originali Componente casuale

In modo analogo a quanto fatto per i dati mensili di precipitazione, si è condotta l'analisi temporale sui dati medi mensili di temperatura.

La serie di osservazioni considerata è sempre quella compresa tra il 1990 ed il 1998, si riportano, i risultati ottenuti per la stazione di Lanzada.

Di seguito è riportato lo spettro delle ampiezze del segnale (Fig. 19) e le tre componenti in cui è stato filtrato il segnale di origine (Fig. 20,21,22).

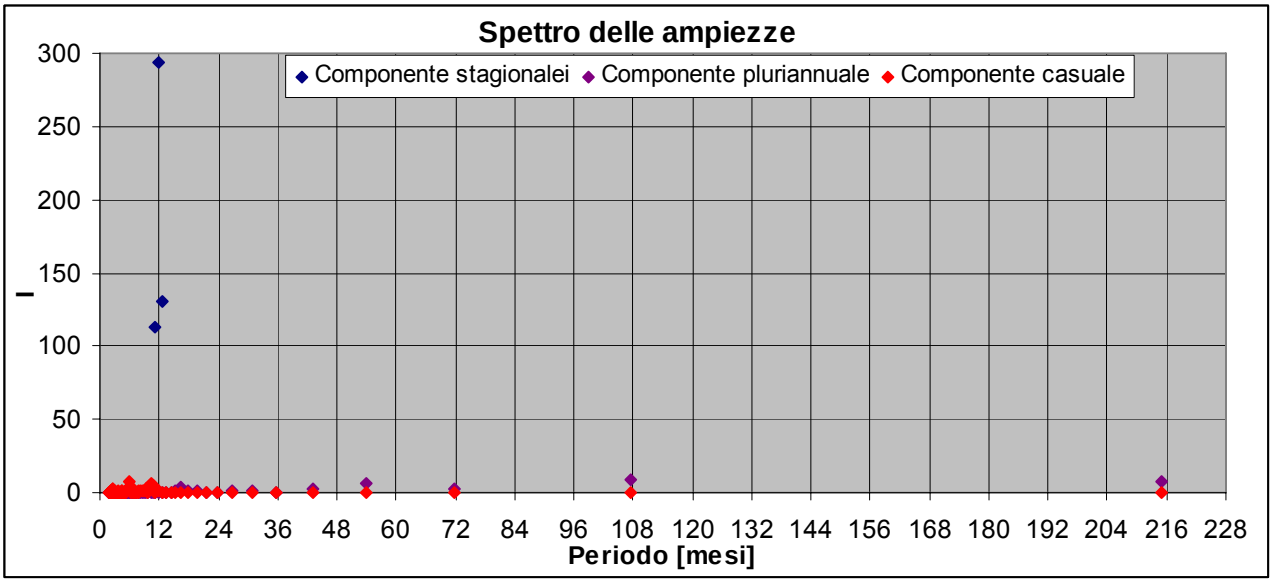


Fig. 19– Lanzada spettro delle ampiezze (temperature medie mensili)

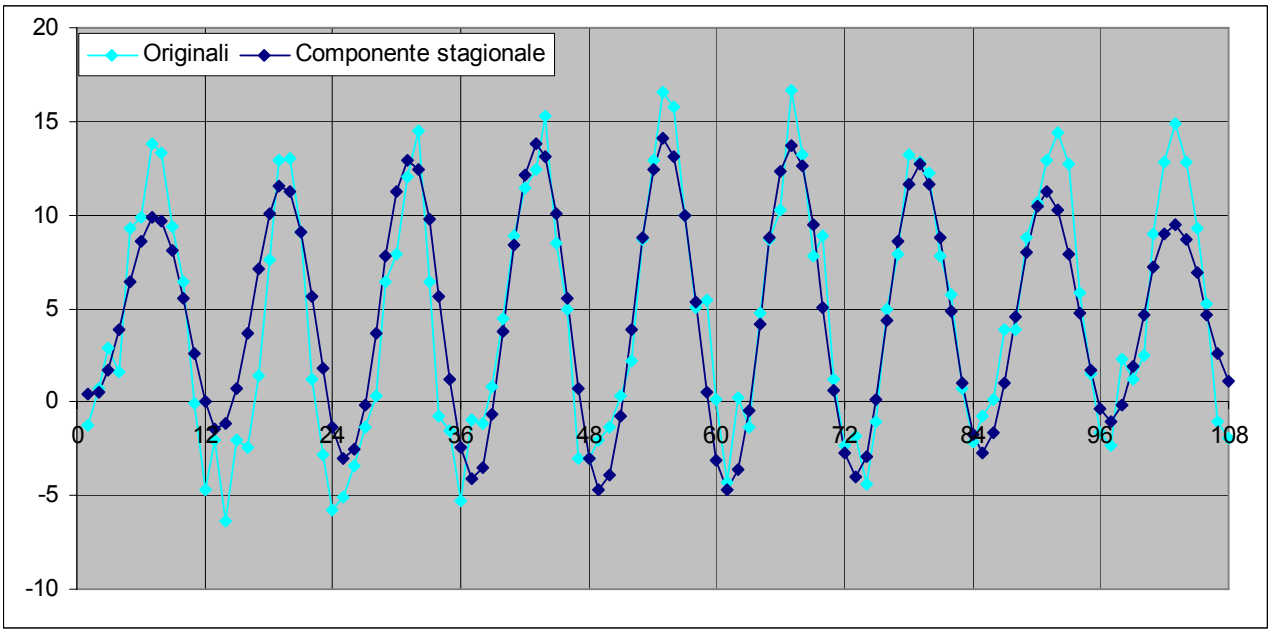


Fig. 20 – Lanzada, Dati originali, Componente stagionale

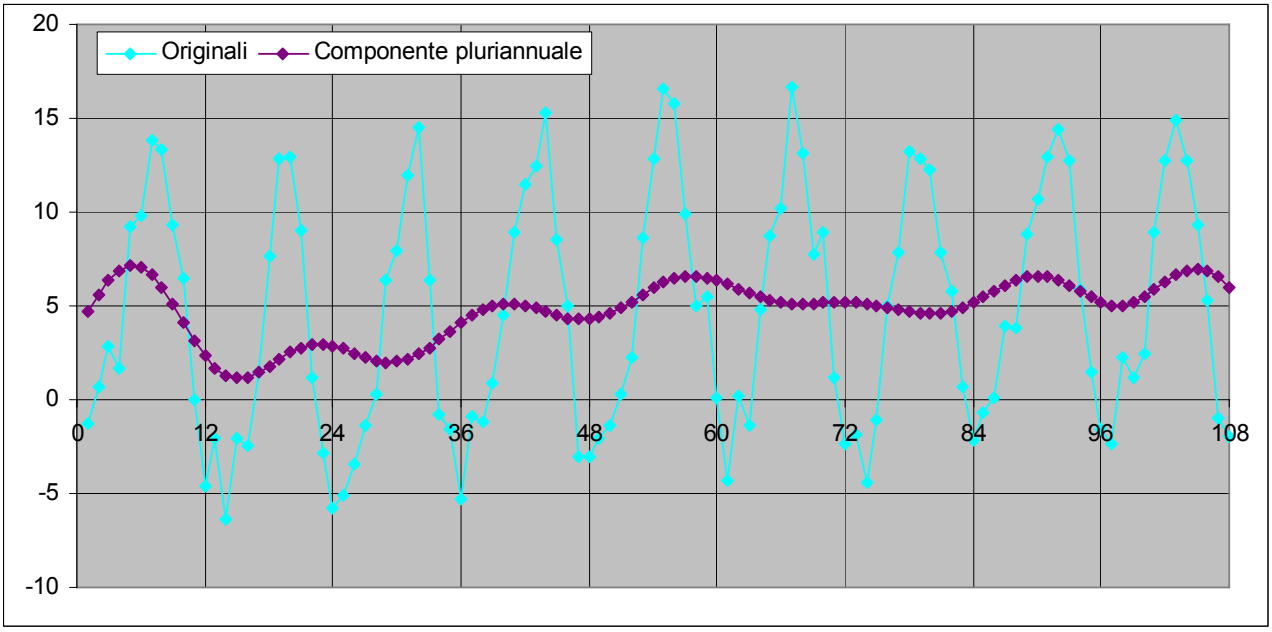


Fig. 21– Lanzada, Dati Originali, Componente pluriannuale

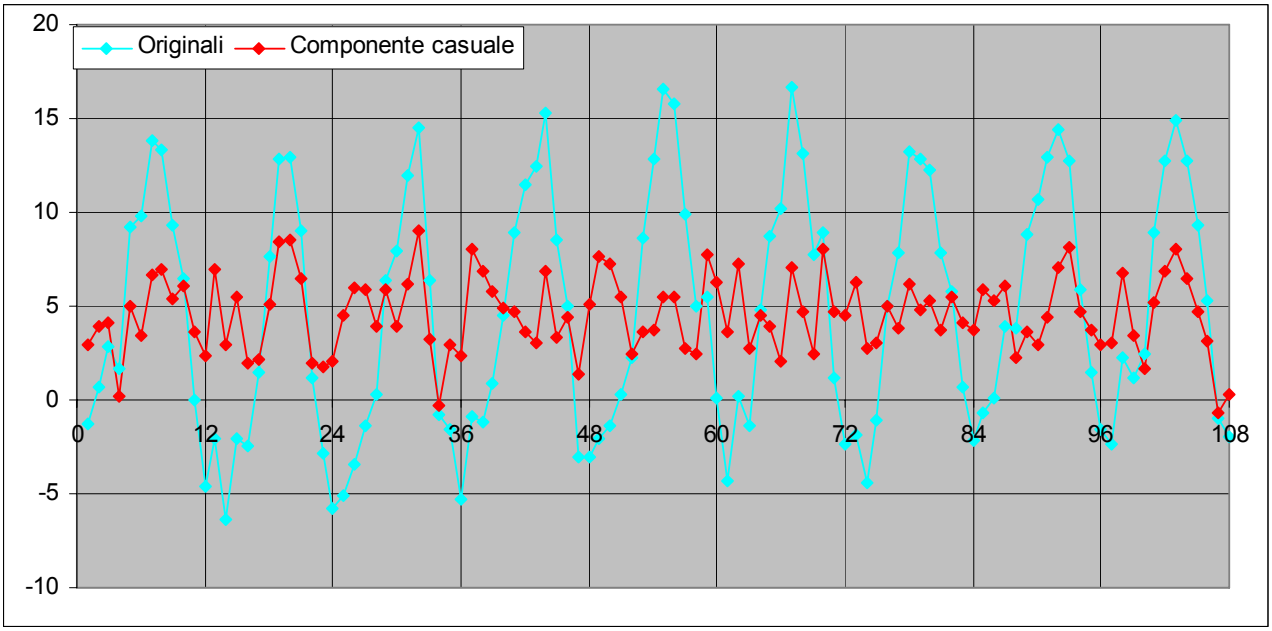


Fig. 22 – Lanzada, Dati Originali, Componente casuale

e analisi delle serie temporali eseguite con la F.F.T. sono state condotte per tutte le stazioni in cui risultavano disponibili le osservazioni nel periodo considerato.
In particolare (Tabella 2) l'analisi dei segnali temporali è stata condotta sui dati rispettivamente di 19 stazioni di misura differenti, per quanto riguarda l'altezza di pioggia mensile e di 11 stazioni per quanto riguarda i dati di temperatura media mensile.

Per tutte le stazioni si sono normalizzati i segnali ottenuti dall'analisi (componente stagionale, componente pluriannuale), in funzione del valore massimo.

Si è ottenuto quindi un valore medio, per entrambe le componenti, rappresentativo per tutto il bacino e quindi un "possibile andamento" delle due componenti considerando lo scarto quadratico del segnale.

Questa operazione è stata fatta per avere la possibilità di generare serie di osservazioni "lunghe" a partire da serie più brevi, quali sono quelle attualmente disponibili.
Si possono infatti generare serie di osservazioni lunghe mantenendo un segnale di base (componente stagionale) di una serie storica disponibile, ad esempio la serie storica di Lanzada, ed andando opportunamente a sovrapporre le altre due componenti (pluriannuale e casuale).

Per quanto riguarda invece la componente casuale delle serie temporali si sono nuovamente calcolati i coefficienti di correlazione tra tutte le stazioni.
Si riportano l'andamento medio, rappresentativo per tutta la valle, delle due componenti, sia per i dati di pioggia (Fig. 23,24) che per i dati di temperatura (Fig. 25,26).

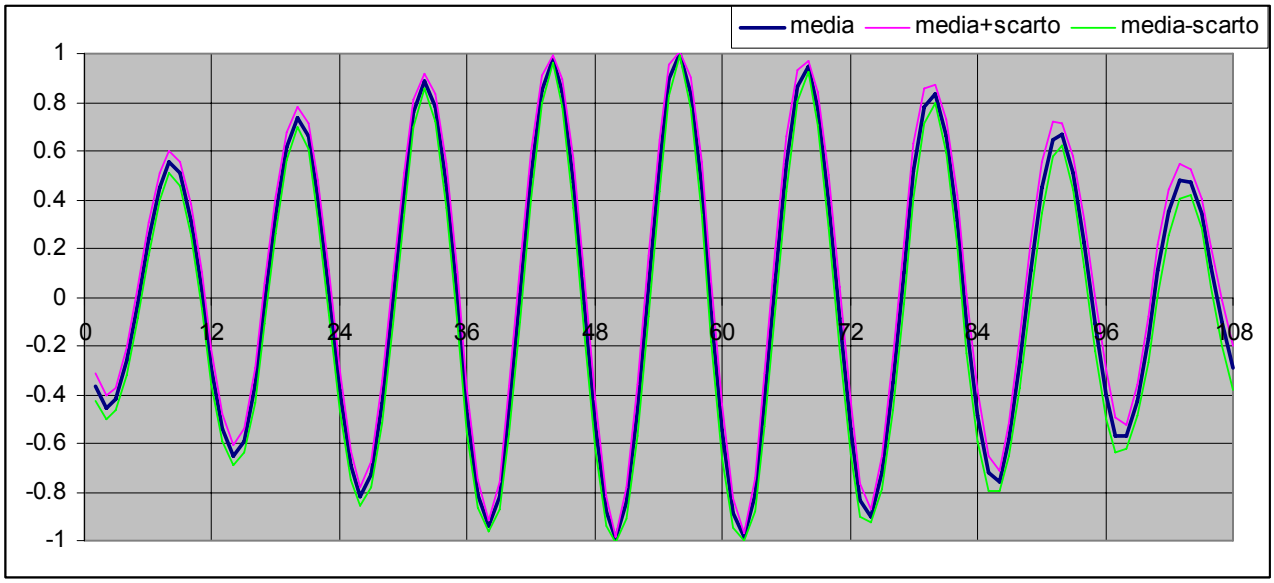


Fig. 23 – Andamento medio Componente stagionale, altezze mensili di precipitazione (segnale depurato dalla media)

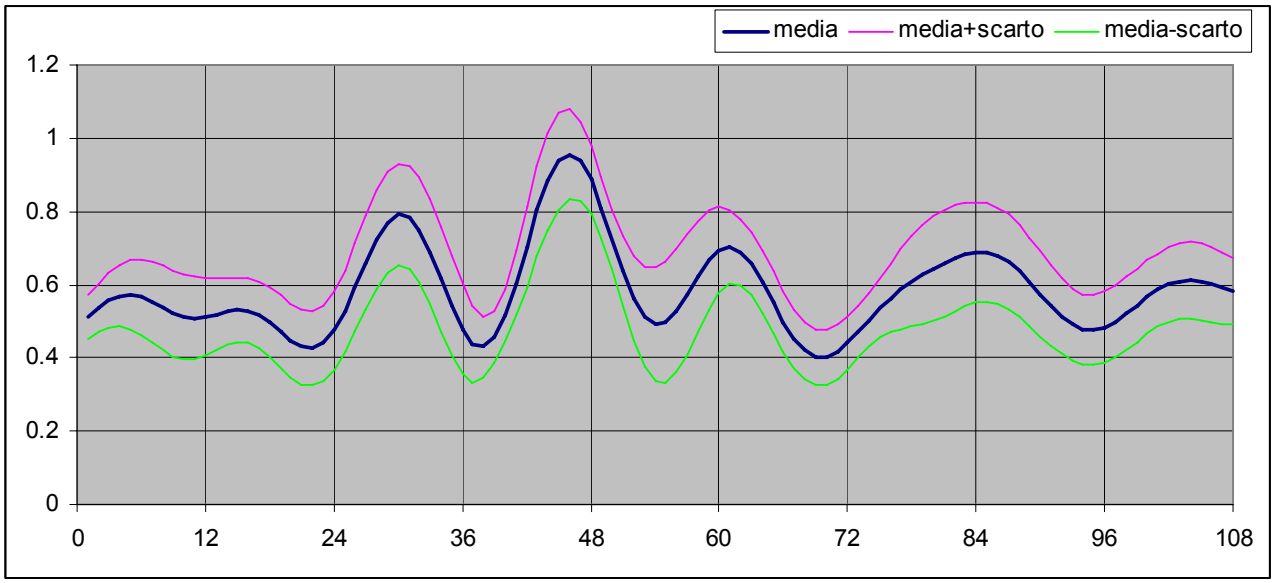


Fig. 24 – Andamento medio componente pluriannuale, altezze mensili di precipitazione

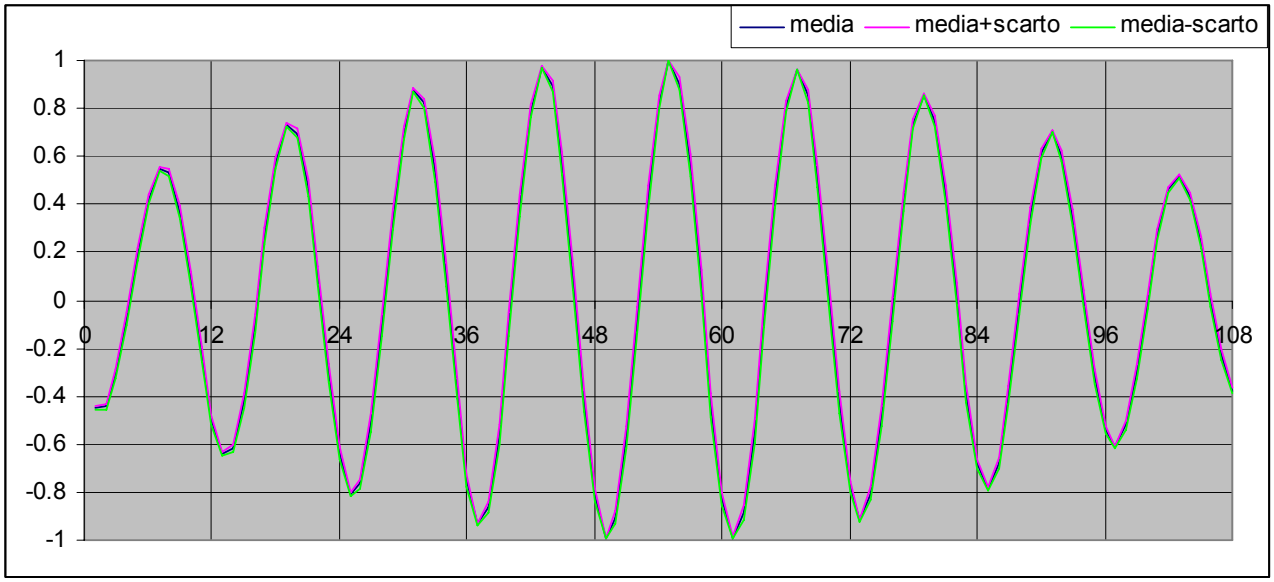


Fig 25– Andamento medio Componente stagionale, temperature medie mensili (segnale depurato dalla media)

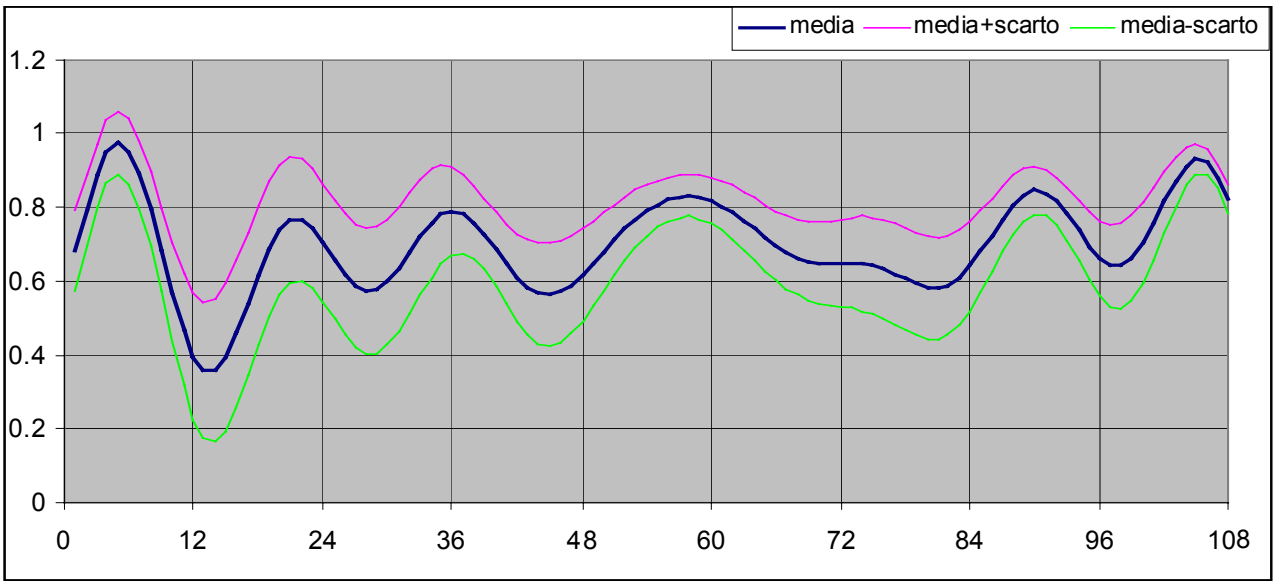


Fig. 26 - Andamento medio componente pluriannuale, temperature medie mensili

Come è ragionevole pensare il segnale della componente pluriannuale presenta, rispetto quello relativo alla componente stagionale, una maggiore dispersione, sia per quanto riguarda l'altezza di precipitazione che per le analisi condotte mediante le osservazioni di temperatura.

La componente stagionale riferita ai dati di temperatura presenta uno scarto inferiore rispetto alla componente media riferita ai dati di precipitazione, questo nasce dal fatto che in generale la temperatura, rispetto alle precipitazioni, risulta essere distribuita in modo più uniforme nello spazio.

In tabella 6 è riportato il coefficiente di correlazione calcolato tra tutte le stazioni facendo riferimento alla sola componente casuale che costituisce il segnale temporale originario.

Il coefficiente di correlazione è stato calcolato rispettivamente: per i dati di pioggia mensile, per i dati di temperatura media mensile ed inoltre, sempre con riferimento alla

sola componente casuale, si è calcolato il coefficiente di correlazione tra i dati relativi alle altezze di pioggia e alle temperature medie mensili tra tutte le stazioni. In questo caso i coefficienti di correlazione risultano essere negativi quindi quando l'altezza mensile di precipitazione aumenta la temperatura tende a diminuire e viceversa.

Se si confrontano invece, i coefficienti di correlazione riportati in tabella 6 con quelli calcolati senza eseguire l'analisi di Fourier delle serie temporali (Tabella 4) si nota che le stazioni risultano essere meno correlate tra di loro anche se il valore del coefficiente di correlazione risulta essere comunque elevato questo perché l'area complessiva del bacino è piuttosto ridotta.

		Dati di PIOGGIA																		
		58	57	54	51	49	48	47	46	45	43	42	41	40	39	35	34	33	32	7
Dati di PIOGGIA	58	1.00																		
	57	0.83	1.00																	
	54	0.80	0.95	1.00																
	51	0.78	0.88	0.87	1.00															
	49	0.71	0.74	0.76	0.75	1.00														
	48	0.79	0.93	0.93	0.87	0.75	1.00													
	47	0.81	0.88	0.88	0.89	0.87	0.85	1.00												
	46	0.62	0.78	0.80	0.79	0.58	0.80	0.71	1.00											
	45	0.76	0.89	0.89	0.84	0.69	0.85	0.85	0.78	1.00										
	43	0.82	0.86	0.87	0.84	0.77	0.91	0.84	0.74	0.76	1.00									
	42	0.85	0.94	0.92	0.88	0.78	0.92	0.89	0.76	0.84	0.90	1.00								
	41	0.76	0.87	0.88	0.81	0.77	0.87	0.84	0.68	0.87	0.84	0.87	1.00							
	40	0.86	0.90	0.90	0.88	0.84	0.87	0.97	0.73	0.87	0.85	0.90	0.85	1.00						
	39	0.88	0.89	0.88	0.87	0.80	0.86	0.93	0.72	0.87	0.84	0.89	0.84	0.97	1.00					
	35	0.72	0.91	0.96	0.87	0.78	0.90	0.90	0.79	0.85	0.82	0.89	0.82	0.90	0.86	1.00				
	34	0.78	0.84	0.86	0.86	0.87	0.82	0.94	0.66	0.79	0.83	0.86	0.81	0.92	0.87	0.88	1.00			
	33	0.56	0.70	0.73	0.74	0.61	0.64	0.72	0.64	0.64	0.66	0.72	0.62	0.70	0.60	0.76	0.73	1.00		
	32	0.87	0.89	0.85	0.88	0.85	0.84	0.93	0.69	0.83	0.84	0.90	0.82	0.94	0.93	0.83	0.90	0.67	1.00	
	7	0.81	0.84	0.88	0.78	0.64	0.84	0.80	0.68	0.79	0.79	0.85	0.80	0.81	0.78	0.84	0.74	0.66	0.75	1.00
Dati di TEMPERATURA	58	-0.19			-0.26		-0.19	-0.22				-0.27		-0.27	-0.26	-0.23		-0.19	-0.23	-0.26
	51	-0.31			-0.17		-0.23	-0.22				-0.27		-0.27	-0.27	-0.21		-0.20	-0.27	-0.22
	48	-0.22			-0.14		-0.11	-0.13				-0.17		-0.18	-0.20	-0.13		-0.08	-0.18	-0.12
	47	-0.27			-0.18		-0.14	-0.16				-0.22		-0.22	-0.24	-0.16		-0.13	-0.23	-0.17
	42	-0.31			-0.24		-0.21	-0.23				-0.28		-0.29	-0.30	-0.22		-0.19	-0.27	-0.23
	40	-0.28			-0.22		-0.17	-0.22				-0.26		-0.26	-0.27	-0.21		-0.19	-0.26	-0.21
	39	-0.26			-0.19		-0.13	-0.17				-0.21		-0.23	-0.25	-0.17		-0.12	-0.23	-0.17
	35	-0.30			-0.21		-0.16	-0.20				-0.25		-0.26	-0.27	-0.20		-0.17	-0.26	-0.21
	33	-0.31			-0.23		-0.16	-0.23				-0.27		-0.28	-0.29	-0.21		-0.21	-0.31	-0.23
	32	-0.30			-0.22		-0.17	-0.21				-0.26		-0.26	-0.27	-0.21		-0.18	-0.26	-0.22
	7	-0.26			-0.18		-0.13	-0.18				-0.22		-0.23	-0.22	-0.19		-0.20	-0.24	-0.20
		58	57	54	51	49	48	47	46	45	43	42	41	40	39	35	34	33	32	7
		Dati di PIOGGIA																		

1.00											
0.86	1.00										
0.91	0.91	1.00									
0.90	0.98	0.96	1.00								
0.91	0.95	0.96	0.97	1.00							
0.87	0.98	0.93	0.98	0.95	1.00						
0.86	0.98	0.93	0.98	0.95	0.97	1.00					
0.87	1.00	0.92	0.99	0.96	0.98	0.99	1.00				
0.83	0.96	0.87	0.94	0.90	0.94	0.94	0.96	1.00			
0.89	0.99	0.94	0.99	0.97	0.98	0.98	1.00	0.95	1.00		
0.80	0.91	0.86	0.91	0.89	0.92	0.89	0.91	0.88	0.91		
58	51	48	47	42	40	39	35	33	32		
Dati di TEMPERATURA											

Mancano i dati di TEMPERATURA

Tab. 6– Matrice di correlazione, componente casuale, serie di osservazioni 1990-1998

L’analisi di Fourier è stata inoltre eseguita sui dati di pioggia mensile relativi a tre stazioni di misura ubicate in Svizzera (Fig. 27) precisamente nel Canton Ticino, il cantone più meridionale della Svizzera, sul versante Sud delle Alpi.
Per queste stazioni sono disponibili solo i dati di pioggia mensili.

L’analisi di Fourier è stata condotta anche sui dati relativi a queste stazioni che non appartengono al bacino della Valmalenco, sia per confrontare i risultati ottenuti dalle analisi sia, eventualmente, per poter utilizzare le serie di osservazioni di queste stazioni di misura per elaborare un modello di generazione degli afflussi meteorici da utilizzare nel modello di calcolo.

Le stazioni e le relative serie storiche di osservazioni adottate per eseguire la F.F.T. sono state rispettivamente:

- Stazione di Airolo, serie di osservazione: 1901-2005
- Stazione di Faido, serie di osservazione: 1900-1934, 1958-2005
- Stazione di Biasca, serie di osservazione 1961-2005

Fig. 27 – Canton Ticino e relative stazioni di misura

Eseguite le analisi mediante la trasformata rapida di Fourier (componente pluriannuale, stagionale e casuale), si è confrontato l'andamento temporale dei segnali ottenuti, (componente pluriannule, componente stagionale), tra le serie di osservazioni delle stazioni ubicate in Valmalenco e quelle disponibili per le stazioni di misura Svizzere.
Anche in questo caso, il periodo considerato per il confronto è stato quello compreso tra il 1990 ed il 1998.

I segnali ottenuti dalle analisi sono stati quindi normalizzati rispetto al valore massimo ed inseguito si è considerato un valore medio per entrambe le componenti, uno caratterizzante la Valmalenco, uno caratterizzante il Canton Ticino.
Le figure seguenti mostrano il confronto rispettivamente della componente stagionale del segnale e della componente pluriannuale.

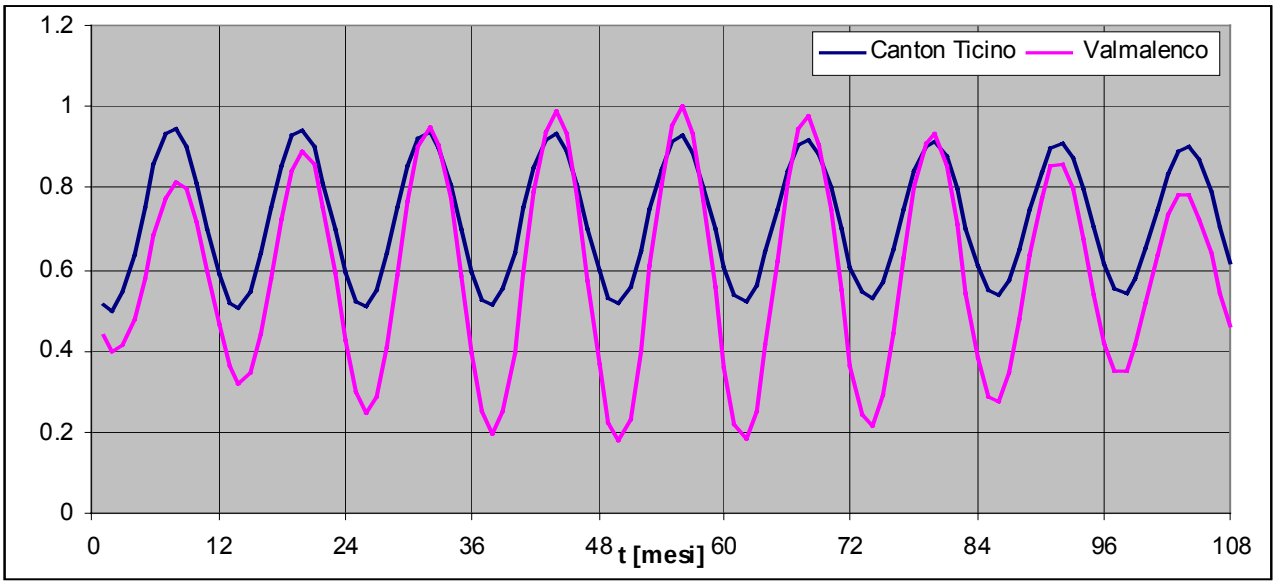


Fig. 28 – Confronto tra i segnali medi normalizzati (Valmalenco, Canton Ticino), Componente stagionale

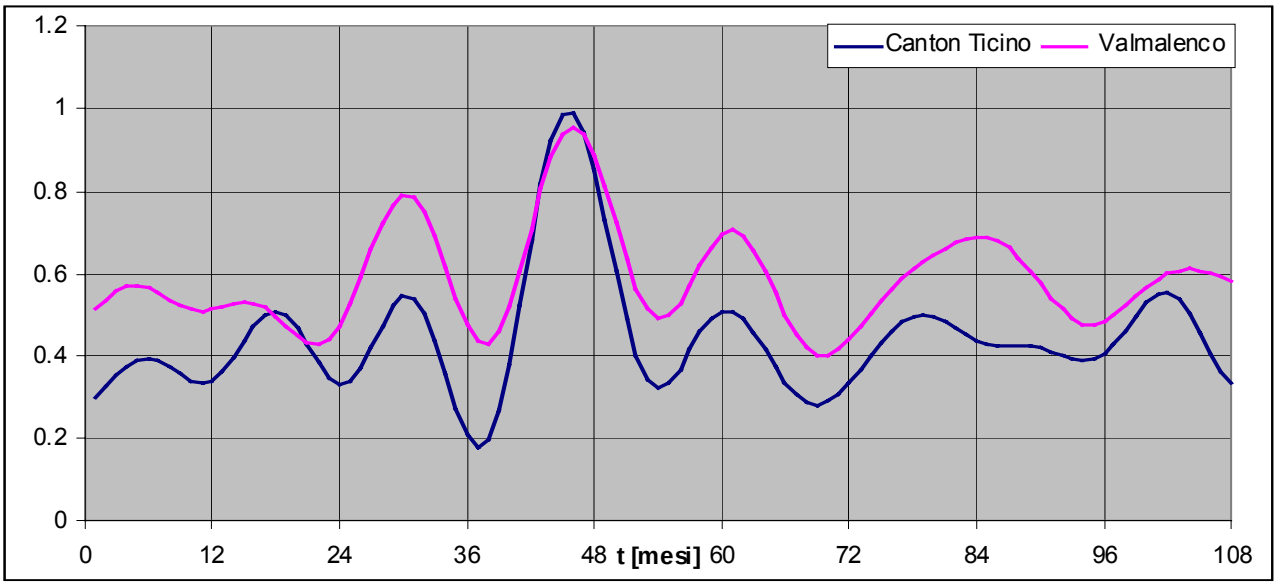


Fig. 29 - Confronto tra i segnali medi normalizzati (Valmalenco, Canton Ticino), Componente Pluriannuale

Dal confronto effettuato emerge che; per quanto riguarda la componente stagionale, le precipitazioni in Valmalenco danno origine ad un segnale che risulta caratterizzato da ampiezze maggiori rispetto a quello ottenuto dai dati relativi alle stazioni di misura Svizzere.

Per quanto riguarda la componente pluriannuale, invece, le altezze di precipitazione in Valmalenco risultano, nel periodo considerato, mediamente maggiori, ma l'andamento temporale risulta comunque simile a quello ottenuto dall'analisi effettuata sui dati relativi al Canton Ticino.

Il filtraggio dei segnali temporali è stato inoltre effettuato mediante il programma GIBBS, programma realizzato in linguaggio Matlab che applica alle lunghe serie temporali la procedura di campionamento di Gibbs, come accennato al punto 1.

Il programma è stato utilizzato per eliminare dai segnali ottenuti dalle analisi precedenti i "battimenti"osservati quando si filtrano serie di osservazioni piuttosto lunghe.

I "battimenti", sono generati dal fatto che le armoniche in cui è scomposto il segnale temporale originario presentano un periodo, per quanto riguarda la componente stagionale, che non è esattamente di 12 mesi, ma sono tre le armoniche che costituiscono la componente (le armoniche hanno rispettivamente periodo di 11.31,11.94 e 12.65 mesi, es Fig. 12).

Sono stati confrontati i risultati ottenuti utilizzando i due differenti programmi per tutte le stazioni di misura (serie di osservazioni 1990-1998) sia per i dati di pioggia mensili che per i dati relativi alle temperature medie mensili.

Si riporta a come esempio il confronto relativo alla stazione di Lanzada per le sole altezze mensili di precipitazione.

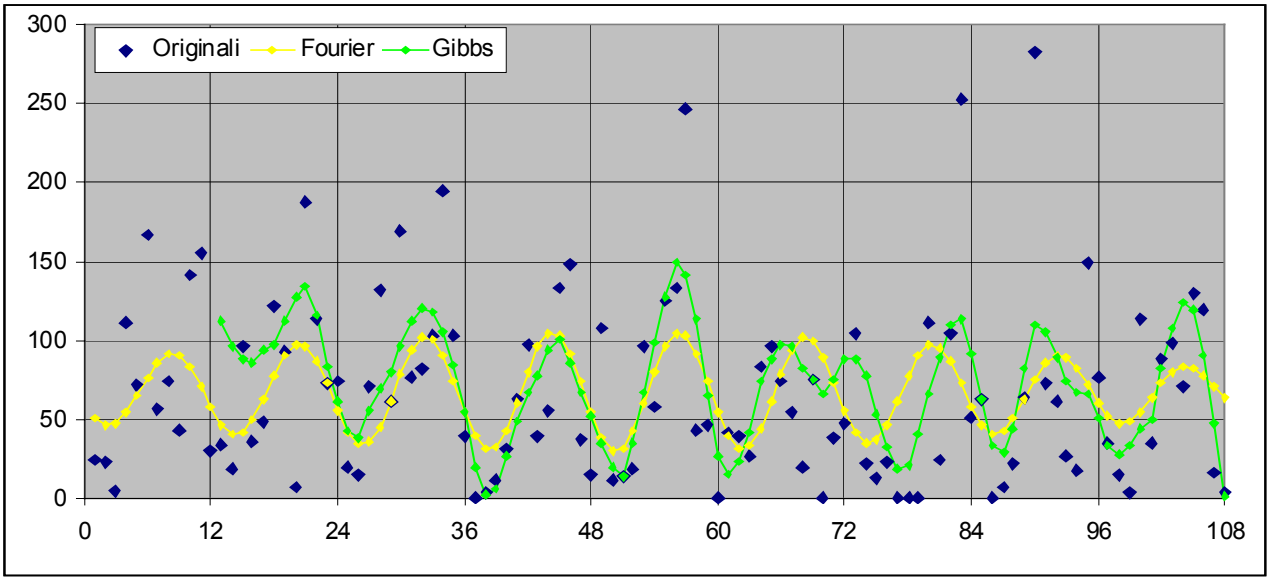


Fig. 30 – Lanzada, Confronto Gibbs e Fourier, Dati riginali (Componente stagionale)

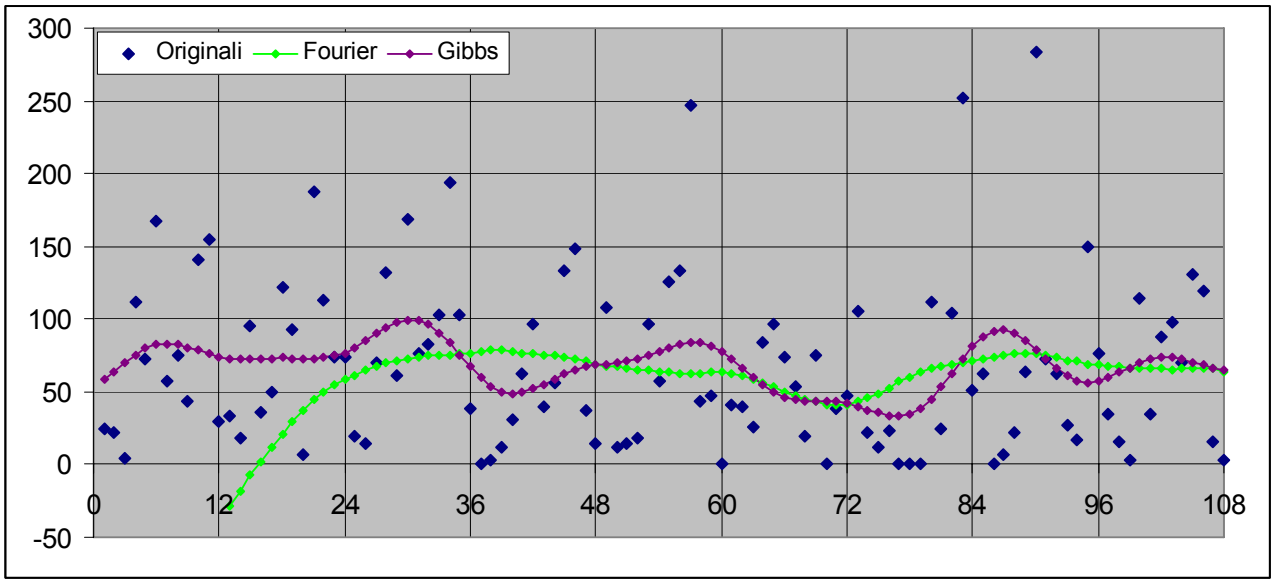


Fig. 31 – Lanzada, Confronto Gibbs e Fourier, Dati riginali (Componente pluriannuale)

Come si nota dalle Figure 30 e 31, non è stato riportato l'andamento dei segnali ottenuti dalle simulazioni effettuate con il filtro di Gibbs nel periodo relativo ai primi 12 mesi di osservazioni (1990-1991).
Questo è dovuto al fatto che il programma utilizza i primi dati della serie di osservazione per tarare i parametri che permettono di filtrare il segnale temporale di origine.

4.5. Caratteristiche morfometriche del bacino

Sono state inoltre determinate, con l'utilizzo del programma Arcview 3.2, le caratteristiche morfometriche del bacino di maggior interesse per l'utilizzo del modello di calcolo.
Di seguito è riportata (Fig.32) la curva ipsografica del bacino.

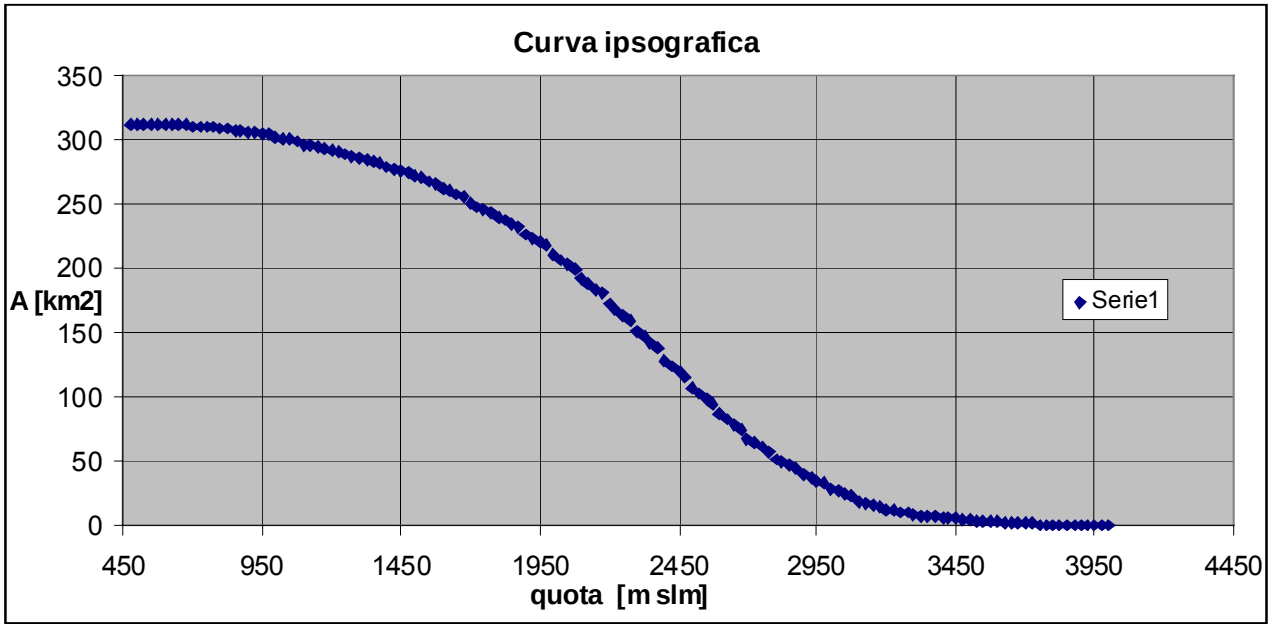


Fig. 32 – Curva ipsografica del bacino della Valmalenco

E' stato quindi calcolato il tempo di corrivazione **tc** del bacino utilizzando la relazione proposta da Giandotti:

$$tc=(4*\sqrt{A}+1,5*L)/(0,8*\sqrt{Zm}) \quad (1)$$

Dove:

- **tc** tempo di corrivazione [ore]
- **A** area complessiva del bacino [km²]
- **L** Lunghezza asta principale [km]
- **Zm** Altezza media del bacino rispetto riferita alla sezione di chiusura [m]

Il tempo di corrivazione del bacino risulta pari a 3.43 ore, essendo l'area complessiva pari a circa 313 km², la lunghezza dell'asta principale di 29 km (Torrente Mallero), e l'altezza media del bacino sulla sezione di chiusura pari a 1725 m posta 470 m s.l.m, cioè a 2195 m slm.

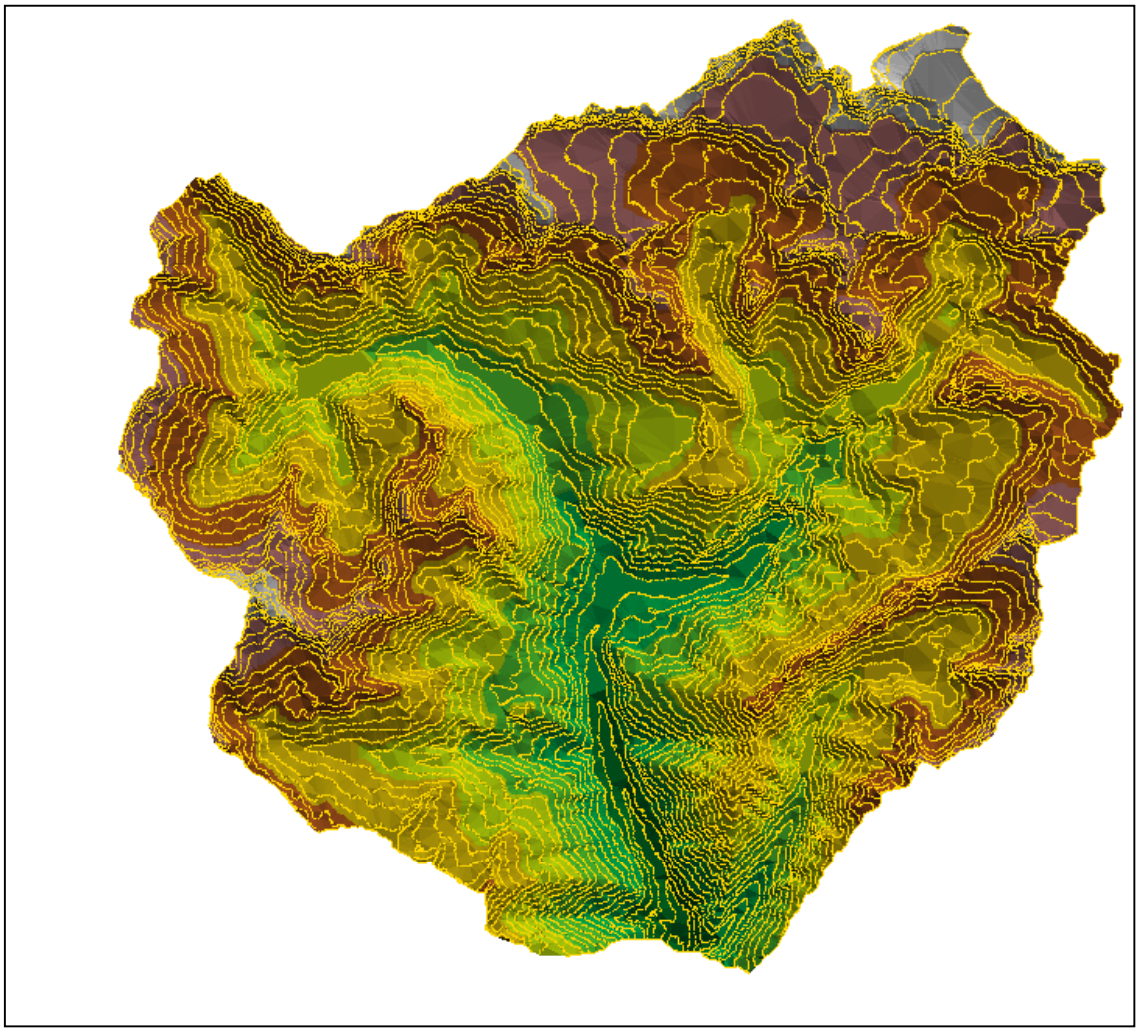


Fig. 33 - Bacino della Valmalenco (immagine Arcview)

Determinata quindi la curva ipsografica, noto il tempo di corrivazione è stato possibile determinare la curva aree-tempi del bacino (Fig. 34), assumendo che il tempo di corrivazione **tc** sia proporzionale alla distanza L dalla sezione di chiusura e che la distanza sia proporzionale alla quota.
Si è inoltre determinata la curva di concentrazione del bacino (fig. 35).

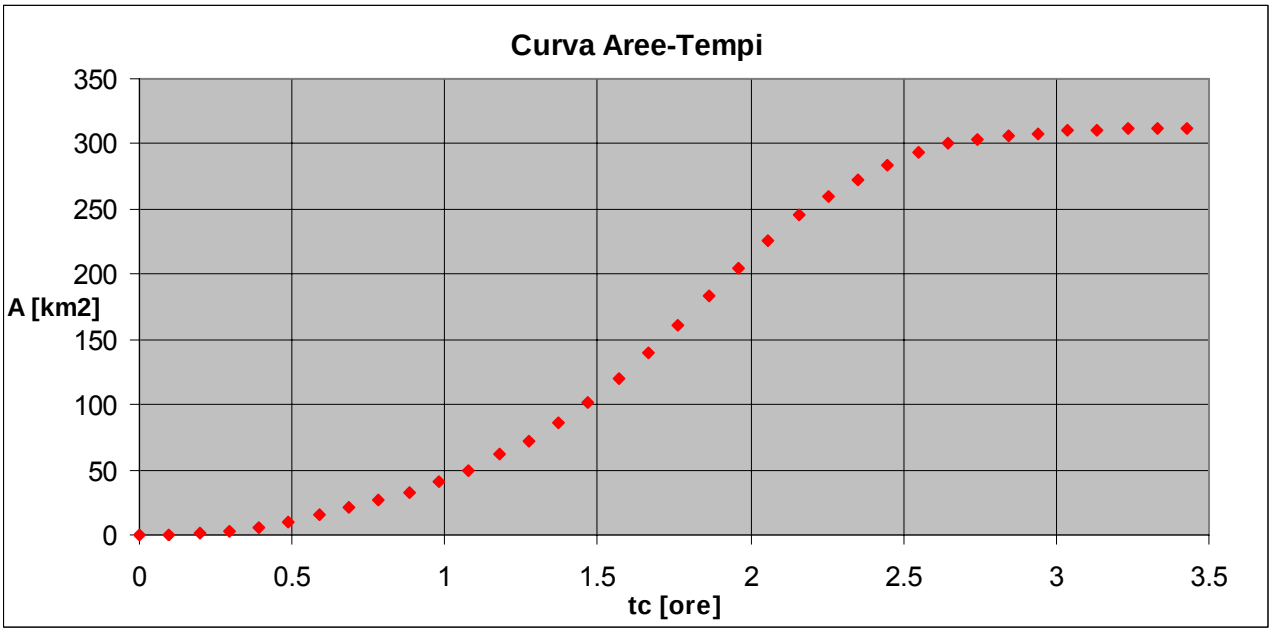


Fig. 34 –Curva aree-tempi del bacino della Valmalenco

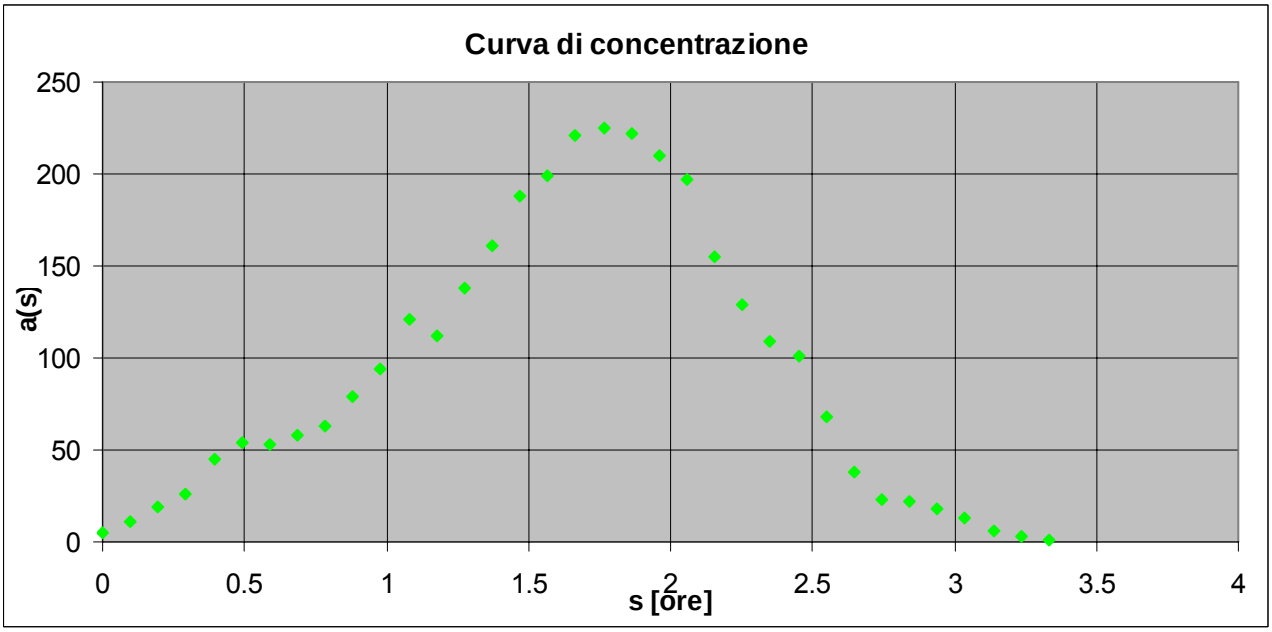


Fig. 35 –Curva di concentrazione del bacino della Valmalenco

4.6. Afflussi meteorici al bacino

Il bacino della Valmalenco è stato suddiviso in tre sottobacini allo scopo di determinare una serie di osservazioni di pioggia per ogni sottobacino in modo quindi da determinare l'afflusso meteorico (ovvero l'input) da utilizzare nel modello.

Gli spartiacque dei tre sottobacini sono stati determinati con l'utilizzo del programma Gis Grass.

I sottobacini sono stati determinati facendo riferimento ai corsi d'acqua principali presenti nella valle:

- Sottobacino **B1**: bacino del Mallero Alto
- Sottobacino **B2** : bacino del Torrente Lanterna
- Sottobacino **B3** : bacino del Mallero Basso

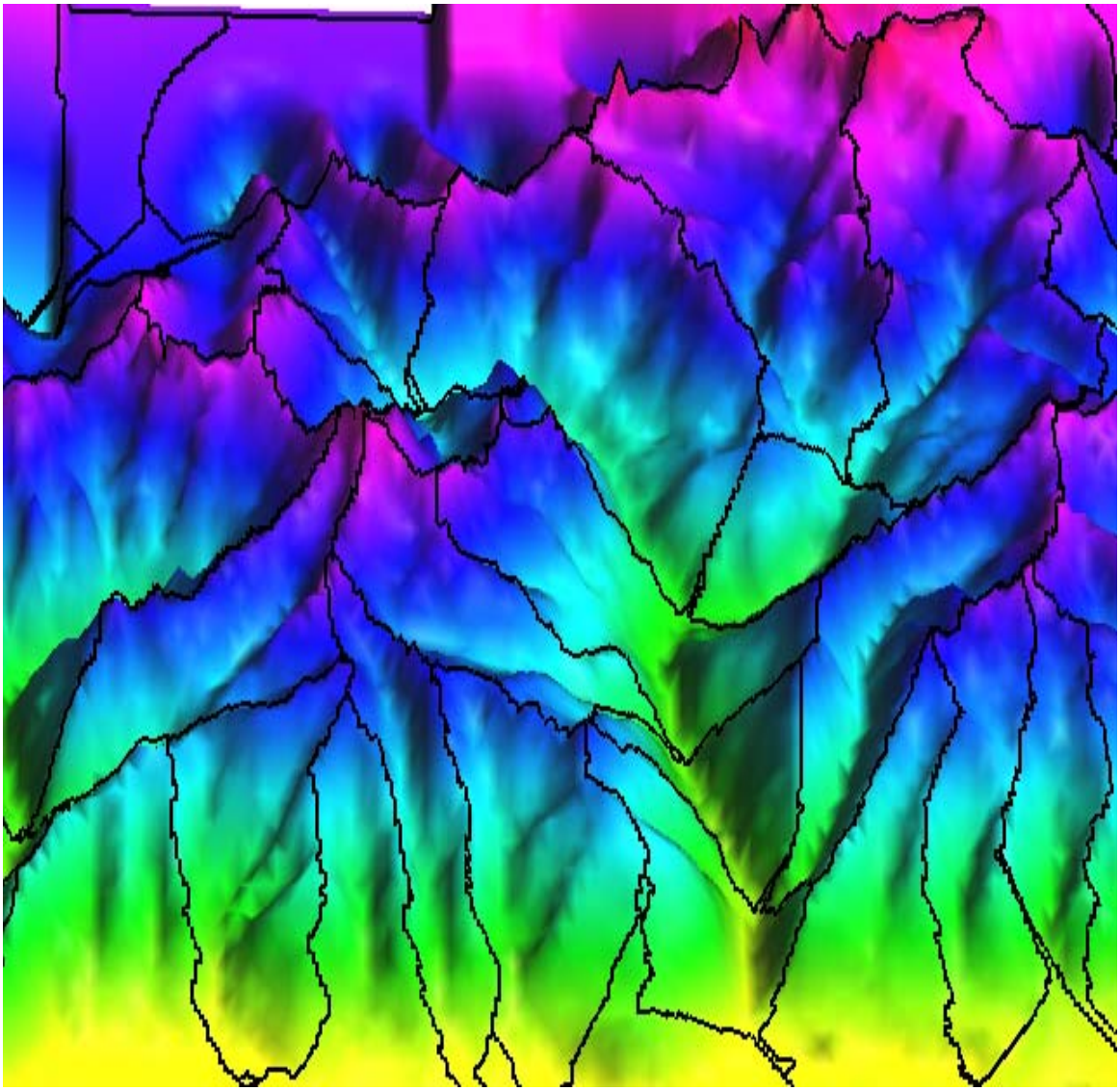


Fig 36- Bacino Valmalenco, immagine Giss Grass

Per determinare l'evento climatico (altezza di pioggia e altezza di neve fusa) da utilizzare nel modello di calcolo, si è calcolata l'altezza di pioggia media da assegnare ad ogni sottobacino.

Inizialmente si sono calcolati, per ogni stazione di misura ubicata all'interno del sottobacino, il coefficiente di correlazione medio (con riferimento alla sola componente casuale che costituisce il segnale) con tutte le altre stazioni presenti solo nel sottobacino. Il valore cosi determinato è stato confrontato con il valore di riferimento, assunto pari a 0.82, ovvero il valore medio del coefficiente di correlazione calcolato tra tutte le stazioni presenti nel bacino (riferito anch'esso alla sola componente casuale).

Si sono escluse quindi le serie di osservazioni delle stazioni di misura che presentano un valore medio (per le sole stazioni del sottobacino) del coefficiente di correlazione inferiore a 0.82.

Per ogni sottobacino si sono quindi determinate le aree di competenza delle stazioni rimanenti utilizzando la costruzione grafica dei poligoni di Thiessen (o dei topoieti). Il metodo consiste nell'unire con dei segmenti tutte le stazioni che appartengono allo stesso sottobacino in modo da ottenere un reticolo a maglie triangolari e nel tracciare quindi le perpendicolari nel punto medio. Le perpendicolari individuano dei poligoni ciascuno dei quali contiene una stazione di misura situata all'interno.

Una volta tracciati i topoieti si è calcolata l'area di influenza , ovvero l'area del poligono all'interno del quale ricade la stazione di misura.

Si ipotizza quindi che l'altezza di precipitazione sia la stessa all'interno di ogni topoieto e pari a quella registrata dalla stazione di misura.

Noti sia i gradienti che esprimono la variazione dell'altezza di precipitazione in funzione della quota sia le quote di ogni singola stazione, si sono calcolate le altezze di precipitazione di ogni stazione riferendole alla quota media del sottobacino.

Si è infine determinata un'unica serie di osservazioni (periodo compreso tra il 1990 ed il 1998) ottenendo un'unica altezza di pioggia media, moltiplicando il dato di pioggia giornaliero relativo ad ogni stazione di misura per un coefficiente k pari al rapporto tra l'area di ogni singolo topoieto e l'area totale del sottobacino.

4.6.1. Sottobacino B1: Bacino del Mallero Alto

Il sottobacino **B1** è individuato dallo spartiacque del Mallero Alto (parte Nord-Ovest della Valmalenco), l'area complessiva del sottobacino è di circa 91.9 km².

La quota media del bacino è situata a 2239 m s.l.m., la sezione di chiusura è posta a circa 946 m s.l.m.

Il tempo di corrivazione del sottobacino, calcolato con la relazione proposta da Giandotti (Formula 1) è pari a 2.18 ore, essendo la lunghezza dell'asta principale è di16.17 km.

Di seguito è riportato uno schema del sottobacino con le relative aree di competenza delle stazioni (Fig. 37), in tabella (7) sono invece riportati, per ogni stazione il coefficiente di correlazione medio Rmed, l'area di competenza [km²] ed il valore del coefficiente k.

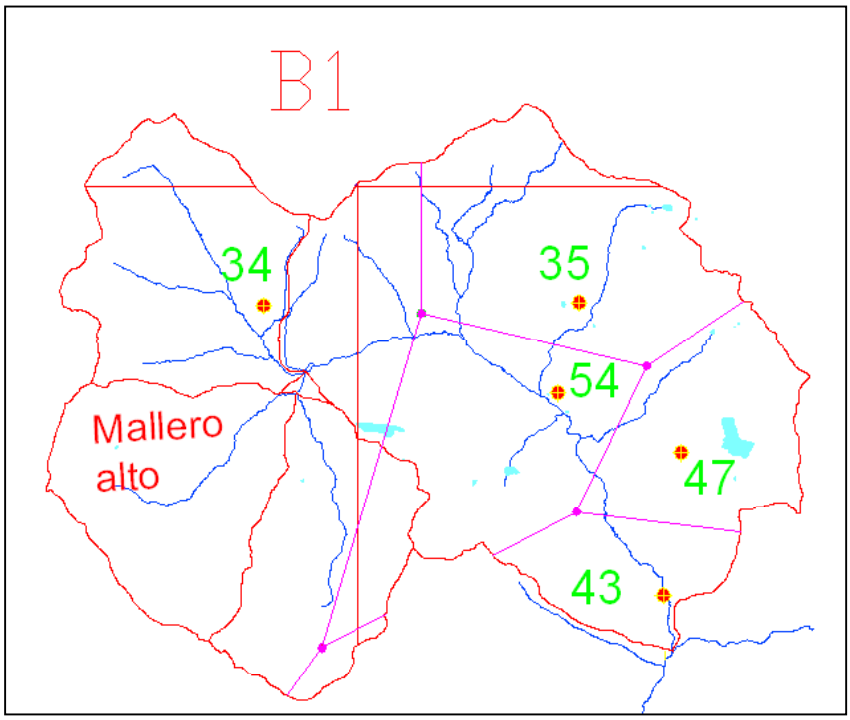


Fig. 37 – Sottobacino B 1, parte Nord-Ovest della Valmalenco

Sottobacino B1			
Stazione	**Rmed**	**Area competenza**	**k**
34	0.87	43.57	0.47
35	0.89	16.15	0.17
43	0.84	10.01	0.1
47	0.89	16.23	0.17
58	0.89	5.88	0.063

Tab. 7– Coefficiente di correlazione medio, Aree di competenza stazioni, coefficiente k

4.6.2. Sottobacino B2 : bacino del Torrente Lanterna

Il sottobacino **B2** è individuato dallo spartiacque del Torrente Lanterna (parte Nord-Est della Valmalenco), l'area complessiva del sottobacino è di circa 116.87 km².
La quota media del bacino è situata a 2433 m s.l.m., la sezione di chiusura risulta è posta 946 m s.l.m.
Il tempo di corrivazione del sottobacino (Formula 1) è pari a 2.2 ore, essendo la lunghezza dell'asta principale è di16.35 km.

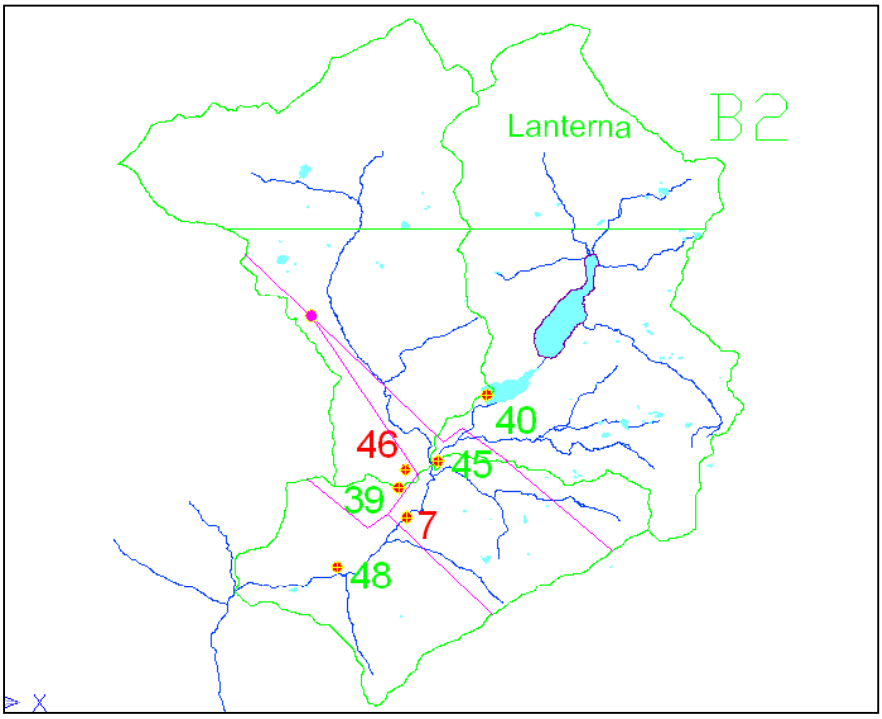


Fig. 38 – Sottobacino B 2, parte Nord-Est della Valmalenco

Sottobacino B2			
Stazione	**Rmed**	**Area competenza**	**k**
7	0.78		
39	0.84	4.98	0.042
40	0.85	86.43	0.74
45	0.83	12.89	0.11
46	0.74		
48	0.84	12.57	0.1

Tab. 8 – Coefficiente di correlazione medio, Aree di competenza stazioni, coefficiente k

4.6.3. Sottobacino B3 : bacino del Mallero Basso

Il sottobacino **B3** è individuato dallo spartiacque della parte terminale del Torrente Mallero (parte Sud della Valmalenco), l'area complessiva del sottobacino è di circa 103.98 km².
La quota media del bacino è situata a 1895 m s.l.m., la sezione di chiusura risulta è posta a circa 470 m s.l.m.
Il tempo di corrivazione del sottobacino (Formula 1) è pari a 2.08 ore, essendo la lunghezza dell'asta principale è di 14.80 km.

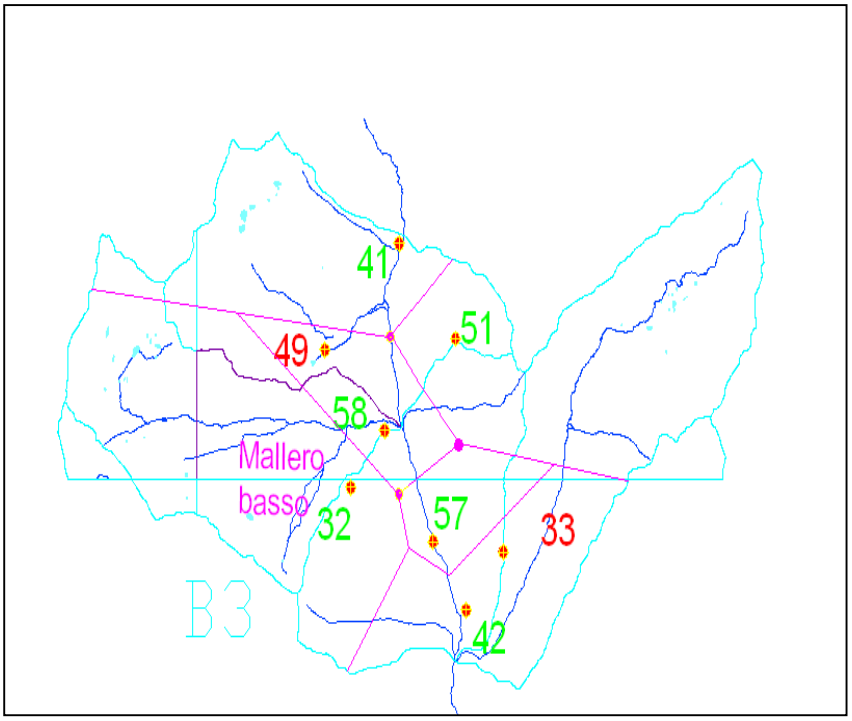


Fig. 39 – Sottobacino B 3, parte Sud della Valmalenco

Sottobacino B3			
Stazione	**Rmed**	**Area competenza**	**k**
32	0.84	30.04	0.29
33	0.66		
41	0.84	16.06	0.15
42	0.85	13.44	0.13
49	0.74		
51	0.84	28.95	0.28
57	0.84	7.51	0.072
58	0.83	7.98	0.078

Tab. 9– Coefficiente di correlazione medio, Aree di competenza stazioni, coefficiente k

4.7. La trasformazione afflussi-deflussi

Nel caso di bacini montani, o comunque bacini posti ad elevate latitudini, all'interno dei quali la precipitazione assume carattere nevoso per molti mesi all'anno su percentuali di superficie rilevanti, è necessario che un qualunque modello di trasformazione afflussi deflussi contenga un modulo di idrologia nivale, che tenga conto delle presenza delle copertura nevosa e dei ghiacciai e del loro contributo al deflusso

Ci sono due approcci per definire un modello computerizzato di bacino idrografico in ambito alpino dal punto di vista della distribuzione della neve in quel modello.

4.7.1. Modello a parametri concentrati

Un modello a parametri concentrati assume che l'andamento temporale di ciascuna variabile (es. pioggia, neve, umidità del suolo) possa essere rappresentata con un singolo algoritmo computazionale rappresentativo per l'intero bacino. Questa è una grande semplificazione nel caso di bacini che hanno una considerabile varietà di caratteristiche fisiche ma come modello può produrre risultati soddisfacenti per molte applicazioni. I modelli concentrati sono generalmente limitati alla modellazione di *eventi singoli***,** in cui il modello non deve operare oltre un singolo evento di deflusso superficiale.

Con questo approccio gli input di precipitazione e snowmelt di un bacino, sono un'unica quantità che viene trasformata in deflusso con l'uso di un idrogramma unitario o di una simile metodologia.

Dato che questo metodo è limitato solo alla modellazione di singoli eventi, lo SWE (equivalente in acqua della neve) precedente all'evento va calcolato indirettamente e come input al modello di trasformazione va fornito un singolo valore medio.

4.7.2. Modello a parametri distribuiti.

Per una modellazione più dettagliata dell'idrologia nivale è necessaria una definizione a parametri distribuiti del bacino. Il bacino viene suddiviso in sottounità per ciascuna delle quali si definiscono opportunamente le variabili. Gli output di ciascuna sottounità vengono poi combinati per produrre l'output totale del bacino. Ciò consente di modellare direttamente l'accumulazione della neve e permette di considerare in modo più dettagliato la neve durante lo scioglimento.

L'approccio più comune nella formulazione distribuita di un bacino è quello di suddividere il bacino in zone o fasce in base all'elevazione. (Tecnicamente questa formulazione può essere considerata concentrata spazialmente). Su ciascuna fascia precipitazioni, neve, umidità del suolo, ecc. sono simulate indipendentemente e forniscono l'input del procedimento di trasformazione in deflusso. Questo metodo di suddivisione del bacino è molto logico, perché in aree montane, la geografia, l'idrologia e la meteorologia sono fortemente e prevalentemente dipendenti dall'altitudine (e dall'esposizione).

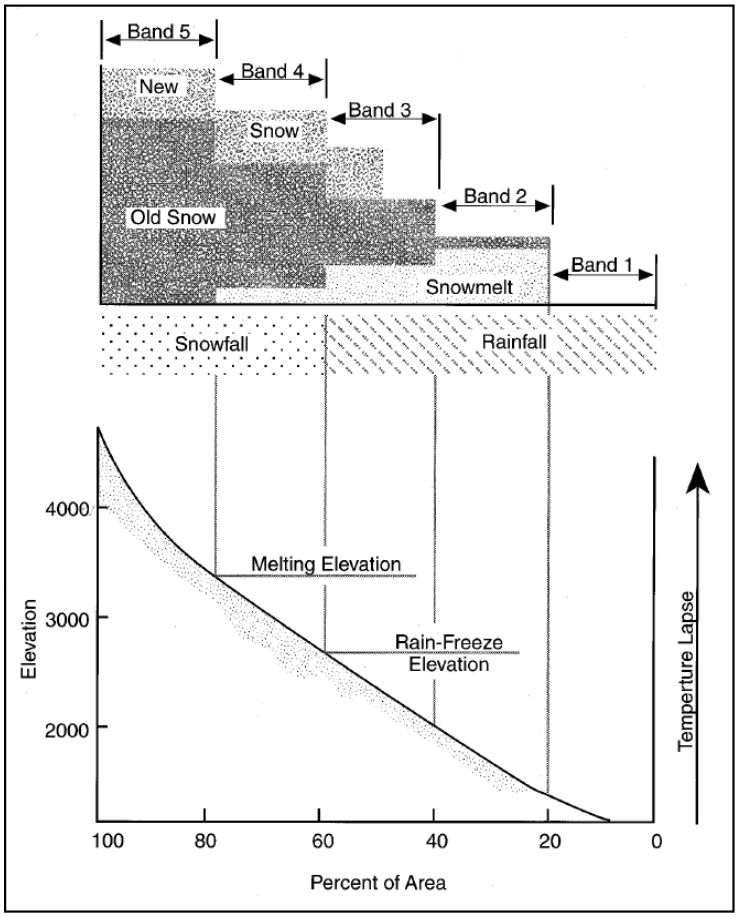


Fig. 40 - Schema di un modello di bacino montano a fasce di elevazione

Con l'avvento dei modelli digitali del terreno e del GIS c'è stata una spinta a definire il bacino idrografico con una griglia fissata, come in un sistema rettangolare di coordinate. Ciascuna cella funziona indipendentemente dalle altre.

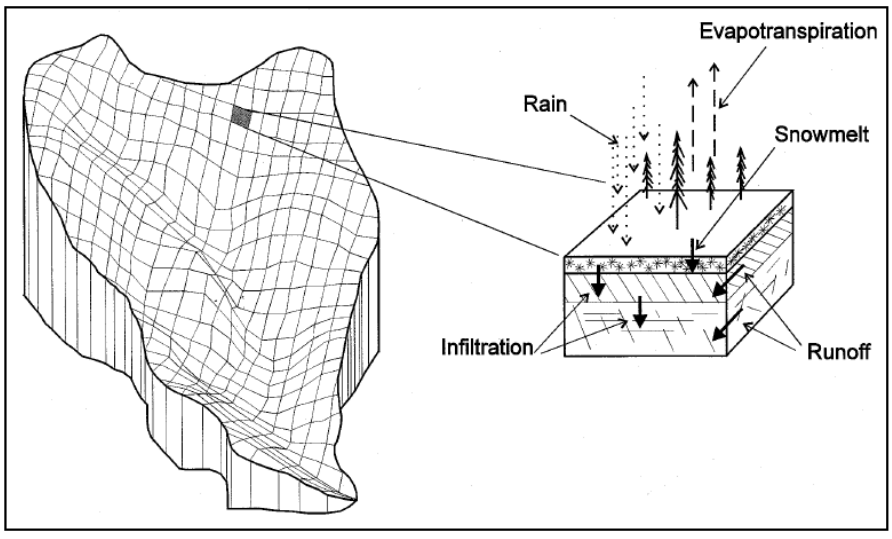


Fig. 41 - Schema di un modello di bacino montano a griglia

Per quanto riguarda lo scioglimento nevoso (snowmelt) esistono due approcci basilari per il calcolo

- Il metodo del bilancio di energia
- Il metodo dell'indice di temperatura

Il primo metodo cerca di rappresentare al meglio il fenomeno fisico incorporando nell'equazione dello snowmelt tutti i termini che intervengono nel bilancio di energia come la radiazione solare, il vento, le radiazioni a lunga lunghezza d'onda.
Il secondo metodo è più semplificato: la temperatura dell'aria viene assunta come indice rappresentativo di tutte le sorgenti di energia e diventa l'unica variabile indipendente nel calcolo dello "snowmelt".

4.7.3. Metodo del bilancio di energia

Gli studi intrapresi dai ricercatori (i primi furono quelli dell'USACE – United States of America Corps of Engineers) erano principalmente interessati al calcolo del massimo evento di piena nei bacini montani. Questi studi portarono a equazioni generalizzate del budget di energia eliminando la dipendenza da dati difficili da ottenere e combinando i fattori empirici in modo semplice. Il risultato è che esse sono semplici da usare in applicazioni ingegneristiche Le equazioni sono molto utili per capire i principi dello scioglimento della neve e per guidare le applicazioni di previsione e analisi del modello dell'indice di temperatura.

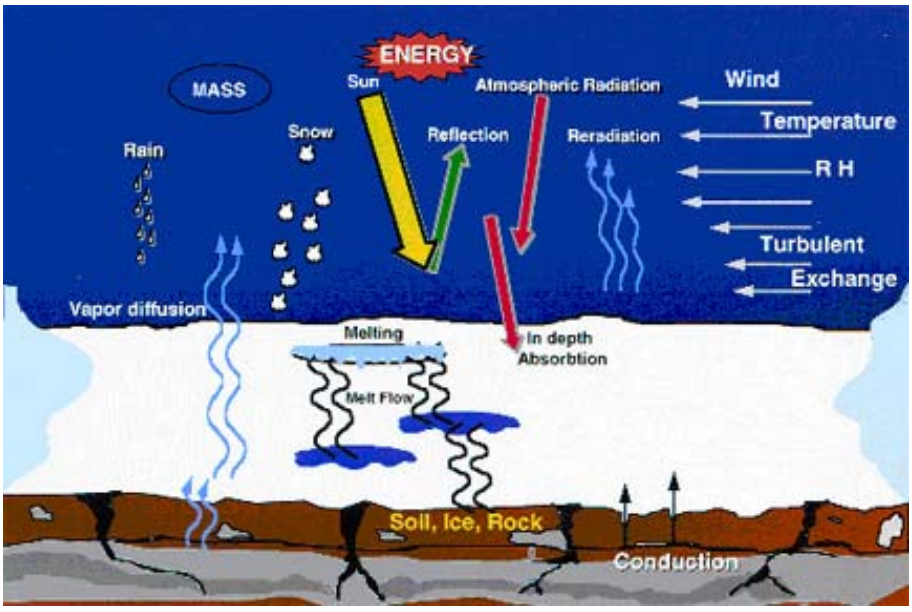


Fig 42 - Rappresentazione del flusso di energia nell'ammasso nevoso

Le equazioni utilizzate per il calcolo dello scioglimento sono le seguenti:

$$M = \frac{Q_m}{3.44 \times \rho \times B}$$

In cui M è la quantità di neve sciolta nell'unità di tempo in mm ρ è la densità dell'acqua in Kg/m^3, 334,9 è il calore latente di fusione del ghiaccio, KJ/Kg e B è la qualità termale della neve, che dipende dalla proporzione tra ghiaccio e acqua liquida nell'accumulo di neve.

Q_m è l'ammontare dell'energia nell'unità di tempo disponibile perché avvenga il fenomeno di scioglimento ed è data dalla somma di 6 termini

$$Q_m = Q_{sn} + Q_{ln} + Q_h + Q_e + Q_g + Q_p - \frac{\Delta E_i}{\Delta T}$$

$Q_{sn,ln}$ = componenti dovute a radiazioni a lunghezza d'onda corta e lunga;

Q_h = componente dovuta alla convezione dall'aria (energia sensibile);

Q_e = componente dovuta alla condensazione del vapore sull'ammasso nevoso (energia latente);

Q_g = componente dovuta alla conduzione dal suolo;

Q_p = componente dovuta alla pioggia;

$\frac{\Delta E_i}{\Delta T}$ = variazione di energia interna accumulata nella neve per unità di area nell'accumulo.

Ciascuno dei termini viene calcolato con relazioni più o meno complesse, all'inetrno delle quali compaiono grandezze fisiche misurabili (la temperatura, la velocità del vento, etc.) e coefficienti che hanno bisogno, sempre, di una taratura.

4.7.4. Metodo dell'indice di temperatura

Il metodo dell'indice di temperatura, utilizza la temperatura dell'aria come unica variabile nello scioglimento tenendo conto del problema fondamentale dell'idrologia nivale: la stima di molte delle variabili del bilancio di energia spesso non è attendibile.

Il principio dell'indice di temperatura si concentra sul coefficiente di "velocità dello scioglimento", che è la chiave di utilizzo del modello.

L'equazione di base del modello dell'indice di temperatura è :

$$M_S = C_m(T_a - T_b)$$

In cui C_m è il coefficiente di velocità dello scioglimento in mm/(grado×secondo), T_a è la temperatura dell'aria e T_b è la temperatura di base

In questa equazione il fattore della velocità di scioglimento C_m varia tra 1.8 e 3.7 $mm/°c$.

La variabile di temperatura utilizzata dipenderà dal metodo di applicazione e dalla dimensione del bacino considerato. Per grandi bacini simulati con un incremento

temporale giornaliero, è tipico usare le temperature massima e minima giornaliere, pesando ciascuna di esse come desiderato in base alla calibratura del modello. Talvolta viene utilizzata come indice la sola temperatura massima perché è un indicatore della copertura nuvolosa del bacino. Se l'intervallo di calcolo deve essere più breve di un giorno, si useranno temperature medie rappresentative del periodo di calcolo.

Di norma la temperatura base è un valore vicino a $0\,°C$, in particolare per i periodi di calcolo più brevi che comportano l'utilizzo come input di temperature rappresentative del periodo. Se, tuttavia, come indice si utilizzano le temperature massime giornaliere, la temperatura base sarà più alta, arrivando, probabilmente, fino a 4.44°C.

I ricercatori hanno proposto nel corso degli anni diverse varianti dell'equazione di base dell'indice di temperatura, principalmente nel modo di specificare il fattore di velocità di scioglimento.

L'utilizzo appropriato del coefficiente di velocità di scioglimento (talora chiamato fattore grado-giorno) è una chiave importante per l'applicazione con successo dell'equazione dell'indice di temperatura. Dalla discussione sui principi fisici coinvolti nello scioglimento fatta nel capitolo sul modello del bilancio di energia si nota che la temperatura non è correlata alle sorgenti di onde a breve lunghezza d'onda o di energia di condensazione e spiega solo parzialmente le altre componenti del flusso totale di energia. Nelle equazioni del bilancio di energia riguardanti le aree forestali, la radiazione ad onde a breve lunghezza d'onda e gli effetti del vento sono meno importanti, permettendo così alla temperatura di diventare un indice di prima importanza per lo scioglimento.

In generale, quindi, si può dire che la temperatura è un indice ragionevolmente buono del flusso di energia in aree fortemente boschive, mentre lo è meno in aree aperte nelle quali la radiazione ad onde a lunghezza d'onda breve e la velocità del vento hanno un ruolo importante nel processo di fusione. Segue che per le situazioni nelle quali il fattore di velocità di scioglimento non è un buon indice esso deve essere trattato più come una variabile che come una costante per ottenere un ragionevole successo dell'applicazione. Questo si ottiene facendo variare il fattore in base a relazioni indipendenti in un modello di simulazione o semplicemente scegliendo il valore appropriato dopo una attenta valutazione.

Il range di variazione del fattore di velocità di scioglimento va da 1.8 a 3.7 $mm/°C$ per condizioni senza pioggia. In caso contrario e in situazioni ventose ci si aspetterà valori più elevati.

Nella modellazione per pratiche ingegneristiche o di previsione, i fattori del coefficiente di velocità di scioglimento vengono verificati durante il processo di calibrazione del modello idrologico. Le equazioni del bilancio di energia possono essere un'utile guida nella determinazione delle stime iniziali per il modello. Una volta stabilito in base a dati storici, il fattore può essere modificato in base a valutazioni correnti: i principi del bilancio di energia possono essere utilizzati come guida anche in questa fase.

In alcune situazioni di pioggia su neve, la previsione di piene in tempo reale rende difficile l'applicazione del metodo dell'indice di temperatura a causa delle possibili grandi variazioni del coefficiente di velocità di scioglimento dovute agli effetti del vento.

In situazioni di cielo sereno e di scioglimento in aree boschive, il fattore di velocità di scioglimento varia stagionalmente ed è tipicamente crescente con l'avanzare della stagione di scioglimento, a causa di fattori come la riduzione dell'albedo e l'aumento dell'insolazione giornaliera.

Questi sono i motivi per cui normalmente i modelli di simulazione calcolano il coefficiente di velocità di scioglimento come una variabile. Ciò può essere fatto per esempio rendendolo funzione del deflusso accumulato. Tale relazione deve essere verificata mediante una simulazione fatta con dati storici.

Per la derivazione di piene estreme il metodo dell'indice di temperatura è sconsigliato: è preferibile far uso del metodo del bilancio di energia.

4.8. Applicazioni al bacino della Valmalenco

L'attività è stata quindi incentrata sulla ricerca dell'esistente in letteratura e in generale nell'ambito internazionale, sui modelli di simulazione della trasformazione degli afflussi meteorici in deflusso, allo scopo di confrontare le differenti metodologie proposte sia nell'ambito della gestione e utilizzazione dei dati, sia della modellistica vera e propria.
In particolare si sta analizzando la potenzialità di HEC-HMS, sviluppato dalla US Army Corps of Engineers. Sono stati acquisiti anche altri modelli, quali SRM (Snowmelt Runoff Model) che verrano testati successivamente.

Come è stato anticipato al punto 3.6 il bacino della Valmalenco è stato suddiviso in tre Sottobacini.
Per ogni sottobacino è stata assegnata la pioggia media precedentemente calcolata (Sottobacino 1, Sottobacino 2, Sottobacino 3).
La pioggia puntuale è stata quindi ragguagliata all'area assegnando l'estensione di ogni sottobacino.

La rete idrica superficiale del bacino è stata schematizzata inserendo all'interno del modello gli "*elementi idrologici*" che permettono di simulare il contributo del deflusso generato dallo scorrimento superficiale all'interno dei corsi d'acqua principali (Mallero Alto, Mallero Basso, Torrente Lanterna).
Questi elementi ricostruiscono quindi, l'idrogramma del deflusso di pioggia, a partire dalla pioggia netta.
Il deflusso superficiale complessivo viene quindi calcolato considerando i singoli contributi provenienti da ogni sottobacino (*elementi di giunzione*).
L'elemento *Giunzione 1* somma i contributi provenienti dal Sottobacino B1 e B2, mentre l'elemento *Giunzione 2*, consente di simulare il deflusso superficiale complessivo alla sezione di chiusura del bacino, essendo posto a valle dei tre sottobacini.

L'elemento di giunzione consente quindi di simulare il deflusso complessivo, calcolato sommando i contributi di ogni singolo sottobacino senza considerare alcun fenomeno di immagazzinamento all'interno dell'elemento stesso.

In questa prima fase, in cui l'attività è finalizzata ad analizzare le potenzialità del modello nel simulare i fenomeni fisici di maggiore interesse e nel valutare la sensibilità del programma ai parametri utilizzati nei modelli, non è stata simulata la regolazione dei serbatoi artificiali di Campo Moro e Campo Gera.

In (Fig. 43)è riportato lo schema che si sostituisce alla rete idrica superficiale (senza voler assolutamente rappresentarne la reale complessità) utilizzato per effettuare le simulazioni.
Poiché il calcolo è stato fatto su base temprale giornaliera e il tempo di corrivazione dei sottobacini è dell'ordine delle ore, il ritardo è stato posto uguale a zero.

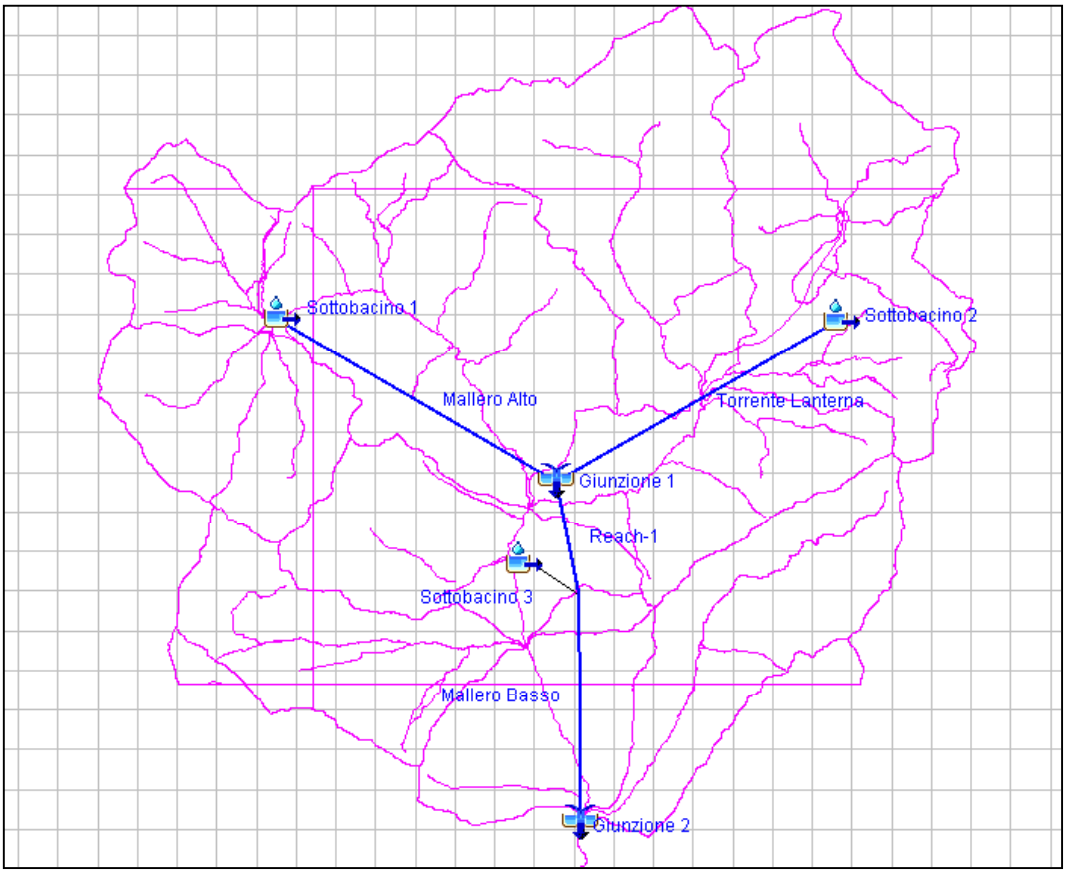


Fig. 43 – Schema rete fluviale del Bacino della Valmalenco (HEC-HMS)

Per ricostruire la trasformazione della pioggia netta in portata e quindi per determinare l'idrogramma del deflusso di pioggia si è utilizzato un IUH costituito dalla serie di un ritardo ed invaso lineare (definito nel programma modello di Clark)

In realtà il modello di Clark si ottiene schematizzando il bacino come composto di due elementi: il modello cinematico (o della corrivazione), il cui idrogramma unitario istantaneo è la curva di concentrazione del bacino normalizzata e, in serie a questo, un serbatoio lineare, il cui idrogramma unitario istantaneo è un esponenziale decrescente.

Per determinare il deflusso corrispondente allo scorrimento superficiale, e quindi per calcolare il coefficiente di afflusso si è utilizzato il metodo CN proposto dal Soil Conservation Service (SCS) degli Stati Uniti.

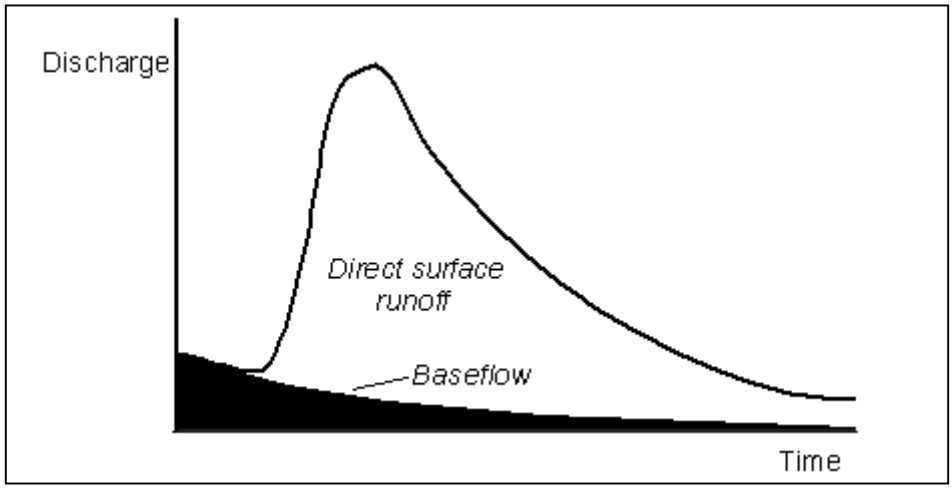
Il valore di CN, che teoricamente può variare tra 0 e 100, è stato inizialmente assunto pari a 70.

Per simulare il contributo del deflusso dovuto alla porzione di pioggia che non dà luogo allo scorrimento superficiale, si è scelto di schematizzare lo scorrimento sotterraneo e le cinetiche che governano il moto di infiltrazione mediante il modello della *recessione esponenziale.*

L'infiltrazione che continua nel tempo con un tasso più o meno ridotto, per tutta la durata dell'evento, alimenta lo scorrimento ipodermico e lo scorrimento sotterraneo.
La legge utilizzata per esprimere la cinetica il moto sotterraneo di infiltrazione è espressa dalla relazione:

$$Q_t = Q_0 \, k^t$$

dove Q_t è la portata di base al tempo t, Q_0 è la portata di base al tempo t =0 e k è la costante di esaurimento esponenziale.



Il programma consente inoltre di simulare la quantità d'acqua che passa dal bacino idrografico all'atmosfera per evaporazione dal terreno, dalla vegetazione e per traspirazione dalle piante (*evapotraspirazione*).
In questa prima fase di taratura del modello, si è deciso di attribuire un valore costante [mm/mese] per ogni mese, calcolato con il metodo di Blaney e Criddle, valore che diminuisce l'afflusso netto al bacino aumentando le perdite iniziali.

E' stato inoltre utilizzato il metodo dell'*indice di temperatura* per stimare il contributo del deflusso generato dallo scioglimento del manto nevoso.
Il modello, infatti, consente di scindere la pioggia dalla precipitazione nevosa assegnando un valore di riferimento della temperatura dell'aria al di sotto del quale la precipitazione giornaliera che viene assegnata come input non da origine al deflusso superficiale ma si accumula sulla superficie sotto forma di neve.

Per far ciò ogni sottobacino è stato schematizzato con un modello a fasce di elevazione, ricavato dalle curve ipsografiche.

Nel modello implementato il coefficiente di velocità di scioglimento (fattore grado giorno) non assume un valore costante, ma per ogni time step viene calcolato in funzione della differenza tra la temperatura dell'aria e quella del manto nevoso (assunta pari a 0°C).

Di seguito (Fig. 44) è riportato il confronto tra i deflussi naturali determinati in uno studio precedentemente condotto sul bacino della Valmalenco, ed i deflussi medi mensili ottenuti dalle simulazioni il periodo considerato è quello compreso tra il 1990 ed il 1998.

Questo primo confronto è stato effettuato considerando solo il deflusso dovuto allo scorrimento superficiale al fine di valutare l'efficienza del metodo utilizzato per il calcolo delle perdite iniziali.

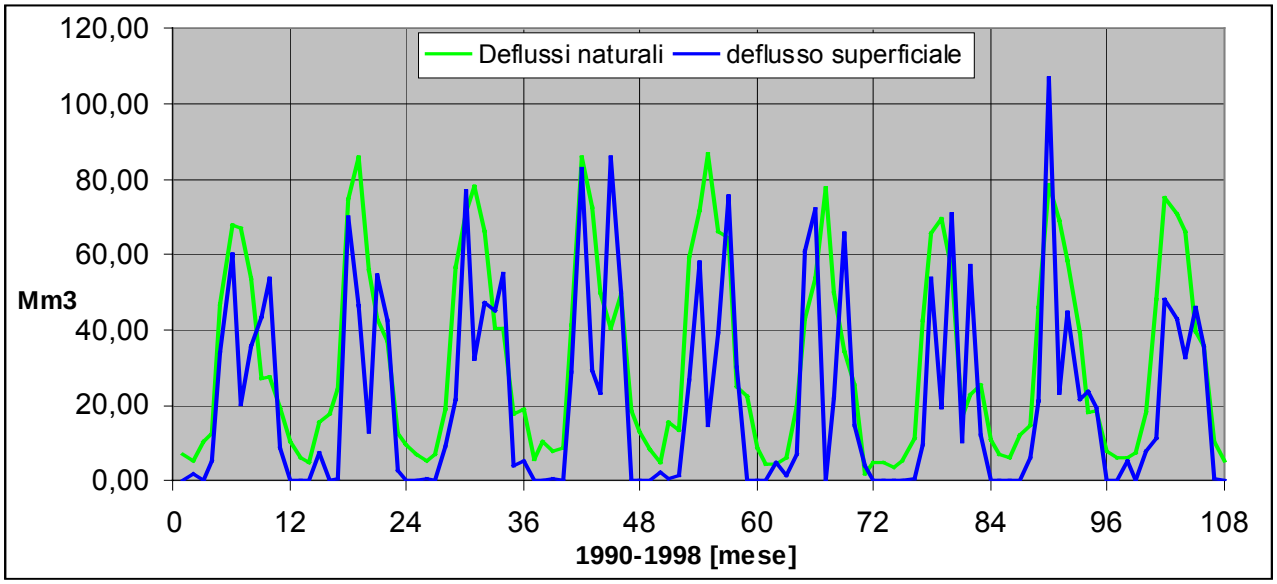


Fig. 44 – Confronto deflussi naturali e deflussi simulati (scorr.sup.) (1990-1998)

In figura 45 invece riportato il confronto tra i deflussi naturali e quelli ottenuti dalle simulazioni riferiti solo al 1992.

In questo caso il confronto mensile è stato fatto implementando all'interno del modello oltre che lo scorrimento superficiale anche il deflusso di base, l'evapotraspirazione, ed il deflusso indotto dallo scioglimento del manto nevoso.

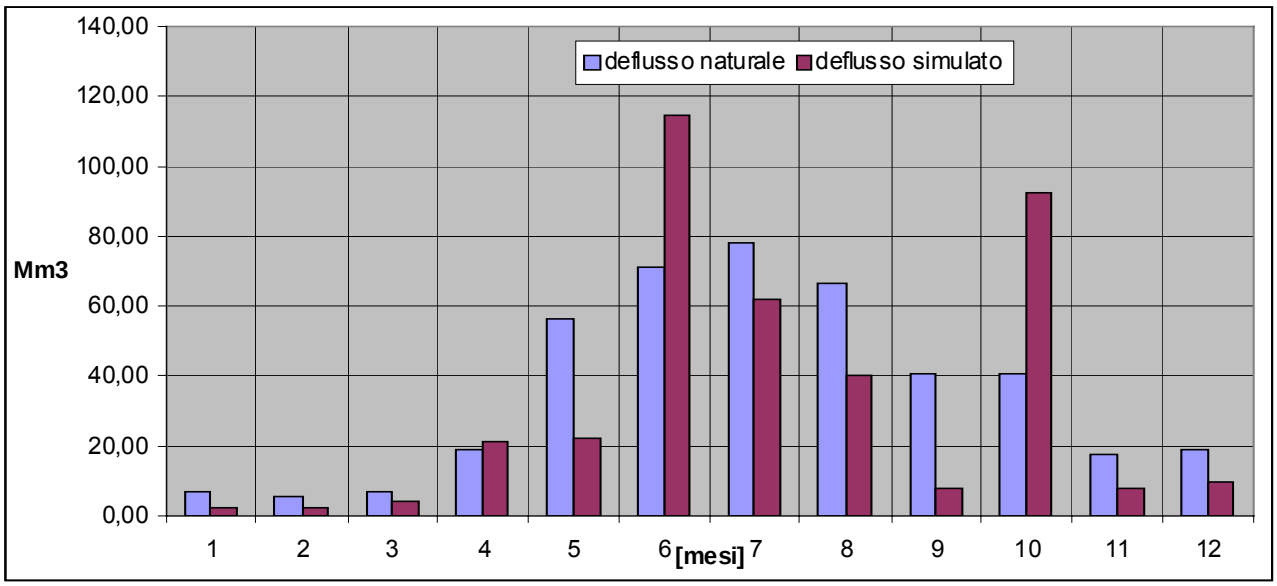


Fig. 45 – Confronto deflusso naturale e deflusso simulato (anno 1992)

Come si nota dal confronto, nei mesi di Giugno e di Ottobre i deflussi mensili vengono sovrastimati questo è probabilmente dovuto al fatto che il modello necessita una migliore taratura, soprattutto per quanto riguarda il contributo del deflusso indotto dallo scioglimento del manto nevoso e le perdite dovute al fenomeno dell'evapotraspirazione.

Analogamente per quanto riguarda i mesi di Maggio e Settembre si nota una sottostima del deflusso naturale, anche in questo caso, una migliore taratura dei parametri dei modelli consentiranno di ottenere risultati migliori.

Lo scopo di queste simulazioni è stato quello di capire il funzionamento del programma nell'applicare i modelli che permettono di simulare i fenomeni fisici di maggior interesse, ed inoltre, si è voluto iniziare a testare la sensibilità del modello ai parametri richiesti per effettuare le simulazioni.

5. Riferimenti bibliografici

1. Individuazione delle variazioni climatiche con l'analisi statistica di lunghe serie storiche

Pubblicazioni del gruppo di ricerca:

Kottegoda, N.T., Natale, L., 1994. Two component lognormal of irrigation affected low flows. Jour. Hydrology, 158, pp. 187-199.

Kottegoda, N.T., Natale, L., Raiteri, E., Saccardo, I., 1995. A stochastic model of daily flows for simulating low flows in a highly developed basin. Atti del convegno "Statistical & Bayesan Methods in Hydrological Sciences" - An international conférence in honour of Jacques BERNIER", Paris, UNESCO, September 11-13, 1995.

Natale, L., Raiteri, E., 1996. Effects of seasonal water diversions on the probability distribution of low flows. Atti del convegno "Rivertech '96 - 1st International Conference on New/Emerging Concepts for Rivers", Chicago, Illinois, USA, September 22-26, 1996.

Kottegoda, N.T., Natale, L., Raiteri, E., 1999. Statistical modelling of daily streamflows using rainfall input and Curve Number technique. Journal of Hydrology, 234, pp. 170-186.

Kottegoda, N.T., Natale, L., Raiteri, E., 2000. Daily streamflow simulation using recession characteristics. Journal of Hydrologic Engineering (ASCE), 5, pp. 17-24.

Kottegoda, N.T., Natale, L., Raiteri, E., 2006. Gibbs sampling of climatic trends and periodicities. In corso di pubblicazione su Journal of Hydrology.

Pubblicazioni del gruppo di ricerca sul modello di generazione delle piogge

Kottegoda, N.T., Natale, L., Raiteri, E., 2003. A parsimonious approach to stochastic multisite modelling and disaggregation of daily rainfall. Journal of Hydrology, 274, pp. 44-61.

Kottegoda, N.T., Natale, L., Raiteri, E., 2004. Some considerations of periodicity and persistence in daily rainfalls. Journal of Hydrology, 296, pp.23-37.

2. Caratterizzazione della copertura nevosa nel bacino dell'Adda mediante misure satellitari

- "*Primer on the Estimation of Sea Surface Temperature Using TeraScan Processing of NOAA AVHRR Satellite Data*", Frank Monaldo The Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory, S1R–96M–03

- *"Snow Line Analysis In The Swiss Alps Based On NOAA-AVHRR Satellite Data"*, H. Kleindienst, S. Wunderle, S. Voigt, Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop Land Ice and Snow, Dresden/FRG, June 16 – 17, 2000. pp 297- 307

- *"NOAA / AVHRR Sub-pixel Snow Cover Data Set"*, Theoretical Basis and Data Set Description Intern Report to the Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research, Davos (SLF)

- "*Snow Line Analysis in the Alps Based on NOAA-AVHRR Data Spatial and Temporal Patterns* for *Winter and Springtime in 1990, 1996 and 1999*", M. Droz, S. Wunderle Remote Sensing Research Group, Departement of Geography, University of Berne, Proceedings of EARSeL-LISSIG-Workshop Observing our Cryosphere from Space, Bern, March 11 – 13,

3. Modellazione della formazione e propagazione dei deflussi

- *Hydrologic Modeling System – HEC HMS – Users Manual*, Version 3.0.1, April 2006.

- *Calibration, Verification and Sensitivity Analysis of the HEC HMS Hydrologic Model,* CFCAS Project; assessment of Water Resources Risk and Vulnerability to Changing climatic Comditions, Project Report IV, August 2006.

- *A Synopsis and comparison of Selected Snowmelt Algorithms* , Rae A. Melloh, july 1999, HEC, Cold Regions Research & Engineering Laboratory.

- *Runoff from snowmelt* – HEC Engineering and Design Manual, march 1998

WP3 - Acque sotterranee: variazione di bilancio

Responsabile: Dott.ssa Tullia Bonomi – Dip. di Scienze dell'Ambiente e del Territorio, Università degli Studi di Milano - Bicocca

Collaboratori: Dott.ssa Paola Canepa, Dott.ssa Francesca Del Rosso, Dott.ssa Letizia Fumagalli – Dip. di Scienze dell'Ambiente e del Territorio, Università degli Studi di Milano - Bicocca

INDICE

1. Introduzione 133
2. Attività svolta a settembre 2006 134
2.1. Dati relativi ai pozzi 135
2.1.1. Raccolta dati 135
2.1.2. Metodologia utilizzata per l'archiviazione 141
2.1.3. Archiviazione dati 146
2.1.4. Future elaborazioni stratigrafiche tridimensionali 149
2.2. Dati piezometrici 149
2.2.1. Raccolta dati 149
2.2.2. Analisi preliminari 152
2.3. Dati idrometrici 154
2.3.1. Raccolta dati 154
2.3.2. Completamento raccolta dati 162
2.4. Dati pluviometrici automatici 163
2.5. Dati di portata 164
3. Attività correlate 165
4. Collaborazione WP1/WP3 165
5. Bibliografia 167

1. Introduzione

L’obiettivo del workpackage è lo studio degli effetti sulla risorsa idrica sotterranea delle variazioni di bilancio di massa mediante l’utilizzo di banche dati e modelli idrogeologici tridimensionali integrati tra loro e mira a fornire agli enti gestori ipotesi ragionevoli sui diversi effetti sulla risorsa idrica sotterranea, in funzione di plausibili scenari meteo-climatici o di utilizzo della risorsa stessa.

In dettaglio i principali obiettivi perseguiti saranno:

1. Ricostruzione dell’andamento della superficie piezometrica nella pianura lombarda.
2. Valutazione del contributo dei diversi regimi pluviometrici al bilancio idrico delle acque sotterranee della Regione Lombardia.
3. Implementazione della banca dati idrogeologica.
4. Ricostruzione tridimensionale delle tessiture del sottosuolo, attraverso uno specifico software di calcolo (GOCAD).
5. Applicazione di modelli idrogeologici di flusso tridimensionali distribuiti (MODFLOW).

L’area che è stata scelta come oggetto di studio del progetto RICLIC-WARM è la zona di pianura compresa all’interno del territorio regionale facente parte del bacino del fiume Adda. Non essendovi, però, in questo caso, alcuna coincidenza tra bacino idrografico e bacino idrogeologico, è necessario, per lo studio della falda sotterranea, estendere le analisi ai due bacini idrogeologici sui quali il fiume Adda esercita un’azione di spartiacque: il bacino delimitato dal fiume Ticino e dall’Adda stesso verso ovest e quello delimitato dall’Adda e dal fiume Oglio, verso est (Figura 1).

In questa prima fase del progetto, si è comunque deciso di raccogliere dati piezometrici ed idrometrici sull’intera pianura lombarda, per creare anche una carta piezometrica a scala regionale.

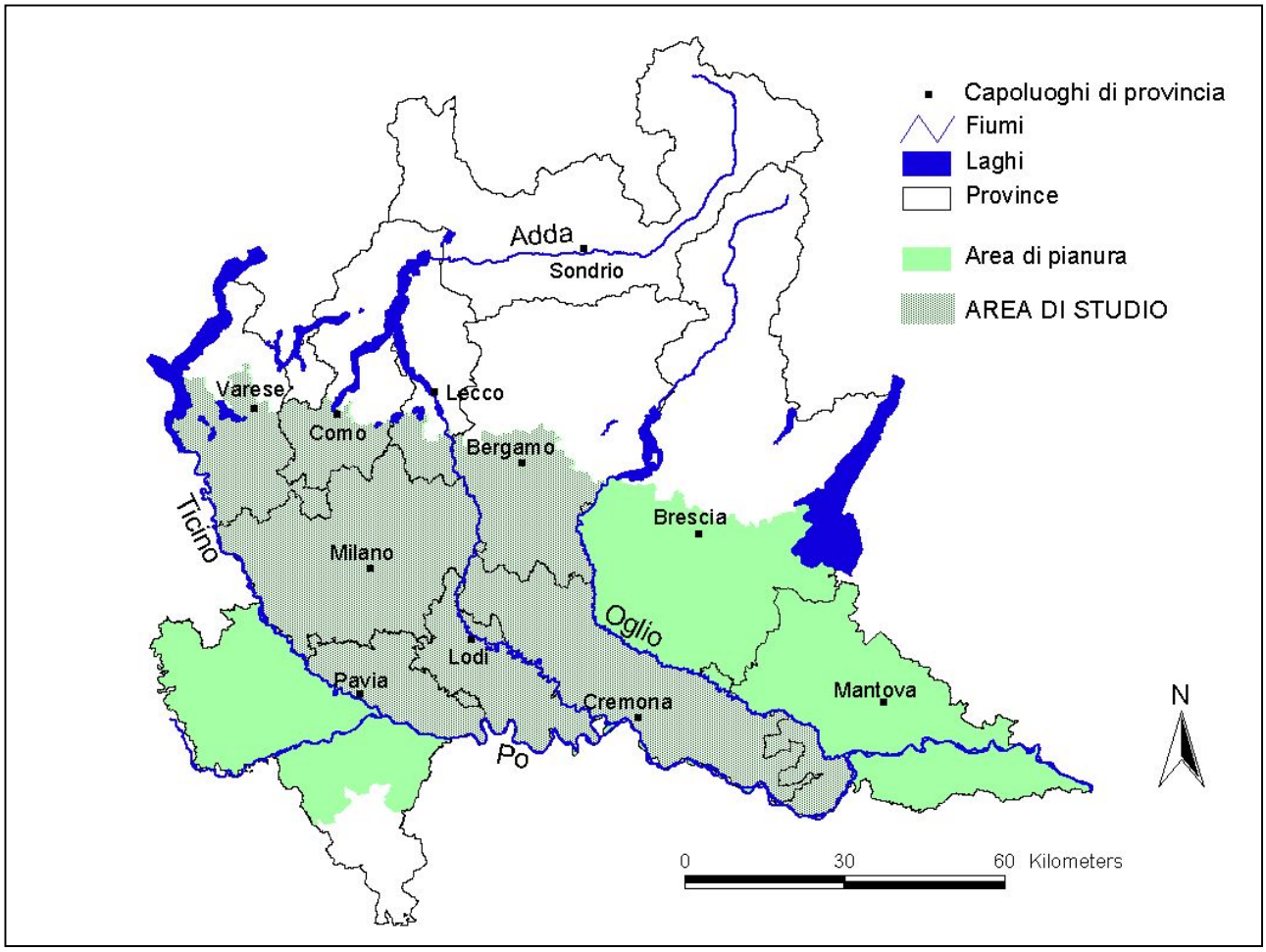


Fig. 1 – Area di studio

2. Attività svolta a settembre 2006

Innanzi tutto è stata stabilita la tipologia di dati necessari all'attuazione dello studio, nonché l'intervallo temporale e la copertura spaziale da considerare per tali dati così da valutare quali fossero già in possesso del WP3 e quali, invece, fosse necessario reperire. Stabilito questo, ha preso avvio la fase di raccolta e archiviazione dei dati.

I dati necessari allo svolgimento di questa prima fase di studio sono:

- ***dati relativi ai pozzi****, per integrare la banca dati del DISAT (Tangram) costituita, inizialmente, da circa 10600 pozzi distribuiti tra 8 delle 11 province lombarde.*

  A tal fine, innanzi tutto, sono state raccolte le informazioni relative a 200 pozzi facenti parte della Rete Regionale di Monitoraggio Quantitativo delle acque sotterranee, gestita da ARPA Lombardia. Poiché al termine di tale operazione, la densità di dati sul territorio risultava ancora insufficiente ad assicurare una dettagliata ricostruzione del sottosuolo, sono state contattate le ARPA locali e, ove necessario, le Province;
- ***dati piezometrici,*** *per la ricostruzione della carta piezometrica della pianura lombarda e l'analisi spazio-temporale dell'andamento della falda nell'area di studio.*

  Il WP3 era già in possesso dei dati relativi alla Rete di Monitoraggio della Provincia di Milano (145 pozzi), attiva fin dal 1979, che copre, però, solo i territori provinciali di Milano e Lodi; per disporre di livelli piezometrici anche sul rimanente territorio regionale, sono stati consultati in successione l'ARPA Lombardia, i relativi dipartimenti provinciali e le Province. L'ARPA Lombardia ha

fornito i livelli piezometrici dei 250 pozzi della attuale Rete Regionale di Monitoraggio Quantitativo delle acque sotterranee (2001–2005) e l'ARPA di Lodi fornirà, al termine del progetto di riquotatura dei pozzi, i dati relativi alla loro rete provinciale studiata per integrare la rete regionale.

- ***dati idrometrici**, per l'elaborazione della carta piezometrica regionale e per il confronto temporale con le serie pluviometriche e piezometriche.*

  I dati provengono da stazioni automatiche o manuali e meccaniche; quelli derivanti da strumenti automatici sono stati estratti dal database Polifemo gestita da ARPA, relativamente agli anni 2001-2005. Invece, i dati meccanici e manuali sono stati trascritti da annali, schede e diagrammi, relativamente al periodo 1979-2005;
- ***dati pluviometrici,** per integrare i dati manuali ove mancanti.*
  Provengono da 6 stazioni automatiche nelle province di Milano e Lodi;
- ***dati di portata,** per il calcolo del bilancio idrogeologico.*
  Sono state individuate 7 serie lunghe, già digitalizzate relative ad altrettante stazioni e dati provenienti da altre 6 stazioni, ancora da digitalizzare da annale.

Di seguito vengono riportati i dettagli relativi a ciascuna tipologia di dato.

2.1. Dati relativi ai pozzi

E' stato previsto di integrare la Banca Dati Idrogeologica (Tangram), già in possesso del WP3, con informazioni fornite da Enti esterni; per questo è stata organizzata una raccolta dati, mirata ad acquisire il maggior numero di informazioni disponibili, al fine di realizzare un archivio che si presenti il più completo possibile e al fine di ottenere una quantità di dati validi e sufficienti a realizzare simulazioni il più possibile inerenti alla realtà.

2.1.1. Raccolta dati

La raccolta dati ha interessato tutte le province lombarde, focalizzandosi, successivamente, su 7 tra quelle che si trovano nell'area di pianura (Milano e Brescia sono già complete). Per prima cosa sono stati acquisiti i dati disponibili presso ARPA Lombardia (Rete di Monitoraggio Quantitativo delle Acque Sotterranee), in secondo luogo, al fine di completare la raccolta dati, soprattutto nelle zone sprovviste, e poiché ARPA non possiede altre informazioni relative ai pozzi, sono state contattate le ARPA locali e gli Enti provinciali, come viene illustrato in Tabella 1.

PROVINCIA	ENTI CONTATTATI		
BERGAMO	**ARPA LOMBARDIA** 21 pozzi di cui 15 con stratigrafia	**ARPA sezione provinciale di BERGAMO** Dott. G. Pezzera	**PROVINCIA di BERGAMO** Ing. A. Tonelli Dott.ssa F. Lucini Pozzi totali: 3681 circa (di cui 1430 georeferenziati)
COMO	**ARPA LOMBARDIA** 20 pozzi di cui 19 con stratigrafia	**ARPA sezione provinciale di COMO** Dott. G. Rundo Sotera	**PROVINCIA di COMO** Dott.ssa S. Tavecchia Dott.ssa Del Curto
CREMONA	**ARPA LOMBARDIA** 30 pozzi di cui 29 con stratigrafia	**ARPA sezione provinciale di CREMONA** Dott. A. Galati	**PROVINCIA di CREMONA** Dott. Cremonini Bianchi www.atlanteambientale.it Collaborazione con Universita' Statale di Milano
LODI	**ARPA LOMBARDIA** 13 pozzi di cui 13 con stratigrafia	**ARPA sezione provinciale di LODI** Dott. G. De Felice Dott.ssa S. Ughini Pozzi totali: 4388 Pozzi pubblici: 218 => 208 con stratigrafie (di cui 161 già presenti in Tangram) Pozzi privati: 4170 => 409 con stratigrafia	
PAVIA	**ARPA LOMBARDIA** 30 pozzi di cui 27 con stratigrafia	**ARPA sezione provinciale di PAVIA** Dott. ssa Melgiovanni Circa 60 pozzi in archivio	**PROVINCIA DI PAVIA**
VARESE	**ARPA LOMBARDIA** 16 pozzi di cui 16 con stratigrafia	**ARPA sezione provinciale di VARESE** Dott. F. Del Corno'	
LECCO	**ARPA LOMBARDIA** 8 pozzi di cui 6 con stratigrafia		

Tab. 1 – Iter della raccolta dati

E' stata attivata la collaborazione con l' U.O. Acque Profonde dell' ARPA Lombardia, diretta dal Dott. P. Jean. Sono stati messi a nostra disposizione i dati relativi ai 252 (Tabella 2) pozzi della Rete Regionale di Monitoraggio Quantitativo delle Acque Sotterranee, aggiornati all'anno 2004. Per ogni pozzo sono riportate informazioni amministrative, informazioni relative all'ubicazione geografica, alla profondità e alla quota,

alle caratteristiche costruttive, le misure piezometriche mensili raccolte in un arco variabile di tempo tra l'anno 2001 e l'anno 2004, e un codice alfanumerico di riconoscimento (denominato ACQUAGEST). Non per tutti i pozzi sono presenti i dati stratigrafici, solo 200 sul totale li posseggono; questi sono stati successivamente archiviati in una Banca Dati idrogeologica (Tangram), suddivisi per provincia.

Va specificato che le quote relative a ciascun pozzo della Rete di Monitoraggio Quantitativo, potrebbero contenere qualche errore, in quanto, secondo ARPA, potrebbero non essere del tutto attendibili; è attualmente in corso una campagna di riquotatura dei pozzi, a partire dalle province pilota di Milano e Lodi, ad opera di ARPA, che permetterà così di correggere eventuali inesattezze contenute nella Banca Dati.

Provincia	**n. totale di pozzi**	**Stratigrafia**
Bergamo	21	15
Brescia	24	24
Cremona	30	29
Como	20	19
Lecco	8	6
Lodi	13	13
Mantova	30	8
Milano	53	37
Pavia	30	27
Sondrio	7	6
Varese	16	16
TOTALE	**252**	**200**

Tab.2 – Suddivisione per provincia dei pozzi della Rete di Monitoraggio Quantitativo delle Acque Sotterranee

Nella seconda fase della raccolta dati sono state attivate delle collaborazioni con la Provincia di Bergamo, la Provincia di Como e l'ARPA di Lodi.

1. Per quanto riguarda la provincia di **Bergamo** i pozzi archiviati in Tangram, coprono solo una piccola zona a sud-ovest (Figura 2), perciò è risultato necessario integrarli con altri.

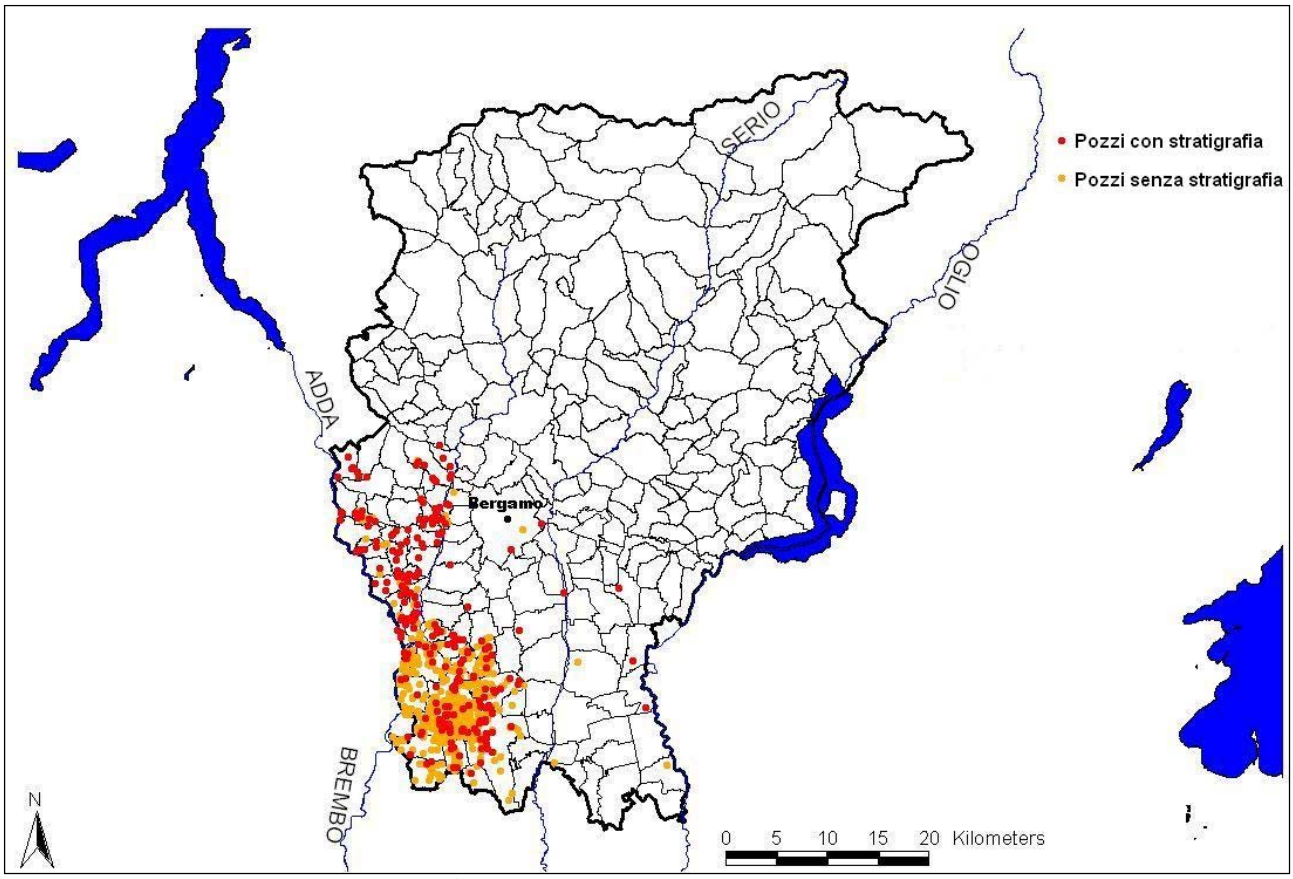


Fig. 2 – Distribuzione dei pozzi già presenti nella Banca Dati in possesso del WP3 nella provincia di Bergamo.

Presso la Provincia di Bergamo, è stata visualizzata la grande quantità di materiale presente relativo ai pozzi pubblici e privati: l'ente si occupa delle piccole derivazioni con portata inferiore ai 100 l/s e relativamente a queste, ha acquisito le pratiche del Genio Civile, per un totale di circa 3000 pozzi, di cui circa 1000 con stratigrafia. Sul totale, 500 sono le pratiche più recenti e quindi quelle con qualità e quantità maggiore di dati. Dato che la maggior parte dei pozzi non è provvista di coordinate geografiche, fino ad ora sono stati presi in considerazione solamente quelli ubicati nell'area di pianura e georeferenziati, in totale 1430. Attualmente ne sono stati raccolti 203, tutti in possesso di stratigrafia. Inoltre sono stati recuperati i dati di 13 piccole derivazioni preferenziali di acque sotterranee ad uso potabile, gestite dalla ditta AQUALIS s.p.a., accompagnate da mappe, da cui poter ricavare l'ubicazione geografica. Sono state anche fornite le informazioni relative a 125 pozzi, utilizzati per un'indagine dell'Ussl 33 di Bergamo al fine di valutare lo stato di inquinamento del territorio; il tutto accompagnato dalla relazione del lavoro effettuato, da carte relative all'idrografia, a possibili fonti di inquinamento, a punti di prelievo, alla litogeomorfologia, da una carta idrogeologica con l'ubicazione dei pozzi per poterli georeferenziare e da sezioni idrogeologiche. Parallelamente alla raccolta dati presso la Provincia di Bergamo, attualmente in corso, le informazioni già recuperate vengono ordinate e predisposte all'inserimento nella Banca Dati. Inoltre, se necessario, verrà contattato anche il Consorzio di Bonifica della provincia, perché in possesso di ulteriori dati stratigrafici.

2. Per quanto riguarda la provincia di **Como**, i pozzi, già in possesso del WP3, sono distribuiti esclusivamente nell'area meridionale (Figura 3); è stato perciò

indispensabile provvedere a riempire le zone sprovviste di dati, contattando il Servizio Risorse Territoriali – Escavazione pozzi della Provincia di Como.

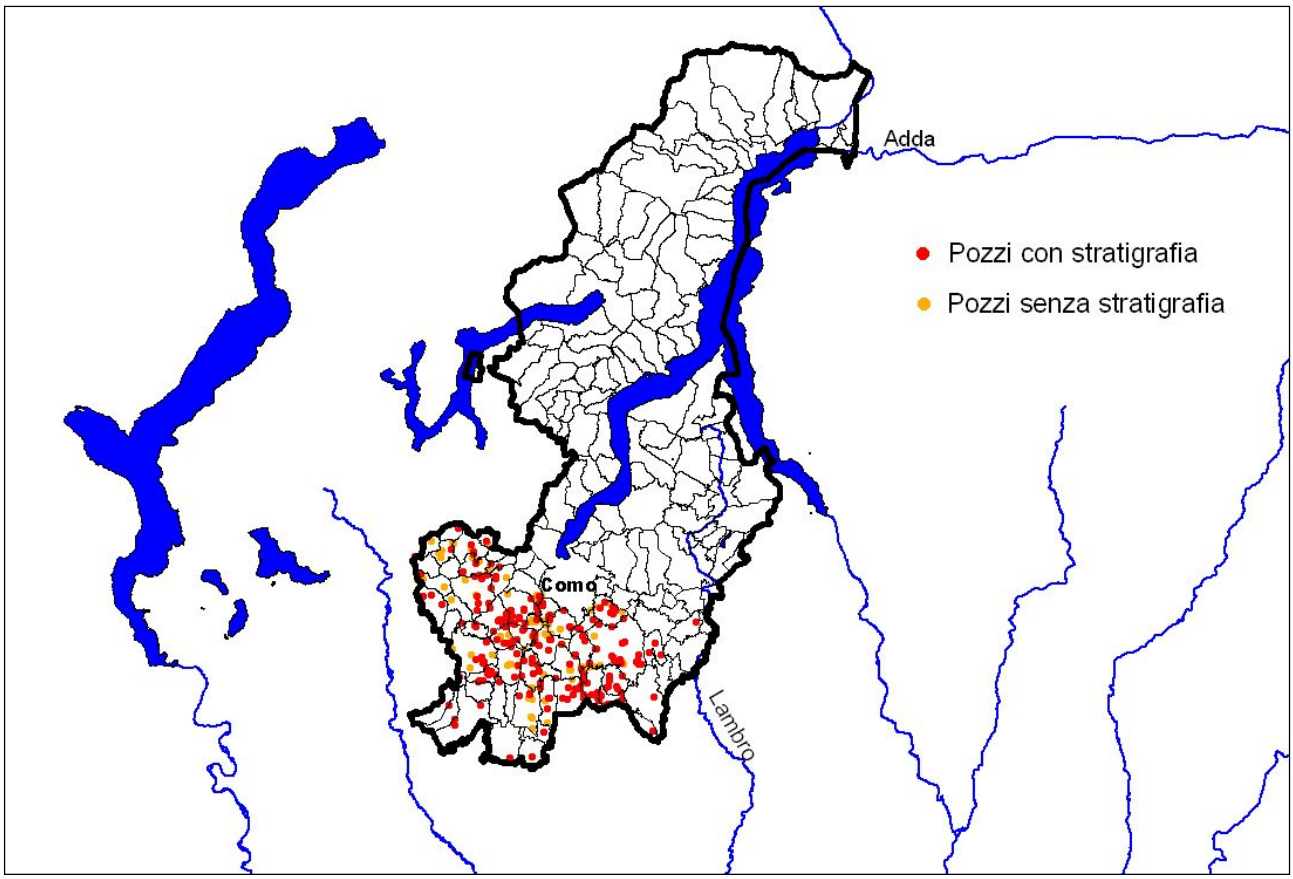


Fig. 3 – Distribuzione dei pozzi già presenti nella Banca Dati in possesso del WP3 nella provincia di Como.

In un incontro preliminare, è stato illustrato il materiale di cui la Provincia dispone, al fine di stabilire quale potesse essere di interesse del presente WP. Le informazioni relative ai pozzi (codice ISTAT di riferimento, ubicazione, posizione dei filtri, livello statico della falda, stratigrafie, portata in concessione e portata massima prelevabile) sono organizzate in un database Access contenente circa 600 pozzi. Tale database è quotidianamente utilizzato per la gestione delle concessioni ed è, quindi, limitato ai soli pozzi in concessione attiva o appena chiusa. Per quanto concerne i pozzi più vecchi si può fare riferimento ad un archivio statico realizzato dal Politecnico di Milano in occasione della stesura dello “Studio idrogeologico della parte meridionale della provincia di Como” (2004) di Francani. Anche in questo caso per ciascun pozzo, identificato da un codice (differente, però, da quello del catasto delle utenze idriche sopra descritto), sono riportati i dati amministrativi e, se esistenti, le stratigrafie. Al fine di ottenere un catasto più esauriente possibile dei pozzi esistenti sul territorio comense, sarà necessario integrare le informazioni già in nostro possesso con quelle estrapolate dagli archivi provinciali, ponendo particolare attenzione all’uniformazione dei codici pozzo adeguandoli a quelli del catasto utenze idriche, così da rendere interfacciabili le due banche dati.
Attualmente è stata attivata la collaborazione con la Provincia e a breve avrà inizio lo scambio dei dati.

3. Per quanto riguarda la provincia di **Lodi**, in Tangram erano già archiviati pochi pozzi, esclusivamente pubblici (172) e nella quasi totalità senza coordinate

geografiche, con densità sul territorio molto bassa, come si può vedere in Figura 4.

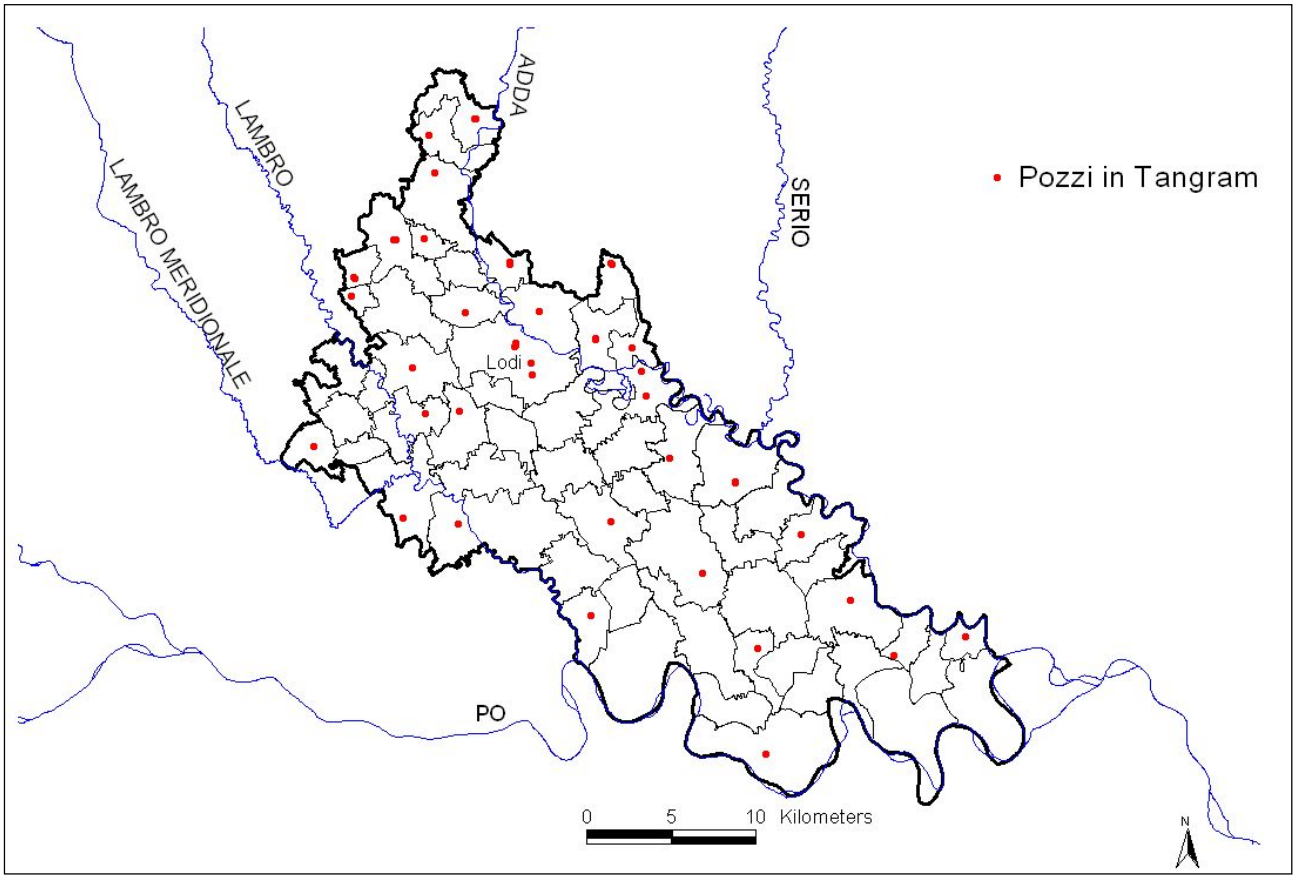


Fig. 4 – Distribuzione dei pozzi (172, di cui solo 47 georeferenziati) già presenti nella Banca Dati in possesso del WP3 nella provincia di Lodi.

Perciò le informazioni relative ai 172 pozzi pubblici, già presenti nel Database, sono state integrate grazie alla collaborazione dell'ARPA Lodi: sono stati aggiornati i dati amministrativi, dove necessario, sono state recuperate le coordinate geografiche, a volte con l'ausilio della Carta Tecnica Regionale, e le stratigrafie, dove mancavano, e sono stati aggiunti i dati dei 46 pozzi non ancora archiviati. Inoltre sono state acquisite ed ordinate tutte le informazioni relative ai pozzi privati, per un totale di 4170 di cui 409 aventi la stratigrafia; di questi ben 926 non sono georeferenziati e non è stato possibile recuperare le coordinate geografiche nemmeno dalla CTR.

E' stato anche recuperato del materiale bibliografico relativo alla geomorfologia e idrogeologia del territorio:

- tesi di laurea di Bravi Pamela (2002), Università degli Studi di Milano, Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, Scienze geologiche, "Geomorfologia, idrogeologia e idrochimica delle acque sotterranee del settore della provincia di Lodi";
- tesi di laurea di Pitaro Saverio (2005), Università degli Studi di Milano, Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, Scienze geologiche, "Caratterizzazione geomorfologia, idrogeologica e idrochimica del settore meridionale della provincia di Lodi";
- tesi di laurea di Guffanti Silvia (2005), Università degli Studi di Pavia, Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, Dipartimento di Scienze della Terra,

"Caratterizzazione idrochimica e geochimica isotopica delle acque di falda della provincia di Lodi con particolare attenzione alle acque profonde";

- tesi di laurea di Viganò Maria Teresa (2004), Università degli studi di Milano, Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, Scienze Geologiche, "Caratterizzazione geomorfologia, idrogeologica e idrochimica del settore centrale della provincia di Lodi. Analisi di instabilità delle sponde del fiume Adda".
  Riassumendo, è stata terminata la raccolta dati presso l'ARPA di Lodi ed è in corso l'inserimento e la codifica delle informazioni fornite relativamente ai pozzi pubblici; in una fase immediatamente successiva, ci si occuperà anche dell'archiviazione dei dati connessi ai pozzi privati.

4. Per quanto riguarda la provincia di **Cremona**, la fonte di dati a cui far riferimento è il sito web, www.atlanteambientale.it, gestito dalla provincia, in cui sono riportate e possono essere scaricate le informazioni relative ai pozzi situati sul territorio e, dove presenti, le relative stratigrafie; i pozzi sono anche georeferenziati e visualizzabili su una mappa.

Per quanto riguarda le province di Pavia, Varese e Lecco sono stati contattati gli enti citati in Tabella 2, ma, attualmente, non sono ancora state avviate collaborazioni con essi.

2.1.2. Metodologia utilizzata per l'archiviazione

Una volta terminata la fase di raccolta dati, tutte quelle informazioni già ordinate e organizzate sono state inserite nel Database in possesso del WP3. Come accennato in precedenza, il software utilizzato è Tangram, una Banca Dati Idrogeologica per pozzi messa a punto presso il Centro Studi per la geodinamica Alpina e Quaternaria del CNR di Milano [2], in cui possono essere inseriti dati amministrativi, caratteristiche costruttive, misure piezometriche, prove idrauliche e codifica delle stratigrafie; in sintesi, consente l'archiviazione di dati georeferenziati riferiti ai pozzi, la loro estrazione e la restituzione grafica dell'informazione stratigrafica.

I dati riferiti a ogni singolo pozzo vengono caricati dal programma una sola volta e con codifica univoca, un codice numerico di 10 caratteri; di seguito ne è riportato un esempio:
015 = codice ISTAT della provincia (Milano), 002 = codice ISTAT del comune (Abbiategrasso), 0001 = numero progressivo del pozzo (Pozzo n°0001).
Gli attributi relativi a ciascun pozzo vengono archiviati tramite l'uso di moduli di inserimento:

1. dati amministrativi (Figura 5), tutti quegli elementi ricavabili, che consentono non solo di identificare il pozzo, ma anche di ubicarlo e di caratterizzarlo all'interno del territorio e nei suoi aspetti tipicamente gestionali (ubicazione, proprietario e utente, quota, profondità, Longitudine e Latitudine, tipo di scavo, tipologia pubblico/privato, categoria d'uso e presenza/assenza del dato stratigrafico);

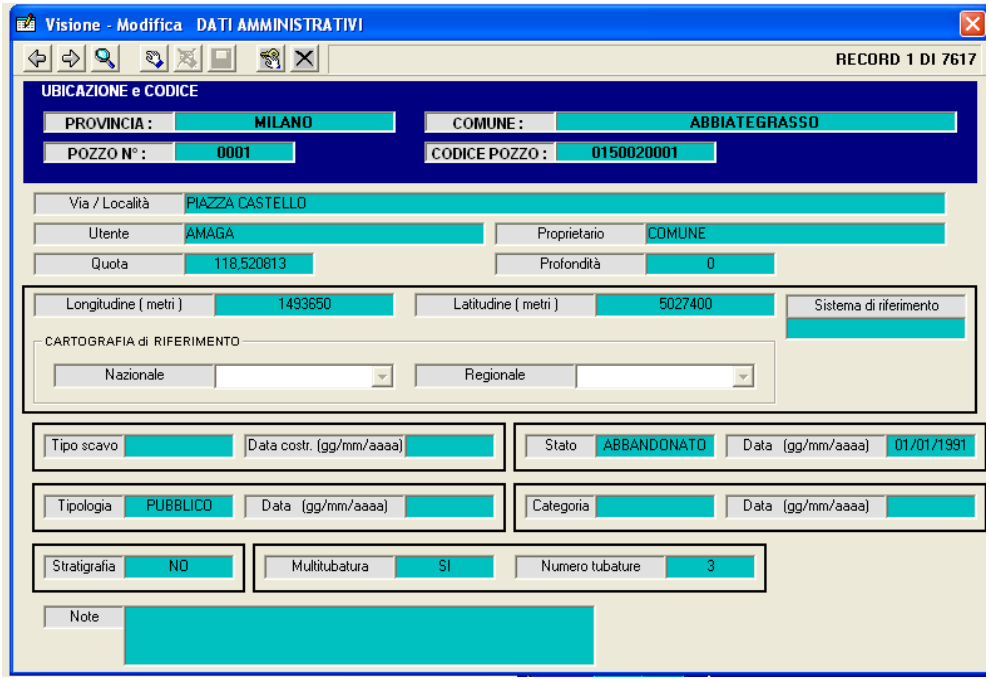


Fig. 5 – Finestra di inserimento dei dati amministrativi

2. caratteristiche costruttive, informazioni relative a diametri e profondità progressive di perforazione, diametri delle tubature finali inserite, diametri e profondità dei filtri utilizzati, lunghezza, larghezza e profondità dell'avampozzo, profondità delle cementazioni e delle impermeabilizzazioni, tipo e caratteristiche delle pompe installate;
3. misure piezometriche (Figura 6), data di rilevazione e profondità osservata (m) della falda; in funzione della quota del pozzo inserita nei dati amministrativi, il programma è in grado di calcolare la quota della falda;

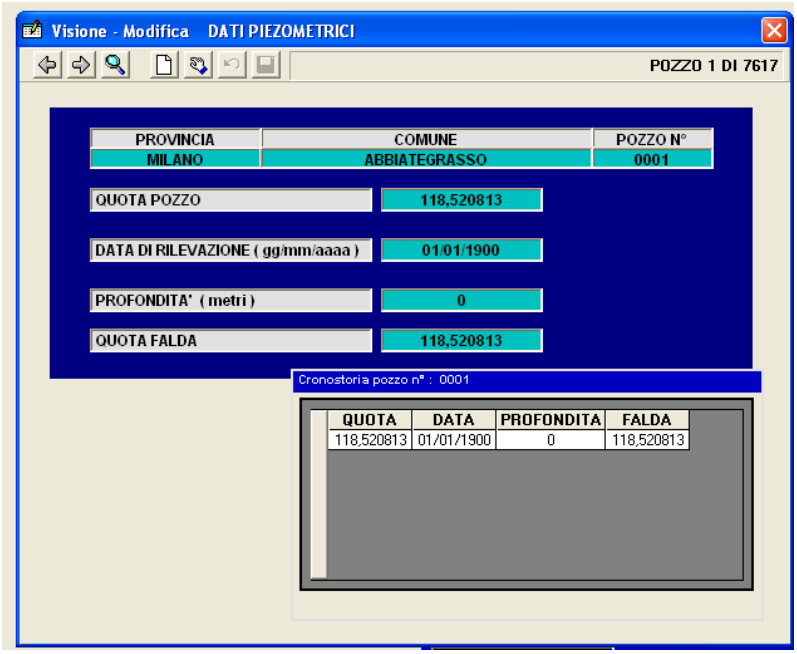


Fig. 6 – Finestra di inserimento dei dati piezometrici

4. prove idrauliche (Figura 7), data di esecuzione della prova, il livello statico (m), il livello dinamico (m) e la portata (l/s); in base ai dati inseriti, il programma calcola la portata specifica, in l/s*m.

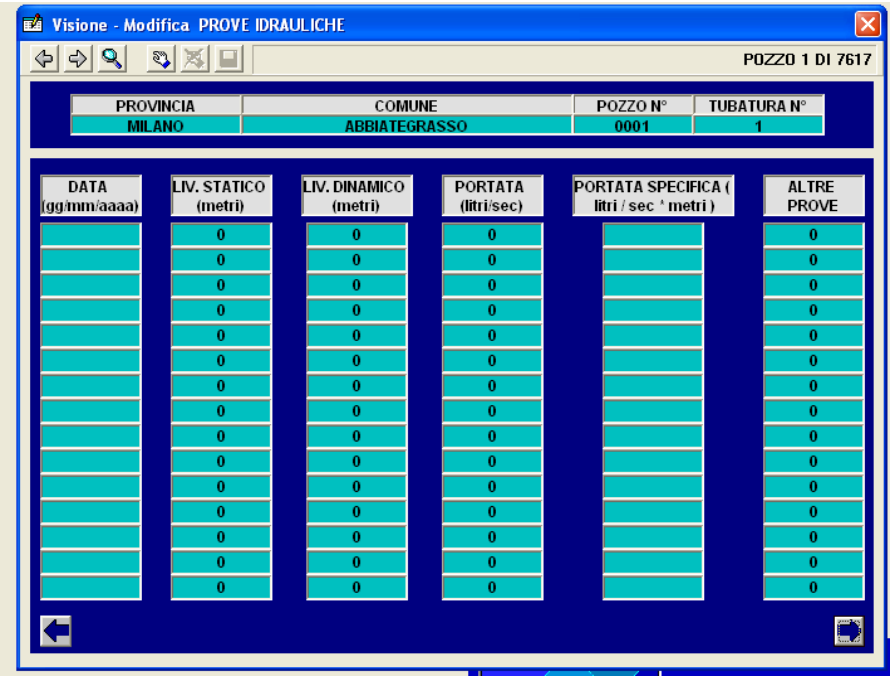


Fig. 7 – Finestra di inserimento dei dati relativi alle prove idrauliche

Il modulo di inserimento dei dati stratigrafici (Figura 8) ricopre un ruolo centrale nel programma: l'obiettivo primario è quello di consentire un'archiviazione delle stratigrafie sulla base di un'opportuna codifica, che permetta poi una rielaborazione dei dati georeferenziati, andando oltre i limiti inevitabilmente insiti in un testo che si presenta unicamente come descrittivo degli intervalli tessiturali e delle relative profondità. In particolare le informazioni stratigrafiche vengono trasformate in codici alfa-numerici a 8 caratteri, di cui i primi 4 riferiti al litotipo predominante e gli altri 4 al litotipo presente in percentuale minore. In entrambi i casi è prevista l'identificazione del litotipo attraverso un sostantivo (argilla, ghiaia, sabbia,…), un aggettivo (limoso, argilloso,…), uno stato (compatto, alterato,…) e un colore (giallo, rossiccio,…). All'interno di Tangram è già presente un archivio secondario comprendente i termini da utilizzare e i codici ad essi associati.

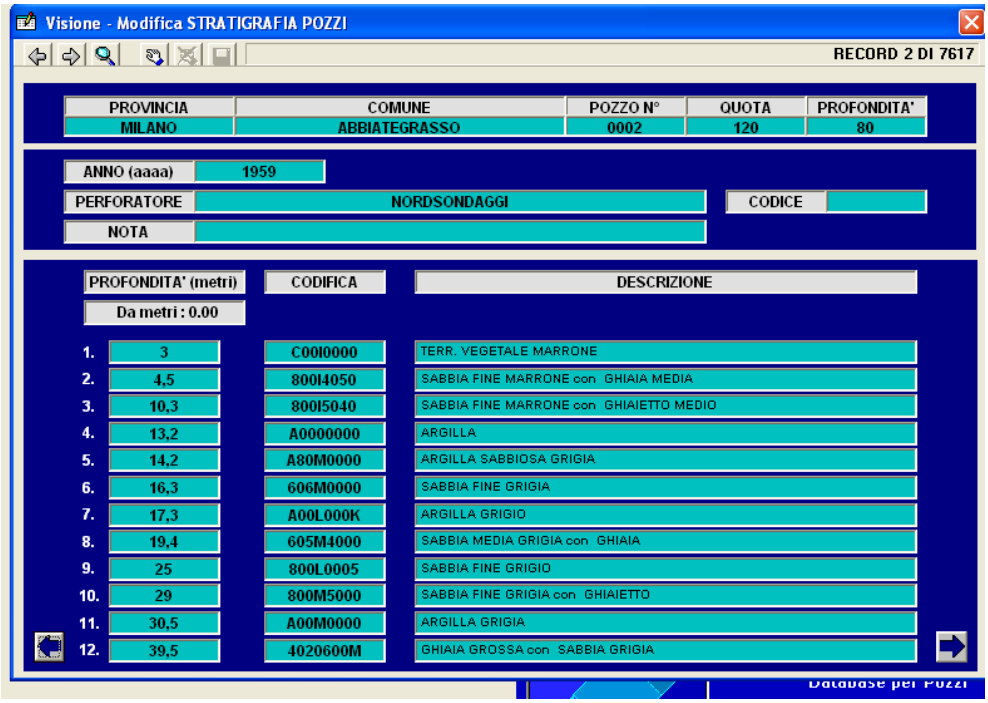


Figura 8 – Finestra di inserimento delle stratigrafie

L’ordine con cui vengono inseriti i singoli elementi del codice è molto importante, perché le posizioni 1/2 e 5/6, indicanti le caratteristiche tessiturali, hanno un peso percentuale secondo il seguente schema (Tabella 3):

	PESO 1 %	PESO 2 %	PESO 3 %	PESO 4 %
Caso 1 (xooo)	100	0	0	0
Caso 2 (xoox)	95	0	0	5
Caso 3 (xoxo)	60	0	40	0
Caso 4 (xoxx)	60	0	35	5
Caso 5 (xxoo)	70	30	0	0
Caso 6 (xxox)	70	25	0	5
Caso 7 (xxxo)	50	25	25	0
Caso 8 (xxxx)	50	25	20	5

Tab. 3 – Impostazioni dei pesi percentuali relativi alle tessiture

E’ anche possibile una visualizzazione grafica della colonna stratigrafica del pozzo inserito e la relativa stampa: nella maschera relativa vengono visualizzate la quota sul livello del mare e la profondità in metri dei diversi intervalli, i principali dati amministrativi e ovviamente i codici stratigrafici (Figura 9).

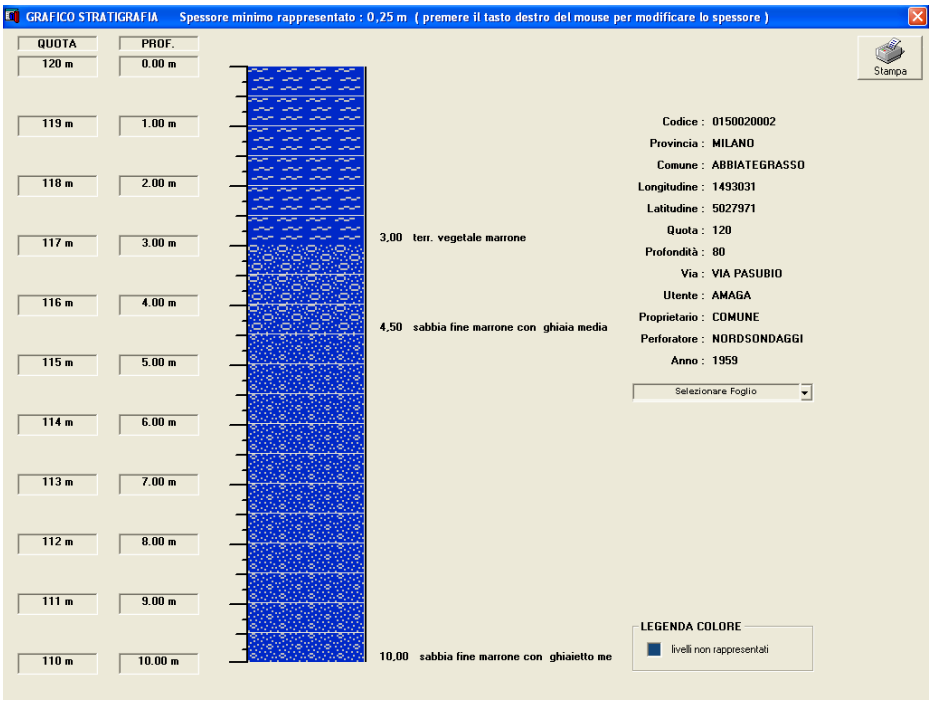


Fig. 9 – Esempio di visualizzazione di una stratigrafia

Le informazioni stratigrafiche così codificate possono essere successivamente estratte: l’obiettivo è quello di individuare le percentuali che possono essere ricondotte alle varie tessiture, entro un certo intervallo di profondità e in riferimento ai pozzi che ricadono nell’area selezionata sulla base di criteri territoriali (Figure 10, 11 e 12).

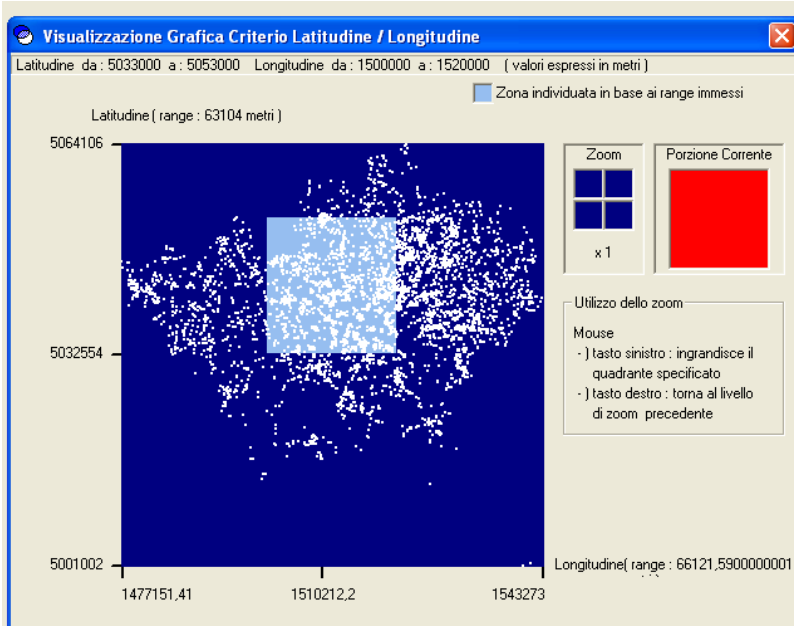


Figura 10 – Finestra di estrazione dati: distribuzione geografica (area d'indagine)

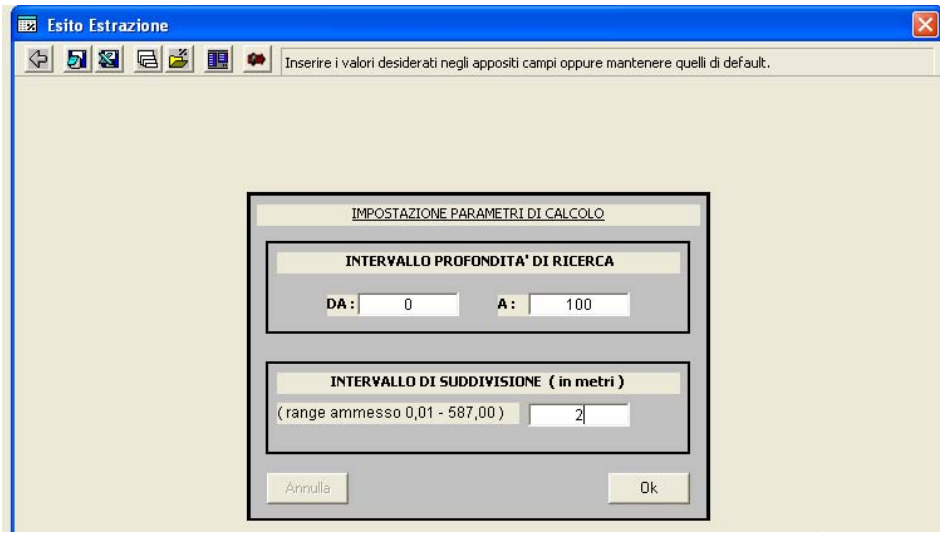


Figura 11 – Finestra di estrazione dati: intervallo di profondità

Fig. 12 – Finestra di estrazione dati: tipologie degli elementi da estrarre

2.1.3. Archiviazione dati

In questa fase del lavoro è stata avviata l'integrazione della Banca Dati già esistente con le informazioni fornite dagli Enti esterni contattati, in particolare, introducendo i dati della Rete di Monitoraggio Quantitativo di ARPA Lombardia e aggiungendo i dati relativi ai pozzi pubblici di Lodi, forniti dall'ARPA Lodi.

Il WP3, come detto prima, era già in possesso di una Banca Dati Idrogeologica per pozzi (Tangram); all'interno di tale Banca Dati erano già presenti, in maniera più o meno completa, i database di alcune province lombarde, quali quella di Bergamo (circa 1300), Brescia (circa 1090), Como (circa 350), Lecco (circa 20), Lodi (circa 150), Milano (circa 7500), Pavia (circa 100) e Varese (circa 70).

Per quanto riguarda la Rete di Monitoraggio Quantitativo, durante la fase di inserimento dati, ci si è accorti che alcuni pozzi, erano stati archiviati in precedenza, con un'altra provenienza, per quelle province di cui esisteva già il database. In questi casi, dove necessario e possibile, sono stati aggiunti i dati mancanti, altrimenti sono stati riportati solamente i codici ACQUAGEST, identificativi della Rete di Monitoraggio Quantitativo. Per le province di Cremona, Mantova e Sondrio, al contrario, è stato necessario creare tre nuovi archivi, che attualmente raccolgono solo le informazioni fornite dall'ARPA, relative alla Rete di Monitoraggio Quantitativo.

Per quanto riguarda la provincia di Lodi, oltre all'aggiornamento dei 172 pozzi pubblici già presenti nella Banca Dati, ne sono stati inseriti 46 acquisiti durante la raccolta dati, per un totale di 218 pozzi pubblici, di cui 208 posseggono la stratigrafia, ordinati secondo il codice assegnato loro dall'ARPA Lodi; di questi, 19 sono privi di coordinate geografiche.

Riassumendo, i pozzi archiviati in Tangram, in base alle province, sono così suddivisi (Tabella 4):

PROVINCIA	Pozzi Pubblici	Pozzi Privati	TOTALE	Pozzi georeferenziati	Pozzi con stratigrafia	Pozzi georeferenziati con stratigrafia
BERGAMO	199	1176	1375	873	297	264
BRESCIA	426	672	1098	395	841	331
CREMONA	30	0	30	30	29	29
COMO	167	213	380	360	246	242
LECCO	26	1	27	27	23	23
LODI	218	0	218	199	208	191
MANTOVA	7	23	30	29	8	8
MILANO	2106	5511	7617	5607	3772	3556
PAVIA	83	47	130	102	127	99
SONDRIO	5	2	7	7	6	6
VARESE	30	58	88	49	61	43
TOTALE	**3297**	**7703**	**11000**	**7678**	**5618**	**4792**

Tab. 4- Suddivisione dei pozzi archiviati tramite Tangram in seguito all'integrazione con i dati della Rete di Monitoraggio

In Figura 13 è visualizzata la distribuzione dei pozzi georeferenziati inseriti in Tangram, mentre in Figura 14 è riportata la distribuzione dei pozzi georeferenziati con stratigrafia.

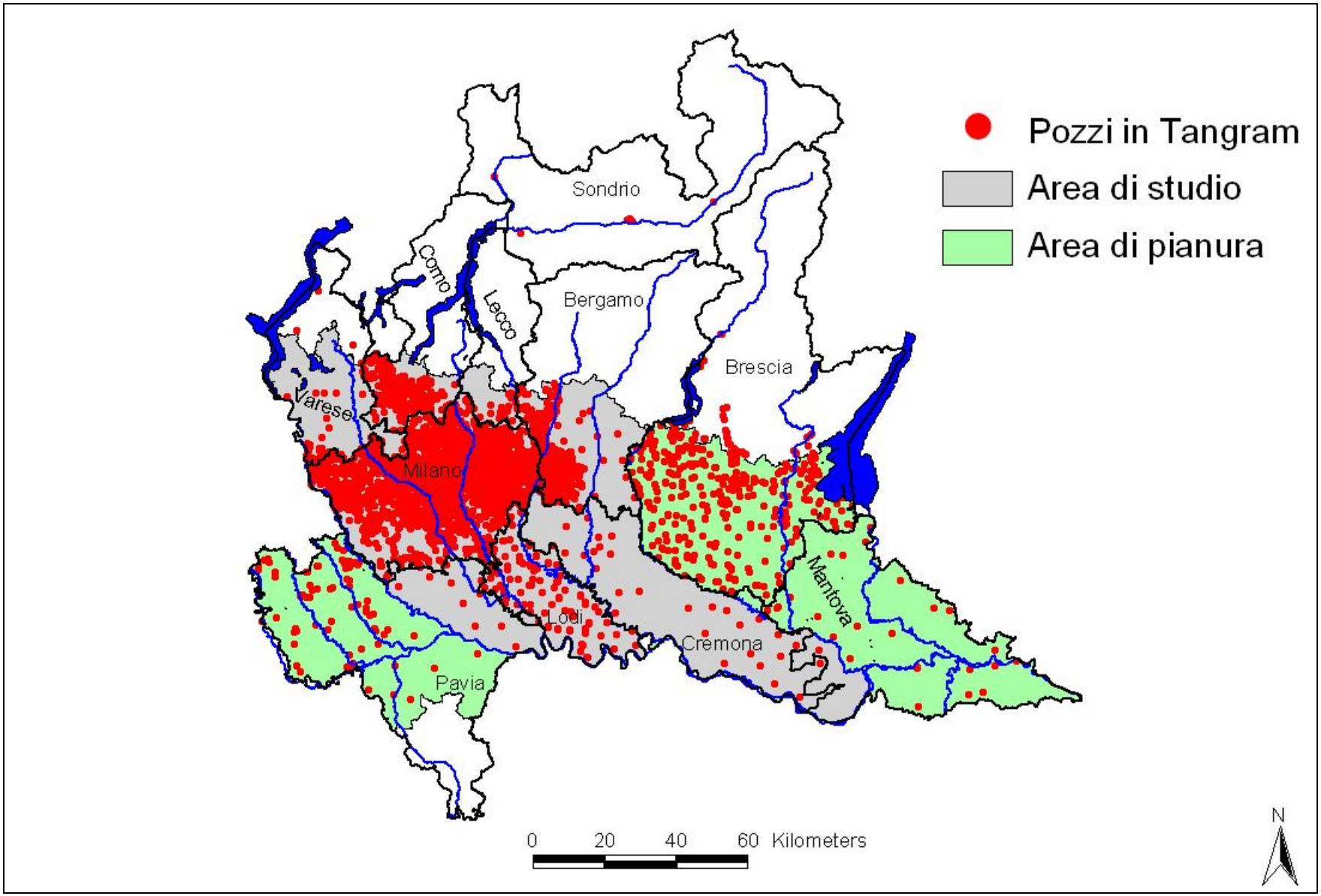


Fig. 13 - Distribuzione dei pozzi georeferenziati inseriti (7678) nella Banca Dati

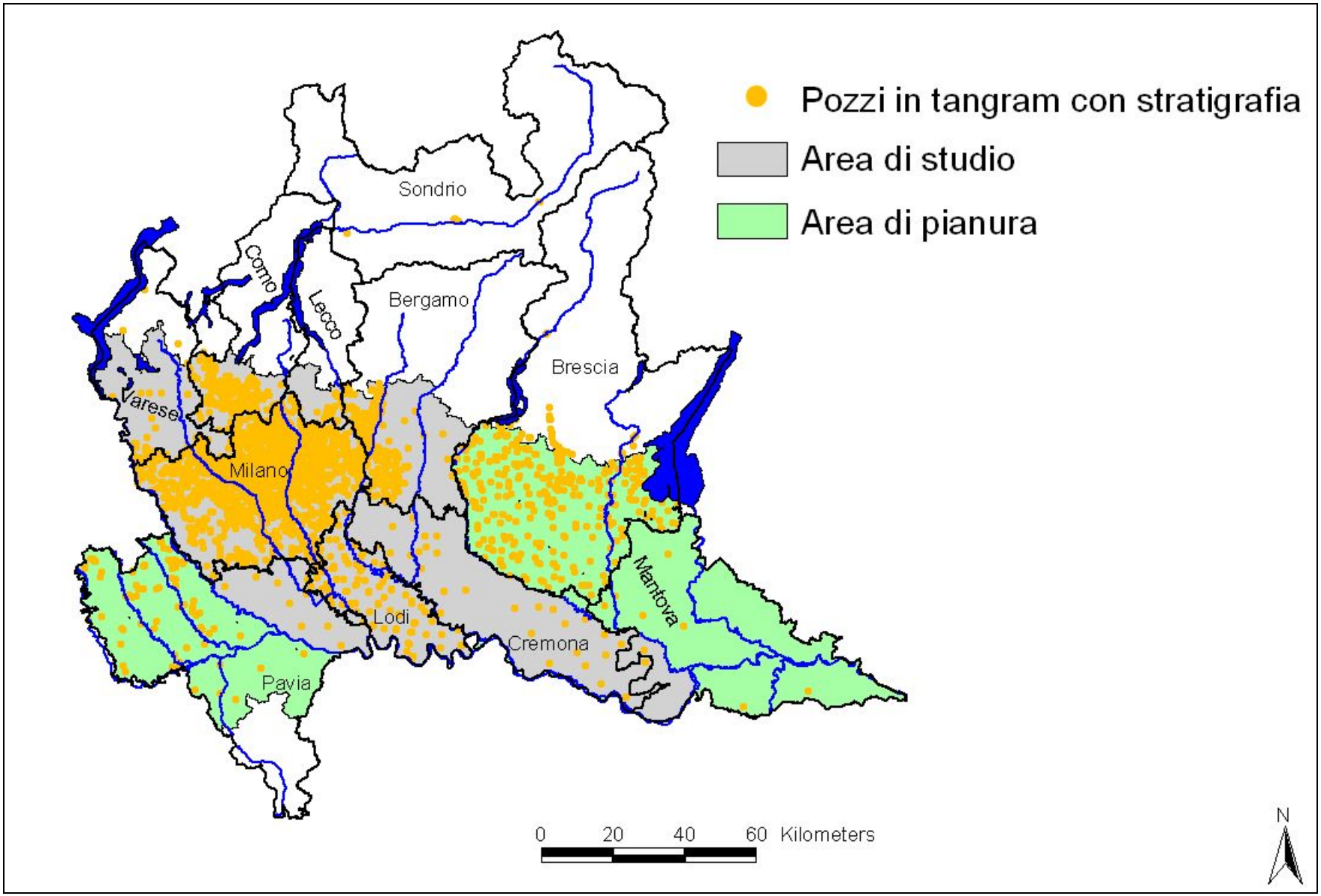


Fig. 14 – Pozzi georeferenziati con stratigrafia (4792) inseriti nella Banca Dati

2.1.4. Future elaborazioni stratigrafiche tridimensionali

Uno dei fini prefissati da questo gruppo di lavoro è l'integrazione della Banca Dati: sarà importante completare la raccolta e l'archiviazione delle informazioni relative ai pozzi appartenenti al territorio lombardo, in particolare, a quelli ubicati nell'area di studio, ossia il bacino compreso tra il fiume Ticino e il fiume Oglio. L'attenzione è rivolta unicamente ai pozzi provvisti di georeferenziazione e stratigrafia, e si sta cercando di raccoglierne un numero sufficiente da ottenere una copertura uniforme e rappresentativa dell'area di indagine; lo scopo finale è quello di quantificare in dettaglio la struttura idrogeologica dell'area in oggetto di studio e di predisporre quindi dati di ingresso nei modelli particolareggiati, al fine di simulare scenari multipli sempre più realistici. Uno degli sviluppi previsti consiste nella ricostruzione delle caratteristiche tessiturali del sottosuolo nell'area d'indagine: tramite uno specifico software di calcolo, Gocad, in grado di rappresentare in tre dimensioni sistemi geologici anche molto complessi [8], è possibile riprodurre la distribuzione percentuale delle principali tessiture nel sottosuolo [3]. Le informazioni stratigrafiche archiviate vengono estratte dalla Banca Dati in termini percentuali, selezionando l'area d'indagine e l'intervallo di profondità da indagare (secondo la procedura esplicata nel paragrafo 2.1.2). Successivamente, all'interno di una griglia tridimensionale di calcolo, costruita in base alle geometrie di riferimento del sistema idrogeologico (per es., superficie topografica e base degli acquiferi), le tessiture percentuali vengono elaborate, attraverso il metodo di interpolazione Kriging, ottenendo così delle mappe in grado di rappresentare l'andamento spaziale delle principali tessiture e della permeabilità del sottosuolo[4]. Dall'analisi di queste carte, si potrà individuare la presenza o meno di determinati trend deposizionali, la variazione dello spessore degli acquiferi, e si potrà identificare, in linea generale, quali aree potrebbero rivelarsi vulnerabili, ossia a rischio di inquinamento.

2.2. Dati piezometrici

Le misure piezometriche consentono la ricostruzione e l'analisi spazio-temporale dell'andamento della falda nel tempo e in relazione ai regimi pluviometrici. In tale ambito di analisi si è deciso di operare a due differenti scale di indagine, quella regionale, per creare una carta piezometrica regionale, ed una di maggior dettalio, all'interno dell'area compresa tra Ticino e Oglio, per un'analisi dettagliata delle relazioni tra andamento della falda e regimi pluviometrici, nonché il calcolo del bilancio idrico. Poiché il presente gruppo di lavoro non disponeva di dati di livello piezometrico se non nella province di Milano e Lodi, è stato avviata, anche in questo caso, una fase di raccolta dati.

2.2.1. Raccolta dati

Il WP3 dispone dei dati piezometrici della Rete di Monitoraggio delle Acque Sotterranee della provincia di Milano. La copertura spaziale è limitata al territorio delle province di Milano e Lodi, ma la densità dei punti di misura è elevata, con circa 145 pozzi distribuiti in modo uniforme su tutta la provincia. La Rete di Monitoraggio Provinciale è attiva dal 1979 e, di conseguenza, si dispone, ormai, di più di un ventennio di dati che sono raccolti nel Sistema Informativo Falda, una banca dati per le acque sotterranee consultabile liberamente on-line dal sito della provincia di Milano [7]. In Figura 15 è visualizzata la distribuzione dei pozzi di tale Rete di Monitoraggio.

Dal momento che l'area indagata nel presente progetto di ricerca è più ampia di quella monitorata dalla rete della provincia di Milano, è stato necessario cercare ulteriori dati presso altri enti. L' U.O. Acque Profonde dell'ARPA Lombardia, diretta dal Dott. P. Jean, ha messo a disposizione i livelli piezometrici mensili in m s.l.m. registrati dai 250 pozzi della Rete Regionale di Monitoraggio Quantitativo delle Acque Sotterranee dall'anno 2001 al 2004. Tali pozzi possono essere suddivisivi in funzione della falda da cui proviene l'acqua che captano (Tabella. 5). Le falde interessate dal monitoraggio, secondo la suddivisione tradizionale degli acquiferi, risultano essere quelle principali presenti nella pianura lombarda ovvero, le falde 1 e 2 più superficiali e costituenti nel loro complesso il cosiddetto acquifero tradizionale e la falda 3 o falda profonda. La maggior parte dei pozzi prelevano da un singolo gruppo acquifero, ma esistono anche pozzi multifiltro che captano contemporaneamente da più falde, nonché pozzi di cui non è attualmente nota la provenienza delle acque captate (Figura. 15).

n. TOT. POZZI	n. pozzi FALDA 1	n. pozzi FALDA 2	n. pozzi FALDA 3	n. pozzi FALDA MISTA o NON ATTRIBUITA
255	76	91	67	21

Tab. 5 – Suddivisione in base alla falda captata dei pozzi della Rete Regionale di Monitoraggio Quantitativo delle Acque Sotterranee gestita da ARPA**.**

I pozzi costituenti la Rete di Monitoraggio, istituita nel 2001, sono distribuiti sull'intera pianura lombarda ed erano stati scelti sulla base di un criterio puramente geometrico che non teneva conto della struttura idrogeologica del sottosuolo lombardo. Nel corso del 2006 è stato avviato da ARPA il processo di ridefinizione della Rete di Monitoraggio quali-quantitativo dei corpi idrici sotterranei al fine di rendere la rete più rappresentativa delle caratteristiche degli acquiferi e della loro evoluzione temporale. La rete sarà costituita da 350 punti di monitoraggio di cui il 50-60% relativo al primo acquifero, il 30% al secondo e la restante parte al terzo acquifero [1]. Si attende, quindi, la conclusione del progetto per aggiornare le informazioni già in nostro possesso per conoscere quali pozzi faranno parte della rete e la falda da essi captata e per acquisire i dati relativi al monitoraggio 2005.

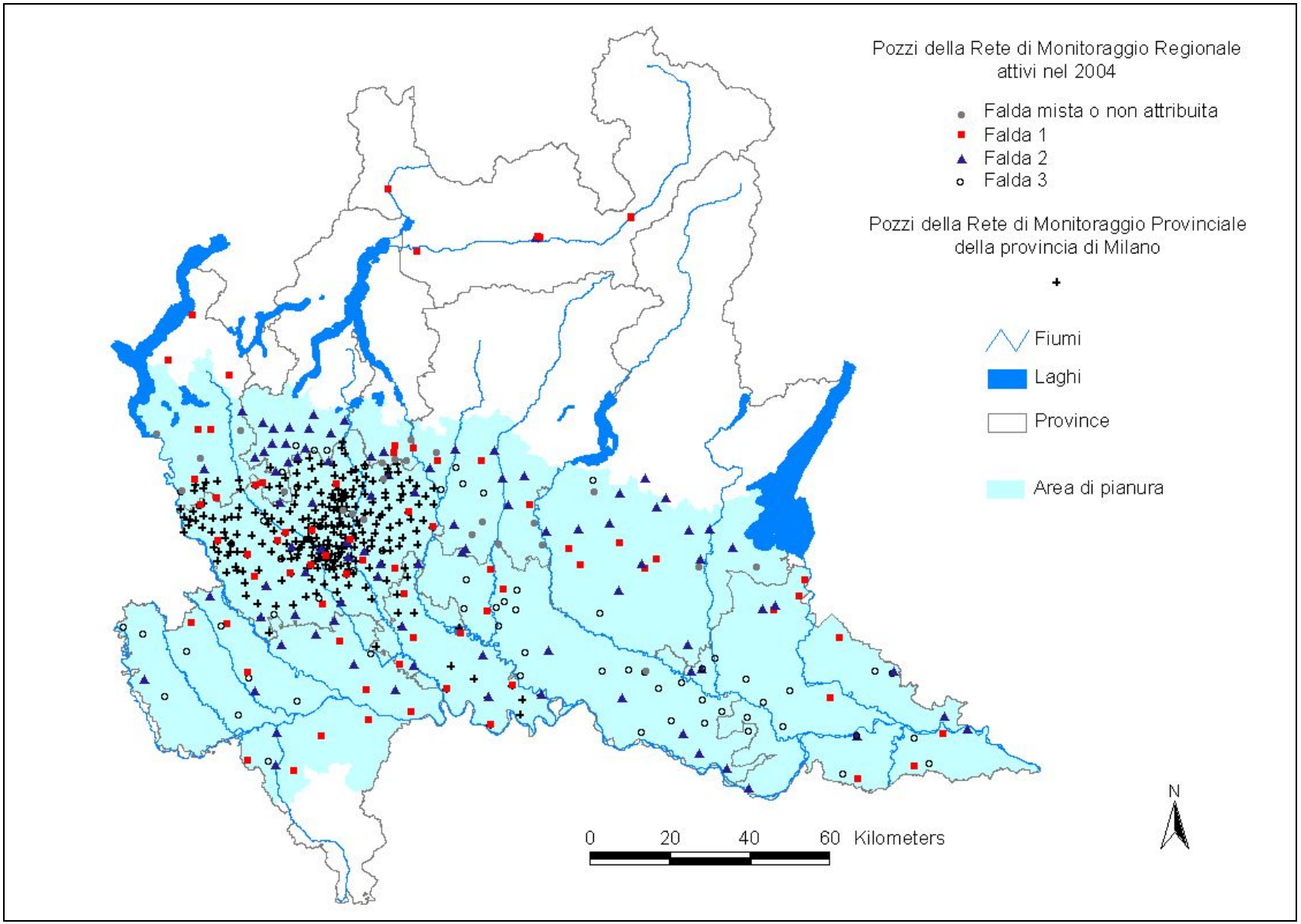


Fig. 15 – Pozzi della Rete Regionale di Monitoraggio Quantitativo delle Acque Sotterranee gestita da ARPA Lombardia e Rete di Monitoraggio della provincia di MilanoAnche dal punto di vista dei livelli piezometrici, la raccolta dati si è poi concentrata sui singoli dipartimenti provinciali dell'ARPA e sulle Province.

Il dipartimento provinciale dell'ARPA di Lodi integra i dati della Rete del Sistema Informativo Falda delle province di Milano e Lodi con misure trimestrali in pozzi aggiuntivi direttamente gestiti da esso e dispone, inoltre, di una serie di misure relative a campagne di monitoraggio dettagliato a scala provinciale effettuate negli anni passati. Con tale dipartimento è stata avviata una collaborazione tale per cui questi dati verranno da loro forniti, al termine del processo di riquotatura pozzi, al nostro gruppo di ricerca che provvederà a restituirli organizzati ed associati a pozzi e relative stratigrafie all'interno del database Tangram.

Per quanto riguarda la provincia di Bergamo, l'amministrazione provinciale non dispone di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee, ma si è resa disponibile a metterci in contatto con alcuni enti che operano sul territorio che potrebbero disporre di misure piezometriche, quali ad esempio, i consorzi di bonifica, irrigui e gli enti gestori degli acquedotti.

Per quanto riguarda la provincia di Como, l'amministrazione provinciale non dispone di una rete di monitoraggio propria, ma fa riferimento a quella di ARPA Lombardia. Si è comunque resa disponibile a fornire alcune misure piezometriche effettuate negli anni passati in occasione di studi specifici sul territorio comense.

Per quanto riguarda le rimanenti province, non si hanno informazioni relativamente all'esistenza o meno di reti piezometriche a integrazione della rete ARPA.

2.2.2. Analisi preliminari

L'analisi dell'andamento dei livelli piezometrici può essere di tipo puntuale, con l'analisi di lunghe serie storiche in punti caratteristici dell'area di studio, oppure spaziale previa elaborazione dei dati mediante tecniche geostatistiche.

Per quanto concerne il primo approccio, è importante sottolineare, sulla base di quanto si può rilevare dai dati della provincia di Milano, in cui si ha una falda non confinata in depositi di tipo glaciale e fluvio-glaciale, che il comportamento del livello piezometrico è funzione del punto di rilievo delle misure. In Figura 16 sono evidenziati i tre principali andamenti riscontrabili relativi ad aree urbane, aree agricole e aree naturali non coltivate: nel primo caso, è evidente il pesante abbassamento della falda verificatosi dagli anni 60 in poi dovuto all'aumento della richiesta idrica per scopi industriali e domestici, nel secondo caso prevalgono i ciclici innalzamenti della falda legati alle irrigazioni mentre in aree naturali il livello piezometrico è legato unicamente ai regimi pluviometrici.

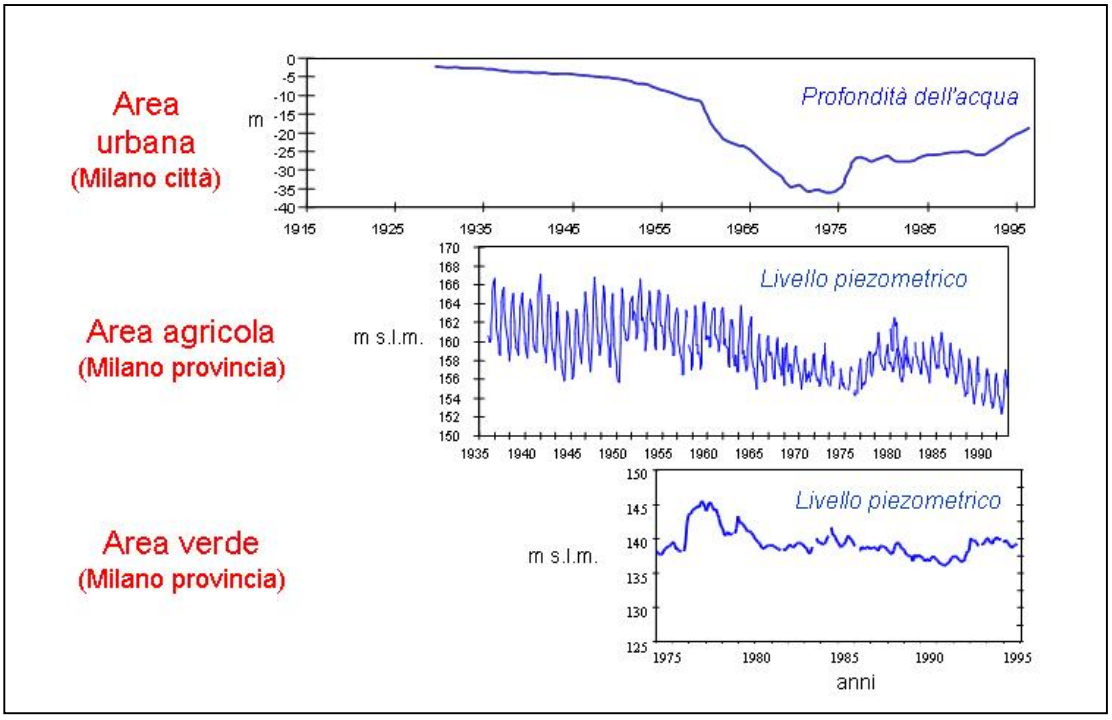


Fig. 16 – Andamenti della falda in differenti aree della provincia di Milano

Tali andamenti temporali possono, inoltre, essere messi a confronto con le pluviometrie per individuare eventuali correlazioni come mostrato in Figura 17 (tratta da un lavoro di Cavallin A. e Bonomi T. del 1996 [5]) in cui, l'andamento della falda in un'area naturale è messo a confronto con la serie pluviometrica della stazione di Milano Brera. E' evidente che la crescita del livello piezometrico negli anni 1975-1979 è strettamente correlato agli eventi meteorologici del 1976 con piogge del 30% superiori alla media annuale [6].

Fig. 17 – Livello Piezometrico in area naturale (in blu) a confronto con l'andamento delle piogge (in verde) nella stazione di Milano Brera.

Per analisi di questo tipo, sono, quindi, necessarie lunghe serie storiche, attualmente disponibili solo per le province di Milano e Lodi nelle quali si potrà svolgere analisi più approfondite; dal punto di vista spaziale, è, viceversa, necessario disporre di un'omogenea e sufficientemente densa rete di punti di misura di cui interpolare i dati. A tal proposito, si è voluto provare ad elaborare alcuni dati provenienti dalla Rete di Monitoraggio regionale gestita da ARPA e relativi all'acquifero più superficiale o acquifero A. In Figura 18 è riportato il risultato di tale elaborazione relativa all'anno 2004. E' subito evidente che l'elaborazione svolta, è affetta da errore in quanto non tiene in alcun conto il reticolo idrografico superficiale e il livello dei corsi d'acqua.

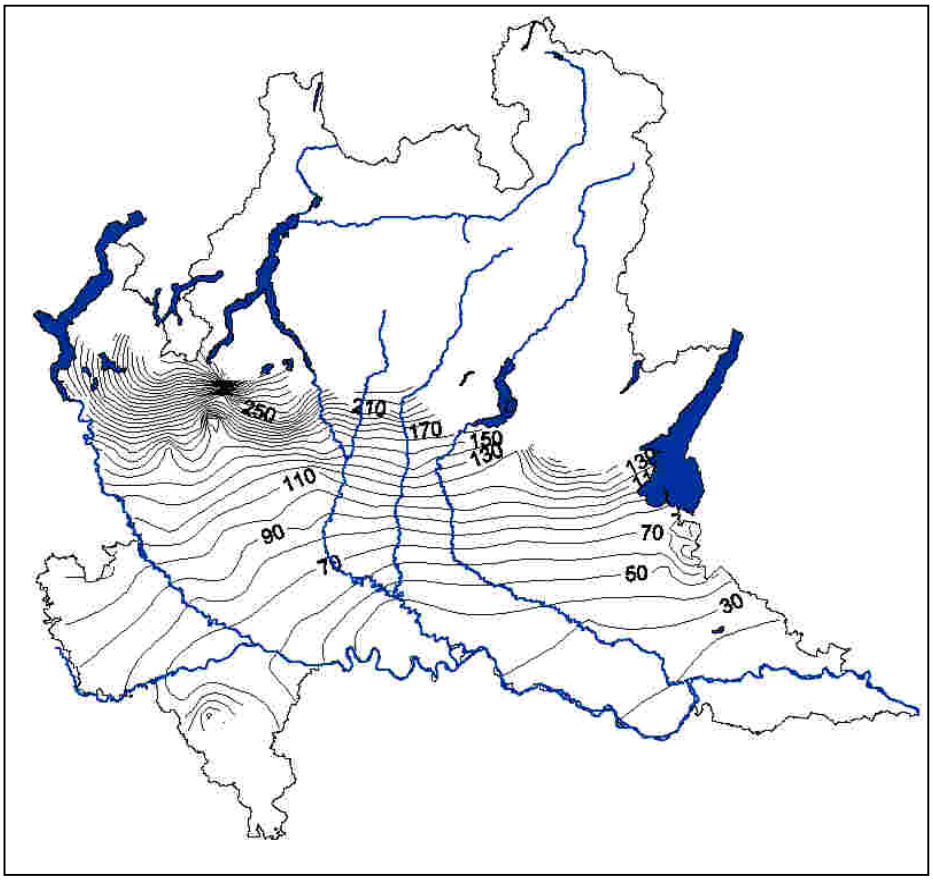


Fig. 18 – Prova di elaborazione di una carta piezometrica della pianura lombarda a partire dai dati 2004 della Rete di Monitoraggio regionale gestita da ARPA

2.3. Dati idrometrici

Per comparare gli andamenti storici dei livelli piezometrici con quelli dei corsi d'acqua e per elaborare una carta piezometrica che tenga conto del livello dei fiumi e, quindi, maggiormente conforme alla realtà si è resa necessaria la raccolta di dati idrometrici di cui il presente WP non era in possesso.

2.3.1. Raccolta dati

Per quanto concerne i dati relativi ai livelli dei fiumi bisogna distinguere tra dati provenienti da strumenti manuali (aste graduate) e meccanici (idrometri registratori), che

forniscono, rispettivamente, idrometrie ed idrometrografie, e dati provenienti da strumenti automatici.

Le idrometrie e le idrometrografie sono conservate, così come tutti i dati cartacei meteo-climatici e gli annali idrologici, presso l'archivio dell'U.O. Idrografia dell'ARPA Lombardia di Via Confalonieri a Milano dove è confluito il materiale dell'ex ufficio idrografico del Po. I dati idrometrici sono stati pubblicati su annale (Ufficio Idrografico di Parma, parte seconda) solo fino al 1987 e solo in parte sono stati trascritti in formato digitale e inseriti all'interno di un banca dati (Wingadi) gestita da ARPA. Nelle stazioni idrometriche manuali il livello idrometrico è acquisito, mediante lettura da parte dell'operatore dell'asta graduata, con frequenza giornaliera mentre gli idrometri registratori producono un grafico continuo di tale livello. Entrambe le tipologie di stazioni fornisco dati storici a partire, in alcuni casi, anche dai primi decenni del '900, ma non tutte sono ancora attive.

La rete di idrometri automatici, invece, è stata istituita nel 1998. Il numero di punti di misura è più elevato e copre in modo più uniforme il territorio regionale. Per ciascuna stazione si hanno dati recenti, aggiornati con continuità e in tempo reale con frequenza anche inferiore ai 30 minuti. Tali dati sono raccolti in un database aggiornato in tempo reale (Poliremo-Giano), gestito dall'U.O. Idrografia dell'ARPA Lombardia, da cui possono essere estratti aggregandoli secondo l'intervallo temporale prescelto. Le stazioni automatiche sono di proprietà di diversi enti, ma fanno parte di una rete interregionale i cui dati sono visibili da tutti i proprietari.

Gli idrometri manuali e meccanici sono considerati per il dato storico. In particolare, ai fini del progetto, interessano i dati dal 1979 ad oggi delle stazioni situate sui corsi d'acqua naturali della pianura lombarda tra Ticino e Oglio. In Tabella 6 è riportato l'elenco delle 20 stazioni selezionate e la relativa consistenza dei dati.

STAZIONI Meccaniche/Manuali	Idrometrografie	Idrometrie	Annali	Wingadi	PTUA
Adda a Lavello	1944-1998	1911-2004	1980-1987	1986-1993/2003	1992
Becca		1983	1979-1987		1992-1997
Boccaserio	1958-1996		1979/1982-1985		
Borgoforte			1984-1987	1992-1996	1992-1996
Casalmaggiore	1986-1991		1979-1987	1992-1995	1992-1997
Caslino d'Erba		1926-1996	1979-1987	1986-1994	1992-1994
Cremona		1931-1957	1979-1987		1992-1997
Lambro a Parco Feltre	1960-1999		1984-1987	1986-1995	1992-1995
Lodi	1977-1998	1901-1978	1983-1987	1992-1995	1992-1994
Marcarla	1923-1997	1911-1994	1979-1985		
Miorina			1980/1982-1985		1992
Pizzighettone	1923-1994	1911-1982	1979/1980-1982		1992-1994
Ponte Briolo	1938-1998	1911-1998	1979-1987	1980-1995	1992-1995
Ponte Cene	1927-1998	1924-1979	1979-1987	1986-1995	1992-1995
Ponte S. Giorgio	1983-1997	1994-1997			
S. Colombano al Lambro	1969-1996	1939-1994	1979-1980/ 1982-1987	1986-1994	1992-1994
Sarnico	1923-1977	1911-1959	1979-1985		
Tornavento		1980-2004			
Trezzo d'Adda/ponte	1944-2001				
Villanterio	1939-1986	1938-1985	1979-1985		

Tab. 6 – Quantità e distribuzione dei dati idrometrici manuali e meccanici delle stazioni selezionate per il progetto RICLIC disponibili presso l'archivio dell' U.O. Idrografia dell'ARPA Lombardia (PTUA = dati digitalizzati per la redazione del Programma di Tutela e uso delle Acque)

Tali dati sono stati per lo più digitalizzati a partire dal dato cartaceo perché fino ad ora l'operazione di trascrizione è stata effettuata in modo frammentario in funzione di specifiche esigenze (per la redazione, ad esempio, del Programma di Tutela e Uso delle Acque). In primo luogo sono stati acquisiti i dati già disponibili in formato digitale, ovvero i dati conservati nell'archivio informatico (Wingadi) gestito da ARPA e quelli digitalizzati per la stesura del Programma di Tutela e Uso delle Acque. Quindi, sono stati presi in considerazione gli annali idrometrici dal 1979 al 1987 (ultimo anno di pubblicazione): sono stati trascritti tutti i dati pubblicati relativi alle stazioni di nostro interesse. Visto l'elevato grado di frammentarietà delle serie di dati raccolti, sono state consultate, per gli anni mancanti, le schede idrometriche e, in assenza di queste, sono stati analizzati i diagrammi idrometrografici. Le schede, così come gli annali, riportano il livello giornaliero misurato al mezzogiorno e, l'unico problema riscontrato nella trascrizione dei dati è stata l'interpretazione della calligrafia degli operatori. E' risultata più complessa, invece, la lettura dei diagrammi (alle ore 12 di ogni giorno per uniformità con schede e annali) per la quale si è reso necessario il supporto dei tecnici dell'U.O. Idrografia. I diagrammi possono essere su rullo, in cui lo strumento registra l'andamento per più mesi consecutivi, o su fogli settimanali. In entrambi i casi, è necessario in fase di lettura, far riferimento alle note dell'operatore che dovrebbero sempre riportare la data e l'ora di inizio e fine del diagramma e la posizione dello zero. Molti problemi sono quindi correlati all'interpretazione di tali note non sempre presenti, chiare ed esaurienti. Altri problemi, sono legati al funzionamento meccanico dello strumento:

- è difficile capire se il dato sia attendibile o meno nei casi di staratura dello strumento (l'operatore è tenuto periodicamente a calibrare l'idrometro registratore in base al livello letto sull'asta graduata, riposizionando il pennino);
- il diagramma può presentare picchi improvvisi dovuti al malfunzionamento del pennino o del galleggiante ad esso connesso;
- la linea del diagramma può risultare illeggibile per sbavature o mancanza di inchiostro;
- la precisione del diagramma è variabile a seconda della carta millimetrata utilizzata (2 o 4 mm);
- il diagramma può subire delle inversioni di tendenza legate a eventi di piena (o magra) eccezionali che superano i limiti della carta millimetrata;
- il diagramma può risultare piatto e inattendibile per l'abbassamento del livello del fiume al di sotto del fondo scala dello strumento.

Per una migliore lettura delle idrometrografie, è necessario, quindi, conoscere la tipologia e la posizione dello strumento (su ponte o su argine, a monte o a valle di uno sbarramento, alla confluenza con un altro corso d'acqua, su canale artificiale o su corpo idrico naturale) e le caratteristiche idrauliche del corso d'acqua su cui è posizionato, in modo da interpretare andamenti apparentemente anomali e valutare l'attendibilità del dato registrato. Per questo motivo si ritiene cruciale la raccolta e l'analisi di metadati (foto della stazione, latitudine, longitudine, quota, sezione dell'asta fluviale, descrizione dettagliata dello strumento e del suo funzionamento, eventuali spostamenti dello strumento nel corso degli anni, nome e indirizzo dell'osservatore) [9].

In Tabella 7 sono riportati dettagliatamente i dati raccolti e la loro provenienza suddivisi per anno e stazione. Per le stazioni di Boccaserio, Lodi, San Colombano al Lambro non è ancora stata completata la digitalizzazione perché vi sono ancora dei problemi di interpretazione irrisolti. Per Borgoforte non è ancora stata terminata la digitalizzazione. Non tutti gli idrometri meccanici e manuali sono stati operativi fino al 2005 e, di conseguenza, ove possibile, le serie sono state integrate con dati automatici mantenendo però sempre l'informazione sulla provenienza del dato poiché strumenti manuali o meccanici e strumenti automatici possono avere differente ubicazione e differente accuratezza.

ANNO	STAZIONI MECCANICHE									
	Adda a Lavello	Becca	Boccaserio	Borgoforte	Casalmaggiore	Caslino d'Erba	Cremona	Lambro a Parco Feltre	Lodi	Marcaria
1979	S	A	A		A	A	A		D	A
1980	A	A			A	A	A		D	A
1981	A	A	D		A	A	A		D	A
1982	A	A	A		A	A	A		D	A
1983	A	A	A		A	A	A	D	A	A
1984	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1985	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1986	A	A	D	A	A	A	A	A	A	S
1987	A	A	D	A	A	A	A	A	A	S
1988	W		D		D	W		W	D	S
1989	W				D	W		W	D	S
1990	W		D		D	W		W	D	S
1991	W		D		D	W		W	D	S
1992	W	PTUA	D	W	W	W	PTUA	W	W	S
1993	W	PTUA	D	W	W	W	PTUA	W	W	S
1994	S	PTUA	D	W	W	W	PTUA	W	W	S
1995	S	PTUA	D	W	W	S	PTUA	W	W	D
1996	S	PTUA	D	W	PTUA	S	PTUA	D	D	D
1997	S	PTUA			PTUA		PTUA	D	D	D
1998	S			AUTO	AUTO			D	D	AUTO
1999	S	AUTO		AUTO	AUTO			D	AUTO	AUTO
2000	S	AUTO		AUTO	AUTO			AUTO	AUTO	AUTO
2001	S	AUTO		AUTO	AUTO		AUTO	AUTO	AUTO	AUTO
2002	S			AUTO	AUTO		AUTO	AUTO	AUTO	
2003	W			AUTO	AUTO		AUTO	AUTO	AUTO	AUTO
2004	S			AUTO	AUTO		AUTO	AUTO	AUTO	AUTO
2005	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO		AUTO	AUTO	AUTO	AUTO

Tab. 7 a – Riepilogo raccolta dati idrometrici effettuata (W=wingadi, PTUA=Programma di Tutela e Uso delle Acque, A=annale, S=schede (idrometrie), D=diagrammi (idrometrografie), AUTO=idrometri automatici). In giallo, sono evidenziati gli anni ancora da digitalizzare.

ANNO	STAZIONI MECCANICHE									
	Miorina a valle	Pizzighettone	Ponte Briolo	Ponte Cene	Ponte S. Giorgio	S. Colombano	Sarnico	Tornavento	Trezzo d'Adda-ponte	Villanterio
1979		A	A	A		A	A		D	A
1980	A	A	W	A		A	A	S	D	A
1981		S	W	A		S	A	S	D	A
1982	A	A	W	A		A	A	S	D	A
1983	A		W	A	D	A	A	S	D	A
1984	A		W	A	D	A	A	S	D	A
1985	A		W	A	D	A	A	S	D	A
1986			W	W	D	W		S	D	
1987			W	W	D	W		S	D	
1988			W	W	D	W		S	D	
1989			W	W	D	W		S	D	
1990			W	W	D	W		S	D	
1991		D	W	W	D	W		S	D	
1992	PTUA	D	W	W	D	W		S	D	
1993		D	W	W	D	W		S	D	
1994		D	W	W	S	W		S	D	
1995			W	W	S	D		S	D	
1996			S	D	S	D		S	D	
1997			S	D	S			S	D	
1998			S	D				S	D	
1999			AUTO					S	D	
2000			AUTO					S	D	
2001	AUTO	AUTO	AUTO				AUTO	S	D	
2002	AUTO		AUTO					S		
2003	AUTO	AUTO	AUTO				AUTO	S		
2004	AUTO	AUTO	AUTO				AUTO	S		
2005	AUTO	AUTO	AUTO				AUTO			

Tab.7 b - Riepilogo raccolta dati idrometrici effettuata (W=wingadi, PTUA=Programma di Tutela e Uso delle Acque, A=annale, S=schede (idrometrie), D=diagrammi (idrometrografie), AUTO=idrometri automatici). In giallo, sono evidenziati gli anni ancora da digitalizzare.

Della fitta rete di idrometri automatici sono stati selezionati 50 strumenti posizionati lungo corsi d'acqua naturali che ricadono nell'area di pianura lombarda e regioni limitrofe (3 stazioni in Emilia-Romagna e 5 in Piemonte). 20 di queste stazioni corrispondono alle 20 stazioni meccaniche e manuali considerate e , ove possibile sono stati prelevati, con frequenza temporale giornaliera, i dati dal 1998 al 2005 per completare le serie storiche (gli strumenti automatici non sono sempre posizionati nello stesso luogo di quelli meccanici e manuali, ma nelle immediate vicinanze, aspetto da considerare durante l'elaborazione dei dati). Anche per altre 3 stazioni, nell'area di Milano e Lodi (Castellanza, Palazzolo, Peregallo), sono stati raccolti i dati fin dal 1998 poiché in queste province si dispone della maggior quantità di dati piezometrici con serie storiche a partire dal 1979 con i quali poter effettuare un confronto. Per quanto riguarda le rimanenti 27 stazioni sono stati estratti, dal database ARPA, sempre con frequenza temporale giornaliera, i dati relativi al periodo 2001-2005. Tali dati sono necessari per l'elaborazione della superficie piezometrica a scala regionale per ancorare i livelli piezometrici al reticolo idrometrico superficiale. Gli idrometri automatici, però, misurano la variazione del livello del corso d'acqua, mentre per il calcolo della superficie piezometrica servono valori assoluti in m s.l.m. ricavabili conoscendo il livello di riferimento (zero idrometrico) di ogni stazione. Tale valore non è noto per ogni strumento, bensì solo per quelli in cui ARPA deve calcolare la portata del corso d'acqua, nella fattispecie in 26 su i 50 selezionati. In Tabella 8 è riportato il quadro di riassuntivo di quanto esposto sopra, mentre in Figura 19 è riportata la posizione degli idrometri considerati per il progetto.

STAZIONI AUTOMATICHE	Zero Idrometrico (m)	Consistenza
Bagnaria	301,38	2001-2005
Boccaserio SIAP		2005
Boretto		2001-2005
Borgoforte		1998-2005
Borgoforte SIAP		2005
Canonica d'Adda		2003-2005
Cantu' Asnago	245,60	1998-2005
Capriolo	136,45	2001/2003-2005
Carobbio degli Angeli		2003-2005
Casalmaggiore		1998-2005
Casei Gerola Po	75,95	2001-2005
Castellanza	195,89	1998-2005
Cremona		2001-2005
Cremona SIAP		2004-2005
Godiasco Staffora	190,08	2001-2005
Isola S.Antonio IdroPr		2001-2005
Isola S.Antonio PO	68,54	2003-2005
Lambrugo	237,94	2001/2003-2005
Lodi	65,01	1998-2005
Lomello	80,18	2002-2005
Manerbio	52,693	2003-2005
Marcaria	19,98	1998-2001/2003-2005
Milano Parco Feltre	116,802	1998-2005
Miorina	198,85	1998-2005
Montodine		2000-2005
Monzambano	59,112	2001/2003-2005

Mozzanica		1998-2001/2003-2005
Ostiano		2003-2005
Palazzolo	366,82	1998-2005
Pavia	57,71	2000-2005
Pavia-Ponte Liberta'		2001-2005
Peregallo	177,174	1998-2005
Piacenza		2001-2005
Piacenza SIAP		2003-2005
Pizzighettone	40,52	2001/2003-2005
Ponte Becca Po		1999-2005
Ponte Becca SIAP		2003-2005
Ponte Briolo	230	1998-2005
Ponte S.Marco		2001-2005
Ponte Valenza Po	85,18	2001-2005
Ponte Valenza SIAP		2003-2005
Ponte Vedano		1998-2005
S.Maria Lavello	194,9	1998-2005
Sarnico	185,16	2001/2003-2005
Soncino	68,775	2003-2005
Spessa Po		1998/2000-2005
Spino d'Adda-Marzano		1998-1999(poco)/2003-2005
Stocchetta		2003-2005
Vigevano	85	2000-2005
Voghera		2003-2005

Tab. 8 – Riassunto stazioni automatiche scelte e relativa consistenza dei dati

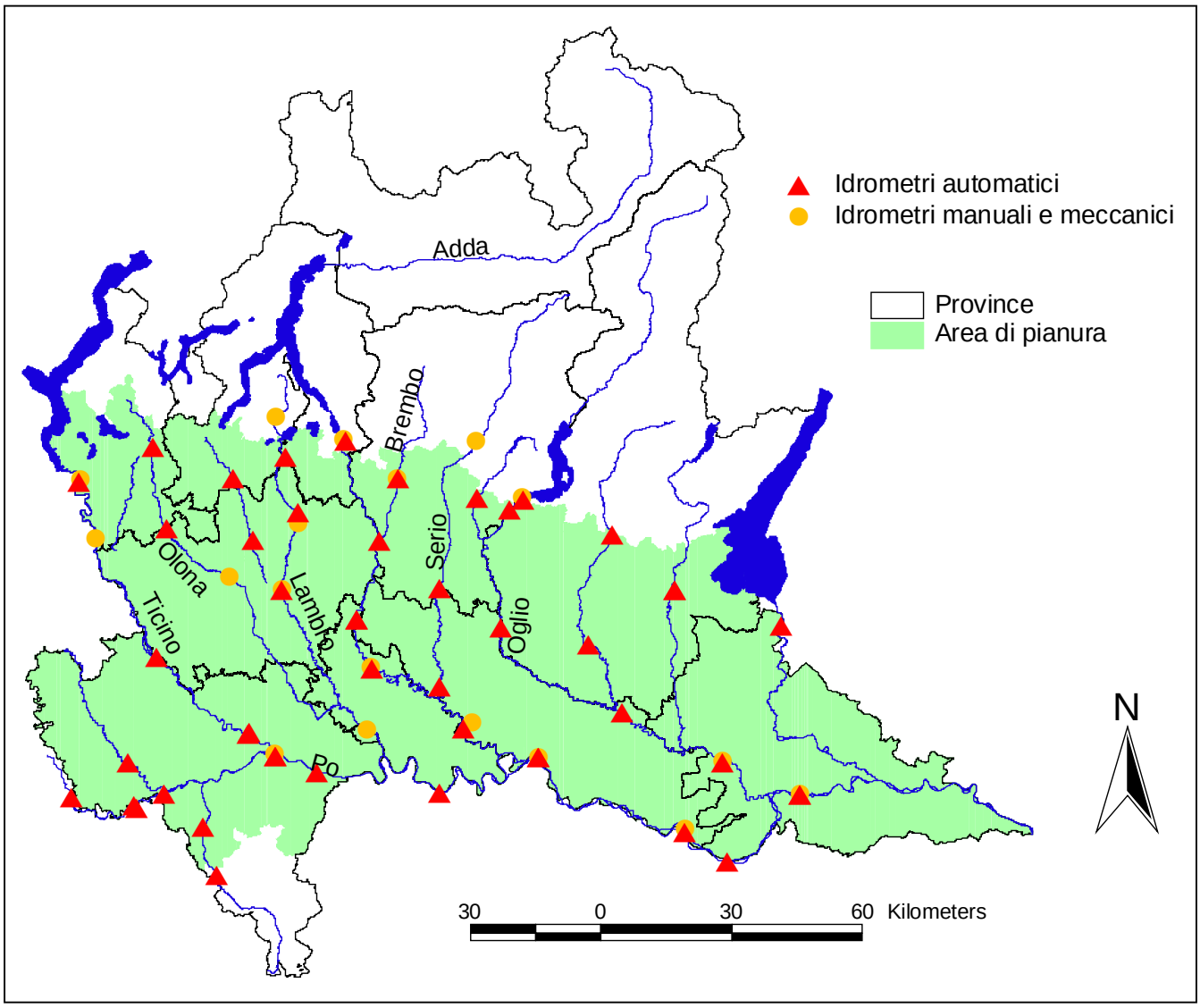


Fig. 19 – Stazioni manuali/meccaniche e automatiche selezionate sui corsi d'acqua naturali

2.3.2. Completamento raccolta dati

Entro breve tempo, al termine della digitalizzazione dei dati idrometrici inizierà la fase di rilettura e controllo di qualità dei dati. Si procederà alla semplice rilettura delle serie di dati trascritti, per escludere errori di battitura, e ad una analisi complessiva degli andamenti dei livelli per valutare la corretta interpretazione dei diagrammi e la validità del dato registrato. In Figura 20 è riportato un esempio di diagramma del livello idrometrico in una delle stazioni considerate, nella fattispecie la stazione di S. Maria Lavello posta sull'Adda all'uscita dal lago di Como poco a Sud della città di Lecco. I colori utilizzati nel diagramma servono ad evidenziare le diverse provenienze dei dati raccolti ad esemplificare la complessa attività di omogeneizzazione di informazioni provenienti da tanti diversi archivi (cartacei) e banche dati. Si nota un andamento complessivo con uno spiccato trend stagionale, ma sono anche subito evidenti alcuni errori grossolani, probabilmente di battitura (come evidenziato nel riquadro blu tratteggiato), nella serie di dati che andranno verificati e corretti nella fase di controllo della qualità della digitalizzazione.

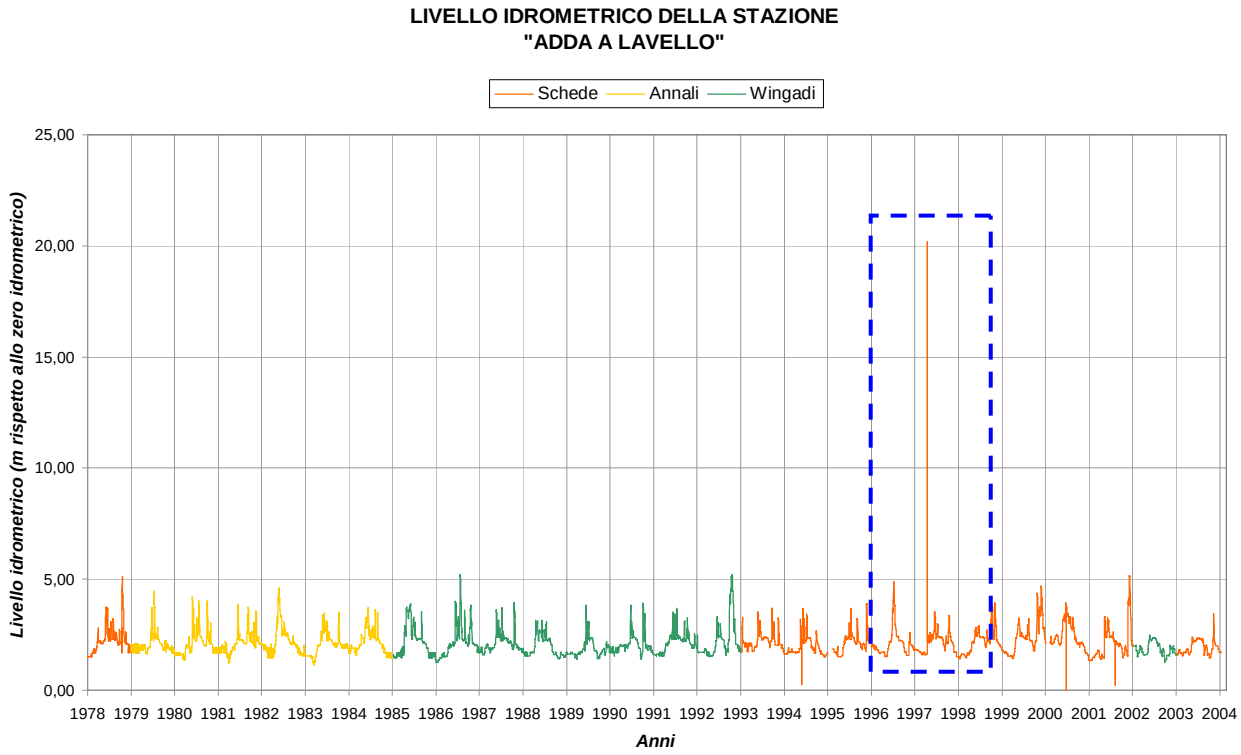


Fig. 20 – Andamento del livello idrometrico nella stazione di S.Maria Lavello. Nel riquadro blu tratteggiato è visualizzato un probabile errore di battitura.

2.4. Dati pluviometrici automatici

Si è deciso di prendere in considerazione anche 6 stazioni pluviometriche automatiche nelle province di Milano e Lodi per avere a disposizione una quantità maggiore di dati in tale area, ricca di piezometri con i quali si vorrebbe effettuare un confronto diretto pluviometria-piezometria. In Figura 21 è riportata l'ubicazione delle stazioni prescelte e in Tabella 9 la relativa consistenza dei dati raccolti.

STAZIONI AUTOMATICHE	CONSISTENZA
Agrate	1992-2003
Cavenago d'Adda	2000-2003
Corsico	2000-2003
Mottavisconti	2000-2003
S. Angelo Lodigiano	1993-2003
S. Rocco al Porto	2000-2003

Tab. 9 – Stazioni pluviometriche automatiche prescelte e relativa consistenza dei dati

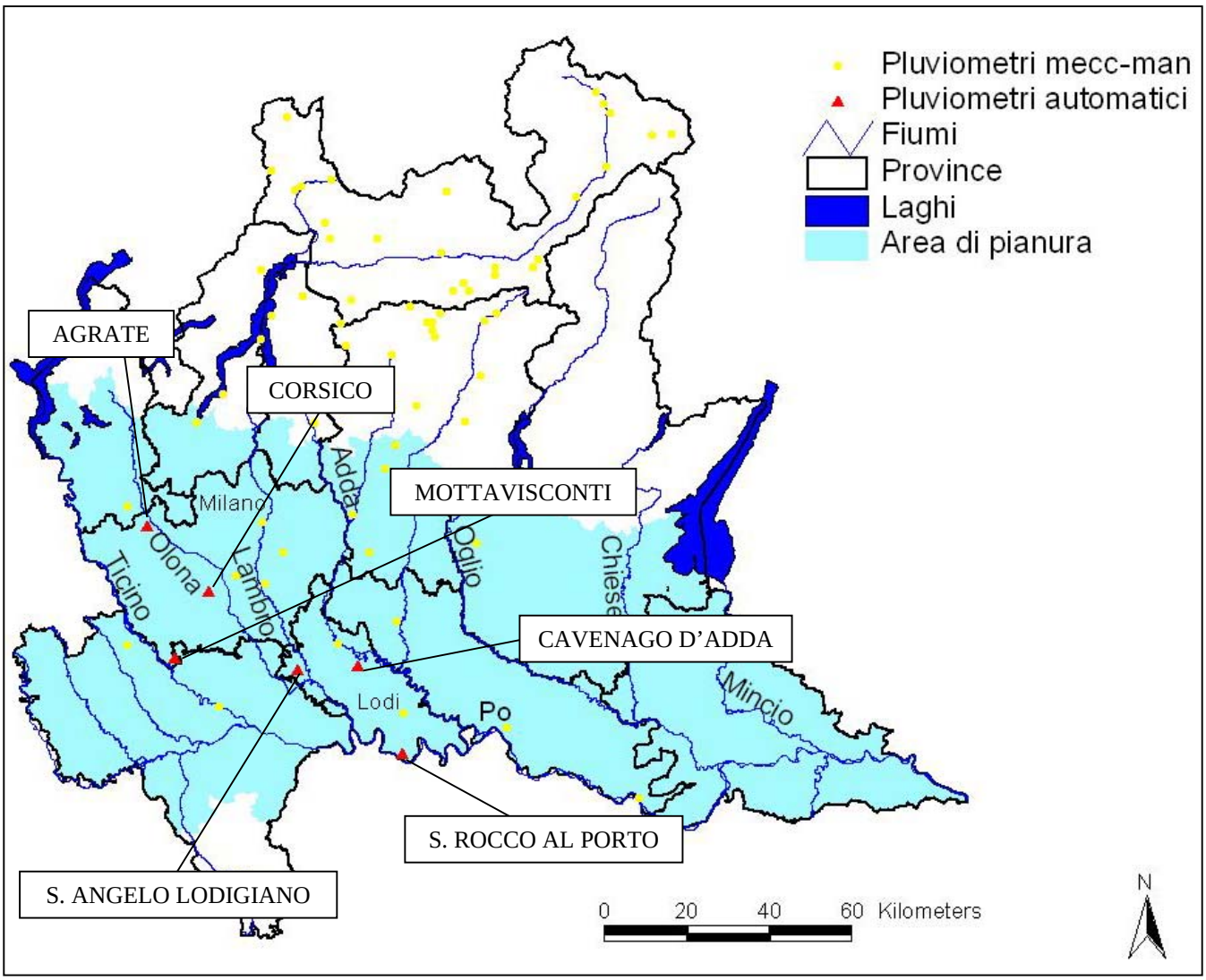


Fig. 21 – Ubicazione delle stazioni pluviometriche automatiche prescelte

2.5. Dati di portata

Necessari alla ricostruzione del bilancio idrogeologico dell'area di studio sono anche le misure di portata dei fiumi; è stata perciò avviata una raccolta dati anche in questo campo. Rispetto alle idrometrie, il numero di dati e stazioni di portata è decisamente inferiore, infatti le uniche serie digitalizzate presenti presso l'U.O. Idrografia di ARPA Lombardia sono quelle riportate in Tabella 10, mentre su annale sono raccolti i dati relativi anche alle stazioni di Borgoforte, Po a Boretto, Po a Cremona, Po a Piacenza, Pontelagoscuro e Roncorrente. Per ora sono state acquisiti solo i dati delle 7 stazioni in Tabella 10, mentre devono essere ancora raccolti quelli delle altre 6.

STAZIONE	CONSISTENZA DEI DATI
Capriolo	1937-1985 / 1987-2002
Fuentes	1923-1968 / 1992-2000
Gavardo	1934-1942 / 1948-1991
Lavello	1946-2002
Miorina Golasecca	1923-1994
Monzabano	1954-1991
Ponte Briolo	1940-1973 / 1975 / 1977 / 1979 / 1992-2002

Tab. 10 – Stazioni con dati di portata e relativa consistenza

3. Attività correlate

Partecipazione a:

- Lo stato dell'Ambiente in Lombardia, Rapporto 2005, organizzato da ARPA Lombardia, Milano, 13 marzo 2006

- 9° Conferenza italiana utenti ESRI, Roma, 5-6 aprile 2006 e connessi workshop relativi alla tecnologia ArcGIS

- Seminario di presentazione WP 5/6, Università Statale degli Studi di Milano, Facoltà di Agraria, Milano, 10 aprile 2006

- Prima Riunione del GIT – Geology and Information Technology, San Leo (PU), 31 maggio – 1giugno 2006. E' stato presentato l'articolo *Modelli tessiturali tridimensionali in acquiferi eterogenei,* BONOMI T., CANEPA P., DEL ROSSO F.

- Third ICTP Workshop on THE THEORY AND USE OF REGIONAL CLIMATE MODELS, Miramare, Trieste, 29 maggio – 9 giugno 2006. E' stato presentato il poster *Regional Impact of Climatic Change in Lombardy Water Resources: Modelling and Application (RICLIC – WARM),* BONOMI T., CANEPA P., CAVALLIN A., DEL ROSSO F., FUMAGALLI L., LACAVALLA M., MAGGI V.

- 5TH European Congress on Regional Geoscientific Geology Cartography and Information System, Barcelona – Catalonia, Spain, 13 giugno – 16 giugno 2006. E' stato presentato l'articolo *Regional climatic change: groundwater impact,* BONOMI T., CANEPA P., CAVALLIN A., DEL ROSSO F.

- Workshop "Gestione integrata delle risorse idriche a scala di bacino – Tecnologie innovative per il monitoraggio e la previsione dei fenomeni di interesse per la pianificazione", organizzato da ARPA Lombardia, Milano, 11 luglio 2006

- Convegno "L'acqua, una risorsa per il sistema agricolo lombardo" *I dati del Servizio Agrometeorologico Regionale,* organizzato da ERSAF e Regione Lombardia, Milano, 14 luglio 2006

- 1st FORALPS CONFERENCE, Ljubljana, Slovenia, 6 settembre 2006

4. Collaborazione WP1/WP3

Al Third ICTP Workshop on THE THEORY AND USE OF REGIONAL CLIMATE MODELS a Miramare, Trieste, dal 29 maggio al 9 giugno 2006 è stato presentato il poster dal titolo *Regional Impact of Climatic Change in Lombardy Water Resources: Modelling and Application (RICLIC – WARM),* BONOMI T., CANEPA P., CAVALLIN A., DEL ROSSO F., FUMAGALLI L., LACAVALLA M., MAGGI V., che riassume la struttura e gli obiettivi del progetto, al fine di pubblicizzarlo.

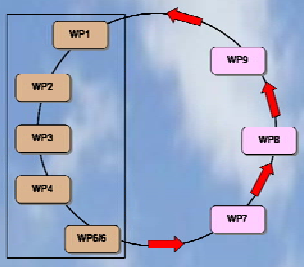
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO - BICOCCA

REGIONAL IMPACT of CLIMATIC CHANGE in LOMBARDY WATER RESOURCES: MODELLING and APPLICATIONS (RICLIC - WARM)

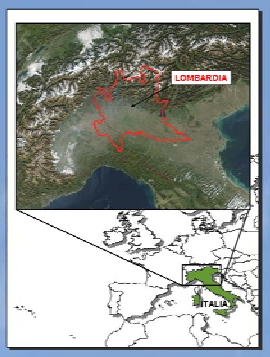
Bonomi T., Canepa P., Cavallin A., Del Rosso F., Fumagalli L., Lacavalla M., Maggi V.
Dip. di Scienze dell'Ambiente e del Territorio (DISAT), Università degli Studi di Milano - Bicocca

RICLIC

ENTI DI RICERCA → ENTI PUBBLICI REGIONALI



AREA DI STUDIO



OBIETTIVI

L'obiettivo del progetto è di fornire una metodologia per valutare gli impatti climatici sulle risorse idriche in Lombardia.

Questa metodologia può essere utilizzata da Enti Pubblici per pianificare e gestire la Lombardia, una delle regioni più popolate e industrializzate d'Europa.

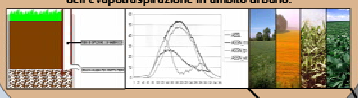
La metodologia si basa sul monitoraggio, sull'utilizzo di banche dati, GIS e modelli spaziali distribuiti per creare scenari di gestione delle risorse idriche.

Istituzioni delle unità di ricerca:
Arpa Lombardia
Università degli Studi di Milano
Università degli Studi di Pavia
Università degli Studi di Milano-Bicocca

WP5/6
Scenari a scala di agro-ecosistema/ Modelli per la gestione degli impatti del cambiamento climatico sull'agro-ecosistema

Prof. Tommaso Maggiore
DIPROVE - Università di Milano

Sviluppo di un modello di simulazione dinamica, al fine di simulare i consumi idrici e la produzione delle colture agrarie/ Sviluppo, calibrazione e validazione di un modello di simulazione dinamica dell'evapotraspirazione in ambito urbano.



WP1
Gestione e controllo delle serie di dati climatici

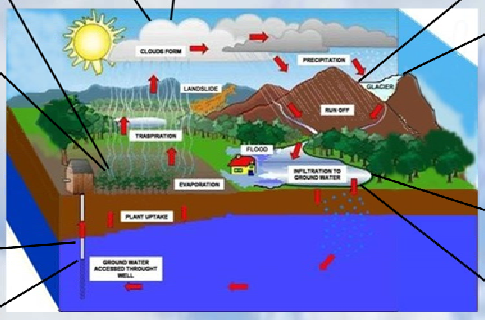
Prof. Valter Maggi
DISAT - Università di Milano - Bicocca

Integrazione di banche dati meteo-climatiche (temperature e precipitazioni) al fine di ottenere dati fruibili a livello modellistico e previsionale tale da permettere una valutazione sistematica degli impatti climatici.

WP4
Acque superficiali: indicatori di qualità

Prof. Marco Vighi
DISAT – Università di Milano - Bicocca

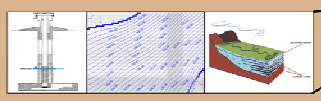
Ricostruzione storica dei livelli di POP e valutazione della loro presenza attuale negli ecosistemi acquatici, attraverso la ricerca di relazioni tra trend di deposizione e variazione di parametri climatici.



WP3
Acque sotterranee: variazioni di bilancio

Dott.ssa Tullia Bonomi
DISAT – Università di Milano - Bicocca

Implementazione di banche dati e applicazione di modelli idrogeologici tridimensionali integrati, al fine di valutare i diversi effetti sulla risorsa idrica sotterranea, in funzione di possibili scenari meteo-climatici futuri.



WP2
Risorsa idrica superficiale: razionalizzazione del suo uso

Prof. Luigi Natale
DIIA - Università di Pavia

Utilizzo di modelli di formazione, trasporto, gestione e distribuzione della risorsa idrica, che ne definiscano scenari attendibili di futura disponibilità.

Responsabile del progetto: Prof. Angelo Cavallin
Università degli Studi di Milano - Bicocca

WP7
Valutazione degli impatti fisici

Responsabili WP1-6

Valutazione degli impatti fisici causati dalle variazioni climatiche negli ultimi anni, attraverso la definizione di un quadro sinottico, che comprenda le varie componenti ambientali.

WP8
Valutazione economica dei danni e dei rischi

Prof. Paolo Giacomelli
DEPAAA - Università di Milano

Valutazione dei danni diretti e indiretti derivanti da fenomeni naturali di origine meteorologica, al fine di parametrizzare le risorse socio-economiche da impiegare per la gestione del rischio.

WP9
END USER

Dr. Enrico Zini
ARPA Lombardia

Utilizzo di modelli che valutino le problematiche connesse all'influenza sul ciclo dell'acqua dovute a probabili scenari meteo-climatici al fine di supportare gli Enti Decisori per le attività di pianificazione (territoriale ed economica) e di programmazione.

Laboratorio Sistemi Informativi Territoriali - DISAT - Università degli studi di Milano - Bicocca, Luglio 2006

5. Bibliografia

[1] ARPA LOMBARDIA, REGIONE LOMBARDIA - *Rapporto sullo stato dell'ambiente in Lombardia, 2005-2006.*

[2] BONOMI T., CAVALLIN A., DE AMICIS M. (1995) – *Un database per pozzi: Tangram.*
Quaderni Geologia Applicata, suppl. n. 3 1/95

[3] BONOMI T., CAVALLIN A., STELLATI G., GUERRA G. 2002 – *3-D subsoil parameterisation in a plan region of North Italy.* Mem. Soc. Geol. It., 57 (2002), 543-550)

[4] BONOMI T., CAVALLIN A., VERRO R.. 1997 - *Banca dati idrogeologica: elaborazioni per la caratterizzazione del sottosuolo nella pianura bresciana.* Rivista Acqua Aria, n. 6: 89-97.

[5] CAVALLIN A., BONOMI T. 1996. *Effetti degli eventi meteorologici estremi sulle acque sotterranee: esempio nell'area milanese. Eventi estremi: previsioni meteorologiche ed idrogeologia.* Accademia Nazionale dei Lincei.. Roma, pp 117-130.

[6] CAVALLIN A., BONOMI T., DE AMICIS M., RIZZI S., TREFILETTI P., TIZZONE R. 1999. *Evoluzione della dinamica piezometrica nell'area milanese in funzione di alcuni fattori socio-economici. Atti della Giornata Mondiale dell'acqua: acque sotterranee: risorsa invisibile.* 23 marzo 1998. Pubblicazione CNR-GNDCI n. 1955, 9-17.

[7] www.provincia.milano.it/ambiente/acqua/sotterranee_sif.shtml

[8] GOCAD SUITE, (2005) – *Earth Decision*

[9] NADBATH N., Environmental Agency of the Republic of Slovenia - *Metadata*
Ljubljana, 1st ForAlps Conference, 6/09/2006.

WP4 - Acque superficiali: indicatori di qualità

Responsabile: Prof. Marco Vighi – Dip. di Scienze dell'Ambiente e del Territorio, Università degli Studi di Milano - Bicocca

Collaboratorice: Dott.ssa Elisa Bizzotto – Dip. di Scienze dell'Ambiente e del Territorio, Università degli Studi di Milano - Bicocca

INDICE

1. Introduzione 171
2. Materiali e metodi 171
2.1. Sito di campionamento 171
2.2. Estrazione dei campioni 173
2.2.1. Acqua 173
2.2.2. Sedimenti 173
2.2.3. Macroinvertebrati 173
2.3. Purificazione ed analisi dei campioni 173
3. Risultati 174
3.1. Acqua 174
3.2. Macroinvertebrati 176
4. Conclusioni 177
5. Riferimenti bibliografici 178

1. Introduzione

Nell'ambito del primo anno di attività del progetto "RICLIC - WP 4" è stato programmato un campionamento estivo (giugno-ottobre) sul torrente Frodolfo, originato dal Ghiacciaio del Forni nel Parco dello Stelvio, per la valutazione del carico di PCB, HCH, HCB, isomeri e metaboliti del DDT in matrici biotiche (macroinvertebrati) e abiotiche (acqua di fusione, sedimenti). Il primo obiettivo del lavoro è caratterizzare la contaminazione ambientale sia in termini quantitativi che qualitativi ed effettuare valutazioni sulla possibilità di bioaccumulo/biomagnificazione in comunità macrobentoniche.

1. Materiali e metodi

1.1. Sito di campionamento

Il lavoro di campionamento è stato svolto sul fiume Frodolfo nella valle del Forni (Parco Nazionale dello Stelvio) nei mesi di maggio (uscita preliminare per la programmazione del lavoro sul campo), giugno, luglio e settembre. È inoltre prevista un'uscita di campionamento a ottobre.
Nell'ambito del campionamento sono state scelte quattro stazioni sul Frodolfo a partire dalla Piccola Diga (di proprietà dell'AEM) (2172 m slm) fino al pianoro sottostante il rifugio Branca (2311 m slm)(fig.1). Si è inoltre scelto di campionare, come termine di paragone, un punto in un vicino torrente di origine non glaciale.
Per i punti di campionamento sul Frodolfo è stata calcolata la sezione del torrente per determinarne la portata, mentre la velocità di corrente è stata determinata tramite mulinello; a luglio il torrente ha subito una notevole variazione del letto rendendo possibile una stima della portata solo nel mese di maggio e giugno.
A ogni stazione sono stati prelevati acqua, sedimenti e per il punto 5 e il torrente non glaciale, macroinvertebrati che sono stati conservati in formaldeide. Nella stazione più vicino al ghiacciaio (stazione 1) l'acqua è stata prelevata ogni 5-6 ore circa, per determinare eventuali variazioni di concentrazione degli inquinanti in funzione dell'escursione termica giornaliera. I composti cercati sono i seguenti: isomeri e metaboliti del DDT (isomeri p,p'- e o,p'- di DDT,DDE e DDD), HCB,α-, β-, γ-HCH e i PCB riportati nella tabella 1.

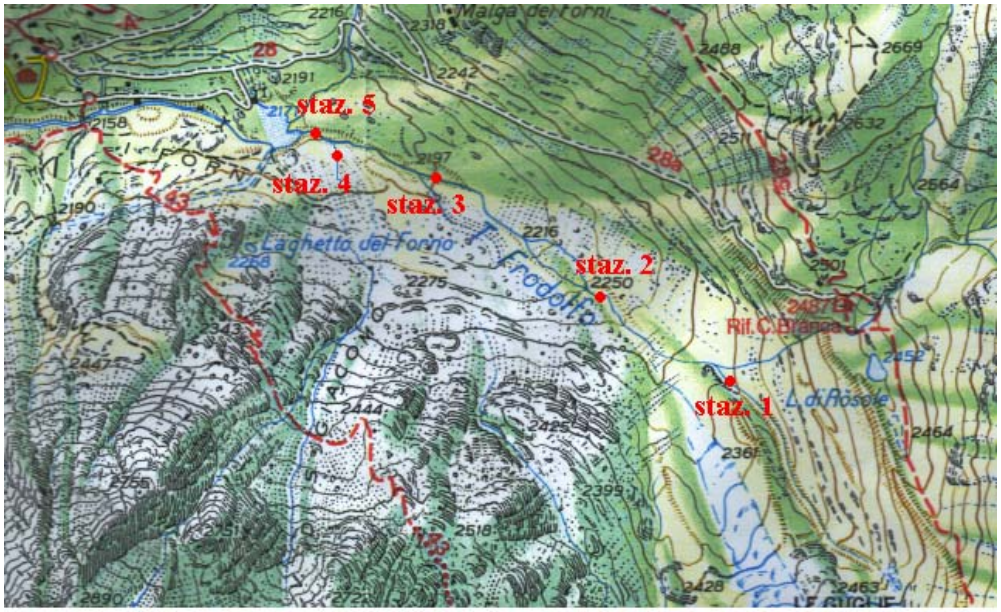


Fig. 1 - Punti di campionamento sul torrente Frodolfo.

IUPAC No.	P.M. g/mol	P.V. PL/Pa	S g/m3	H Pa m3/mol	log Kow	log Koa
18	257,5	0,2200	0,4000	92,21	5,60	-
28	257,5	-	0,1600	-	5,80	-
30	257,5	0,0900	0,2000	49,51	5,50	-
31	257,5	-	-	-	5,5-5,9	-
40	292,0	0,0020	0,0300	21,94	5,60	7,65
41	292,0	-	-	-	5,6-6,5	-
44	292,0	-	0,1000	25,43	6,00	7,99
49	292,0	-	0,0160	37,90	6,10	7,92
52	292,0	0,0020	0,0300	47,59	6,10	7,82
64	292,0	-	-	-	5,6-6,5	-
66	292,0	-	0,0400	25,84	6,31	8,29
70	292,0	-	-	19,15	6,40	8,50
74	292,0	-	-	-	5,6-6,5	-
87	326,4	0,0023	0,0040	24,81	6,50	8,50
90	326,4	-	-	-	6,2-6,5	-
95	326,4	-	-	-	6,2-6,5	-
97	326,4	-	-	-	6,2-6,5	-
99	326,4	-	-	30,50	6,60	8,51
101	326,4	0,0035	0,0100	35,48	6,40	8,24
104	326,4	0,0043	0,0156	13,98	6,2-6,5	-
105	326,4	-	-	-	6,00	-
110	326,4	-	0,0040	19,15	6,30	8,41
118	326,4	-	-	-	6,2-6,5	-
128	360,9	3,4x10-4	0,0006	11,91	7,00	9,32
132	360,9	-	-	5,40	6,7-7	-
136	360,9	-	0,0008	5,40	6,70	-
138	360,9	-	-	10,84	6,70	9,06
141	360,9	-	-	5,40	6,7-7	-
149	360,9	-	-	5,40	6,7-7	-
151	360,9	-	-	5,40	6,7-7	-
153	360,9	0,0007	0,0010	18,24	6,90	9,03
156	360,9	-	-	-	6,7-7	-
174	395,3	-	-	-	7,10	-
177	395,3	-	-	-	7,10	-
180	395,3	-	-	-	7,10	-
183	395,3	-	-	-	7,10	-
187	395,3	-	-	-	7,10	-
188	395,3	-	-	-	7,10	-
194	429,8	-	0,0002	-	7,40	-
201	429,8	-	-	-	7,2-8,16	-
204	429,8	-	-	-	7,2-8,16	-

Tab. 1 Caratteristiche chimico-fisiche dei PCB cercati: peso molecolare (P.M.), pressione di vapore (P.V.), solubilità in acqua (S), costante di Henry (H), coefficiente di ripartizione ottanolo-acqua (log Kow) e coefficiente di ripartizione ottanolo-aria (log Koa).

1.2. Estrazione dei campioni

Ogni metodica di estrazione è stata verificata con prove di recupero, che hanno dato risultati pienamente soddisfacenti. Prima dell'utilizzo tutta la vetreria viene lavata tre volte con solvente, mentre per gli estrattori soxhlet si procede con un lavaggio di 24 h.

1.2.1. Acqua

Per motivi logistici, l'estrazione dei campioni acquosi (volume di estrazione 16L) viene effettuata in campo tramite estrattore liquido-liquido da 5L, usando come solvente diclorometano (5%+5% del volume del campione). In laboratorio si procede alla separazione dal solvente della piccola percentuale di acqua rimasta nel campione. Il campione estratto viene quindi filtrato con filtri in fibra di vetro (sterilizzati in forno a muffola a 500°C per almeno 12 h) per eliminare ogni traccia di sedimento e di particolato sospeso, concentrato tramite Rotavapor e purificato e analizzato secondo il metodo riportato più avanti, che è stato utilizzato anche per i campioni di sedimento e macroinvertebrati.

1.2.2. Sedimenti

I sedimenti glaciali, caratterizzati dal bassissimo contenuto organico, vengono setacciati, mescolati con sodio solfato anidro e quindi sottoposti ad estrazione tramite soxhlet per 24 h con esano. Segue quindi la concentrazione tramite Rotavapor, la purificazione e l'analisi, riportata più avanti.

1.2.3. Macroinvertebrati

Nel campionamento di giugno, nonostante la difficoltà del lavoro legata all'elevata velocità di corrente, è stato raccolto nella stazione 5 un numero di macroinvertebrati sufficiente per una parziale suddivisione del ruolo trofico. In seguito all'identificazione delle famiglie dei macroinvertebrati, effettuata a microscopio, gli insetti sono stati suddivisi in raschiatori, generalisti e predatori.

Dopo essere stati asciugati sotto leggero flusso di azoto e pesati (peso fresco), i campioni sono stati pestati con sodio solfato anidro e sono stati sottoposti ad estrazione soxhlet con esano per 24 h. Dopo la concentrazione del campione tramite Rotavapor, ne è seguita la purificazione e l'analisi secondo la metodica sotto riportata.

Nel campionamento di luglio l'eccessiva velocità di corrente ha permesso una minore raccolta di macroinvertebrati, attualmente in corso di identificazione. È stato campionato anche il torrente non glaciale.

1.3. Purificazione ed analisi dei campioni

La purificazione di tutti i campioni è stata effettuata con colonnine florisil dopo trattamento con acido solforico al 95-97% per 3h. Le colonnine di florisil vengono lavate precedentemente con 10 ml esano-etilacetato 9:1 e in seguito con 6 ml di esano. In seguito al passaggio del campione e di due lavaggi, le colonnine vengono eluite con 6 ml di esano. I campioni vengono quindi concentrati e viene aggiunto lo standard interno (PCB 30 e PCB 141).

L'analisi dei campioni viene condotta con gas cromatografo (Agilent Technologies 6890N Network GC System) collegato a uno spettometro di massa (Agilent 5973 Network Mass Selective Detector). La separazione gas-cromatografica è stata ottenuta con una colonna capillare e come gas di trasporto è stato utilizzato elio, con flusso di 1 ml/min.

La quantificazione degli inquinanti è stata effettuata mediante il metodo dello Standard Interno (S.I.). Ad ogni campione, prima di procedere all'estrazione e nel caso dell'acqua direttamente in campo, sono stati aggiunti i PCB 40 e 128 come Recovery Standard (R.S.).

2. Risultati

1.4. Acqua

Attualmente sono state terminate le analisi dei campioni di giugno e si stanno terminando le analisi di luglio (dati non riportati).
I risultati riportati sono da considerarsi ancora preliminari in quanto tutte le analisi e i controlli saranno effettuati una volta terminato il ciclo di campionamento.
Si riportano i dati inerenti ai campioni di giugno. Per il momento non possiamo ancora valutare se si verificano significative variazioni nel carico degli inquinanti nell'arco della giorno; diversamente la portata aumenta visibilmente nell'arco della giornata (oscillazione dell'altezza dell'acqua di 10 cm a giugno,di 26 cm a luglio). La temperatura, misurata nel punto più vicino al ghiacciaio varia da 0,4°C (misurata alle 7.30 di luglio) a 2°C (h 13.00). Tutti i campioni sono strati estratti intorno alle 13.00, inoltre per la stazione 1 i campioni sono stati estratti a diversi orari (tab. 2).

	Ora campionamento
Stazione 1 18 -19 giugno	h. 15.00 h. 6.35 h.10.00 h.12.00
Stazione 1 18 -19 luglio	h. 7.30 h. 13.00 h. 19.40 h. 1.00 h. 6.00

Tab. 2 Data e ora dei campionamenti di acqua alla stazione 1.

In giugno tutti i campioni mostrano una concentrazione media di PCB di circa 15 ng/l, oltre alla presenza costante di HCB, α- e γ-HCH, p,p'-DDE e p,p'-DDT (tab.3 e tab.4).
Nei campioni di luglio finora analizzati i valori di PCB (non riportati) sono decisamente più bassi (dell'ordine di 0,1 ng), mentre si riscontra l'aumento delle concentrazioni di α- e γ-HCH (centinaia di pg/l).
I valori delle concentrazioni di PCB sono maggiori rispetto a risultati di letteratura su campionamenti nell'arco alpino; si sottolinea però che in un precedente lavoro l'analisi di POP in una carota di ghiaccio (di difficile datazione) prelevata sul ghiacciaio dello Stelvio (Vedretta Piana) ha mostrato una concentrazione di ΣPCB paragonabile ai risultati da noi ottenuti (S. Villa, E. Bolzacchini, C. Negrelli, A. Finizio, V. Maggi. "Analisi di microinquinanti organici nel ghiacciaio dello Stelvio"). Si ipotizza una contaminazione locale.
Attualmente si sta terminando di analizzare i campioni di luglio. Il campionamento di settembre ha avuto successo per quanto riguarda la raccolta di materiale biologico.

acqua giugno pcb pg/l	Frodolfo Staz. 1 h. 15.00	Frodolfo Staz. 1 h 6.35	Frodolfo Staz. 1 h 10.00	Frodolfo Staz. 1 h 12.00	Frodolfo Staz. 2 h 12.45	Frodolfo Staz. 3 h 13.50	Frodolfo Staz. 5 h 13.20	N.G.S. Staz. 4 h 12.30
18	479	284	264	218	165	310	495	176
31	1127	838	900	594	419	600	1046	496
28	1091	1208	1251	915	734	895	1568	752
52	1773	1211	1079	867	682	1062	1695	853
49	661	538	395	327	235	339	559	289
104	0	0	0	0	0	0	0	0
44	878	605	591	486	367	599	901	462
64	340	241	262	199	149	209	329	164
41	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	957	1004	804	626	1069	1700	806
74	0	398	492	341	258	319	578	274
70	0	1155	1146	906	671	963	1495	781
66	0	700	708	533	419	571	954	470
90	0	0	0	0	0	0	0	0
101	2243	1555	1630	1335	964	1973	3021	1227
99	729	564	619	538	353	451	842	404
136	263	188	170	153	128	198	325	155
97	530	367	450	386	281	399	602	295
87	802	653	656	529	412	656	965	442
110	390	442	414	448	322	418	430	266
151	164	206	142	177	124	187	178	109
149	426	457	437	469	351	528	527	288
188	0	0	0	0	0	0	0	0
118	277	358	317	309	231	251	276	187
132	192	200	189	201	146	188	200	126
153	515	601	545	581	414	593	557	351
105	109	124	139	120	99	70	93	67
138	331	366	357	367	301	331	319	222
187	186	181	220	233	148	200	203	117
183	63	88	72	66	60	71	63	43
174	115	112	111	129	100	115	126	66
177	63	49	50	39	46	47	44	32
156	37	42	68	33	33	20	18	0
180	214	217	189	215	156	245	238	117
201	0	38	0	84	38	14	34	21
204	31	31	34	91	32	3	15	16
194	0	33	0	0	32	11	15	15
totale	14030	15006	14898	12692	9494	13907	20410	10090
tricloro	2697	2330	2415	1727	1318	1805	3109	1424
tetracloro	3653	4847	4671	3658	2782	4061	6512	3294
pentacloro	5080	5017	5230	4469	3286	5288	7929	3693
esacloro	1928	2061	1907	1981	1497	2045	2124	1252
eptacloro	641	648	642	682	508	679	673	376
octacloro	31	102	34	175	102	29	64	52

Tab. 3 Concentrazioni (pg/l) di PCB nel Frodolfo e nel torrente non glaciale(N.G.S.).

acqua giugno pg/l	Frodolfo Staz. 1 h.15.00	Frodolfo Staz. 1 h 6.35	Frodolfo Staz. 1 h 10.00	Frodolfo Staz. 1 h 12.00	Frodolfo Staz. 2 h 12.45	Frodolfo Staz. 3 h 13.50	Frodolfo Staz. 5 h 13.20	N.G.S. Staz. 4 h 12.30
a-HCH	73	76	82	22	92	172	0	28
HCB	257	149	154	94	77	107	193	78
g-HCH	359	168	0	14	20	14	97	0
b-HCH	0	0	0	0	0	0	0	0
o,p'-DDE	0	68	4	6	3	40	1	2
p,p'-DDE	79	57	84	78	65	32	60	39
o,p'-DDD	0	0	0	0	0	0	0	0
o,p'-DDT	0	0	23	0	0	0	37	20
p,p'-DDD	0	0	0	0	0	0	0	0
p,p'-DDT	0	227	132	101	92	n.d.	58	24
totale	767	745	478	316	349	365	446	191
tot HCHs	432	244	82	36	112	185	97	28
HCB	257	149	154	94	77	107	193	78
Tot DDE	79	125	87	84	68	71	62	41
tot DDx	0	227	155	101	92	n.d.	94	44

Tab. 4 Concentrazione (pg/l) di HCH, HCB e isomeri e metaboliti di DDT nel torrente Frodolfo e nel torrente di origine non glaciale (N.G.S.).

1.5. Macroinvertebrati

I macroinvertebrati raccolti nel mese di giugno sono stati divisi in raschiatori, generalisti e predatori, dopo l'identificazione delle famiglie (tab.5). La catena trofica analizzata è molto breve e i primissimi risultati non permettono per il momento considerazioni ponderanti.
I macroinvertebrati hanno concentrazioni medie di POPs di circa 28 ng/g di peso fresco per tutte le classi analizzate (dati non riportati). Le concentrazioni percentuali seguono l'andamento delle concentrazioni presenti nell'acqua: si segnala un incremento nelle concentrazioni dei congeneri maggiormente clorurati (7-8 atomi di cloro), caratterizzati da maggior valori del coefficiente di

Ruolo trofico	Famiglia (numero individui)	Peso fresco
Predatori	Fam. Perlodidae (11) Fam. Limonidae (7) Fam. Riacophilidae (1) Planaria (1)	0,6316 gr
Generalisti	Fam. Taeniopterigidae (13) Fam. Nemouridae (130) Fam. Baetidae (120) Fam. Chironomidae (175) (esclusa sF. Tanipodinae) Fam. Leuctridae e Capnidae (38) Fam. Simulidae (61) Fam. Dixidae (1)	1,1599 gr
Raschiatori	Fam. Heptagenidae (80)	1,8445 gr

Tab. 5 Ripartizione in ruolo trofico del campione di giugno prelevato dal punto 5 del Frodolfo

ripartizione ottanolo-acqua, e un leggero decremento delle concentrazioni dei congeneri triclorurati (fig.2). Non si riscontra un aumento delle concentrazioni nei predatori per nessuno dei composti analizzati. Resta ancora da approfondire lo studio dello stadio larvale, in particolare modo sulla potenziale durata. Al momento i campioni di macroinvertebrati raccolti a luglio sono in fase di identificazione.

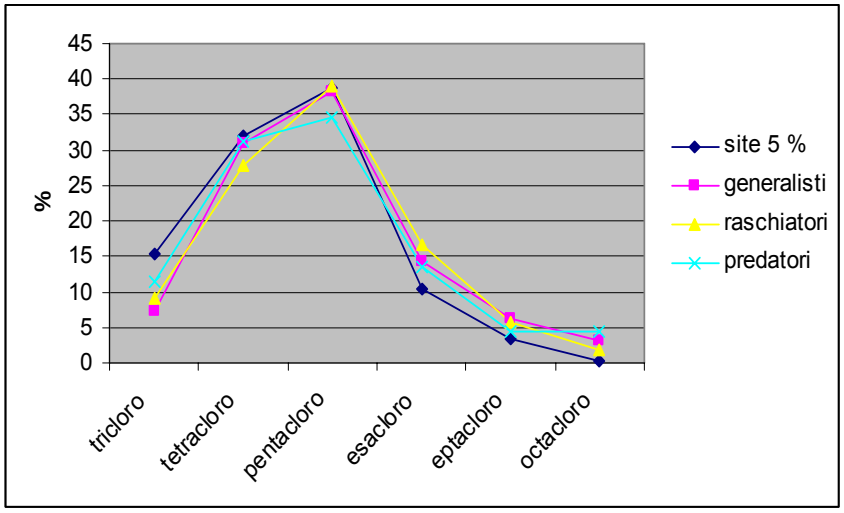


Fig. 2 Concentrazioni percentuali dei PCB (divisi per grado di clorazione) nelle varie classi di macroinvertebrati in confronto alle concentrazioni percentuali del campione d'acqua (staz. 5)

3. Conclusioni

Nel corso dell'estate 2006 è stato condotto il campionamento di acque di fusione, sedimenti e macroinvertebrati nel torrente Frodolfo. I primi risultati preliminari mostrano la presenza di contaminanti persistenti organici nelle acque di fusione con conseguente accumulo in organismi acquatici. Attualmente il gruppo è ancora in fase di campionamento; si prevede di terminare le attività di campionamento ad ottobre; le analisi di laboratorio e l'elaborazione dei risultati saranno terminati entro i primi mesi del 2007.

4. Riferimenti bibliografici

S. Villa, E. Bolzacchini, C. Negrelli, A. Finizio, V. Maggi. “Analisi di microinquinanti organici nel ghiacciaio dello Stelvio” – Ingegneria Ambientale vol. XXX n. 9 settembre 2001, pp. 473-478

S. Villa, C. Negrelli, A. Finizio, O. Flora, M. Vighi. “Organochlorine compounds in ice melt water from Italian Alpine rivers” – Ecotoxicology and Environmental Safety Vol. 63, January 2006, pp. 84-90

WP5 – Scenari a scala di agro-sistema

Responsabile: Prof. Tommaso Maggiore – Dip. di Produzione Vegetale, Università degli Studi di Milano

Collaboratori: Dott. Luigi Mariani, Dott. Gabriele Cola, Simone Parisi **–** Dip. di Produzione Vegetale, Università degli Studi di Milano

INDICE

1. Simulazione dei consumi idrici e della produzione delle colture agrarie a livello territoriale lombardo 181
2. Descrizione dell'algoritmo adottato.....181
3. Validazione del modello Sim_PP per la coltura del mais183
3.1. Validazione del modello SIM_PP per la coltura del mais - commento ai dati 183
3.2. Risultati dell’analisi di fitting 185

1. Simulazione dei consumi idrici e della produzione delle colture agrarie a livello territoriale lombardo

La ricerca in atto mira allo sviluppo di un modello di simulazione dinamica a passo giornaliero ed a scala territoriale della produzione e dei consumi idrici delle principali colture agrarie della Lombardia. Tale modello è finalizzato ad ottenere valutazioni in merito all'entità ed alla variabilità temporale dei consumi idrici e delle produzioni lorde e nette in relazione alla variabilità climatica pregressa, attuale e prevista.

2. Descrizione dell'algoritmo adottato

L'algoritmo di analisi territoriale della produzione e dei consumi idrici delle colture lombarde si fonda su SIM_PP (Mariani e Maugeri, 2002), modello di simulazione dinamica (France e Thornley, 1984) sviluppato in linguaggio Pascal ed inizialmente finalizzato alla stima di produzione di prati polifiti con dominanza di piante mesofile C3 (es. Cynosurus cristatus, Lolium perenne, Trifolium repens, Trifolium pratense, Poa pratensis).(associazione *Arrhenatheretea elatioris* , classe Braun-Blanquet 47) (Braun-Blanquet, 1932).

SIM_PP simula i seguenti livelli di produzione:
- produzione potenziale (su base radiativa)
- produzione limitata termicamente
- produzione limitata per l'acqua (intesa sia in relazione all'eccesso che alla carenza idrica)
- produzione finale.

L'algoritmo, che adotta come variabili guida i dati meteorologici giornalieri, mira dapprima al calcolo dell'*Assimilazione Potenziale Netta (PNA - Potential Net Assimilation)* definibile come la massa di carbonio che le piante assimilano in assenza di limitazioni termiche ed idriche. Per ottenere PNA è necessario calcolare *GASS (Gross ASSimilation)*, espressa in g m^{-2} $giorno^{-1}$ di carboidrati e calcolata per canopy con angolo di distribuzione fogliare sferico e massimo tasso di assorbimento di carboidrati di 4 g m^{-2} h^{-1} per specie C3 e 7 g m^{-2} h^{-1} per specie C4 (Goundriaan e Van Laar, 1978, Keulen e Wolf, 1986). GASS viene calcolata con la seguente formula:

$$GASS = [f_0 * F_{ov} + (I - f_0) * F_c I] * 0.68 * f_h$$

dove:
- f_{cl} e F_{ov} sono ottenuti da tavole riportate in Goundriaan e Van Laar (1978) considerando una latitudine di 45°N.
- f_0 è la frazione del giorno in cui il cielo è coperto. Questa variabile può assumere valori compresi in un intervallo che varia da 0 ad 1. Il valore 0 indica cielo completamente sereno per l'intero giorno; il valore 1 indica cielo coperto per l'intera durata del giorno.
- 0.68 (30/44) è il fattore di conversione da CO_2 a carboidrati CH_2O.
- f_h è il fattore che indica la frazione della radiazione solare intercettata dalla canopy ed è frutto della seguente relazione matematica:

$$f_h = 1 - e^{(-ke * LAI)}$$

dove ke è il coefficiente di estinzione per la canopy e LAI è il Leaf Area Index, definito come l'area fogliare per unità di superficie di terreno.

Una volta ottenuta GASS, PNA si ottiene con l'equazione:

$$PNA = (GASS * MRES) * EC * 0.4$$

dove:

- *MRES (g m^{-2} $giorno^{-1}$) rappresenta le perdite dovute alla respirazione di mantenimento* o respirazione basale di una pianta ed è data dalla seguente relazione:

$$MRES = TDW * rm$$

dove:

- *TDW (Total Dry Weight) è il peso secco totale per unità d'area*, ottenuto adottando un valore standard di 2000 kg ha^{-1} per unità di LAI ed rm rappresenta la frazione di assimilati persa in un giorno per la respirazione basale.

La biomassa totale finale al netto della limitazioni termiche e idriche viene ottenuta con la seguente formula matematica:

$$NPP = EC * GASS * (1 – MRES / GASS) * WLF * TLF$$

dove:

- EC, espresso come g/g, è il parametro che esprime la conversione da carboidrati a sostanza organica strutturale delle piante, con un valore di 0.65
- WLF e TLF sono, rispettivamente, la limitazione idrica e termica.

WLF si ottiene adottando l'approccio proposto da Van Laar et al. (1992) alla disponibilità idrica presente nel suolo e stimata mediante un modello di bilancio idrico applicato ad un suolo ben strutturato e con profondità di 50 cm . Il modello consiste nella seguente equazione, con tutti i termini espressi in mm:

$$wc_d = wc_{d-1} + iu + ru \; – inf – et$$

dove:

- wc_d e wc_{d-1} sono rispettivamente il contenuto idrico del giorno d e del giorno d-1;
- inf è la quantità d'acqua in eccesso rispetto alla capacità di campo e che viene persa per infiltrazione
- Et, in mm, è il valore di evapotraspirazione ottenuto con l'algoritmo di Penman-Monteith. Questo modello prevede:
- Un valore del vento costante definito per ogni sito di impiego su base climatologica;
- L'approccio di Benincasa et al. (1991) per la stima dell'umidità relativa;
- L'approccio di Donatelli e Campbell (1998) per la stima della radiazione solare globale;
- iu ed ru sono rispettivamente l'irrigazione utile e la pioggia utile.

L'acqua irrigua per la coltura in esame viene al momento somministrata per mezzo di una procedura di irrigazione programmata che prevede la somministrazione di un'irrigazione

da 60 mm allorché il contenuto idrico scende al di sotto del 30% dell'AWC (differenza fra capacità di campo e punto di appassimento). L'opzione di irrigazione programmata è introdotta con lo scopo di simulare il comportamento dell'agricoltore, il cui obiettivo è quello di massimizzare la produzione evitando l'insorgere di stress idrico e mantenendo dunque lo stato idrico del suolo in condizioni il più possibili vicine alla capacità di campo. Nella versione operativa del modello sarà possibile introdurre volumi irrigui stabiliti in base ad una turnazione fissa.
TLF (limitazione termica) è ottenuta considerando, in accordo con la legge di Tolleranza di Shelford (Boughey, 1968), un tasso di biomassa accumulata pari a 0 per temperature al di sotto del cardinale minimo e al disopra del cardinale massimo ed un tasso pari a 1 all'interno dei cardinali ottimali; in condizioni sub ottimali il fattore limitante invece è stimato con un'interpolazione lineare. TLF viene prima calcolata come fattore limitante per ogni ora (run oraria del modello) e solo successivamente come media sulle 24 ore per ogni giorno.
La stima della biomassa finale prodotta viene svolta moltiplicando la produzione totale di biomassa per l'Harvest Index (HI).

3. Validazione del modello Sim_PP per la coltura del mais

Il modello di riferimento (SIM_PP) è sotto test e recentemente sono state concluse le attività di calibrazione e validazione su 4 colture (prato, frumento, orzo e riso). Restava aperto il problema della calibrazione e validazione rispetto al mais, specie assai rilevante per l'agricoltura lombarda.
Le attività di calibrazione e validazione si sono fondate sul confronto con dati produttivi desunti da bibliografia (dati Istat, dati delle sperimentazioni nazionali su mais). In tale ambito sono stati altresì condotti confronti con i risultati forniti da modelli disponibili in bibliografia (STAMINA, CROPSYST).
Nel confronto fra i risultati del modello ed i dati produttivi misurati è stata ipotizzata l'assenza di condizioni di stress idrico e pertanto si è adottata l'opzione di irrigazione programmata.

3.1. Validazione del modello SIM_PP per la coltura del mais - commento ai dati

La validazione è stata svolta per confronto con i dataset ISTAT delle produzioni di mais in Lombardia divisi per provincia, (Kg/ha) ricavati per il periodo 1974 - 1998 dagli Annuari ISTAT "Statistiche dell'Agricoltura" e per il periodo 1999 - 2003 dai Dati Congiunturali sulle Coltivazioni Agrarie presenti sul sito ISTAT http://www.istat.it/agricoltura/datiagri/coltivazioni/.

Al fine di depurarle rispetto all'effetto di trend produttivo provocato dal miglioramento genetico e delle aerotecniche (concimazioni, irrigazioni, trattamenti, ecc.), le serie ISTAT sono state omogeneizzate introducendo per il periodo 1974 - 1991 un coefficiente moltiplicativo pari a 1.2.
Il grafico 1 riporta il confronto fra i dati ISTAT omogeneizzati e i dati simulati da SIM_PP per il periodo 1974 – 2003.

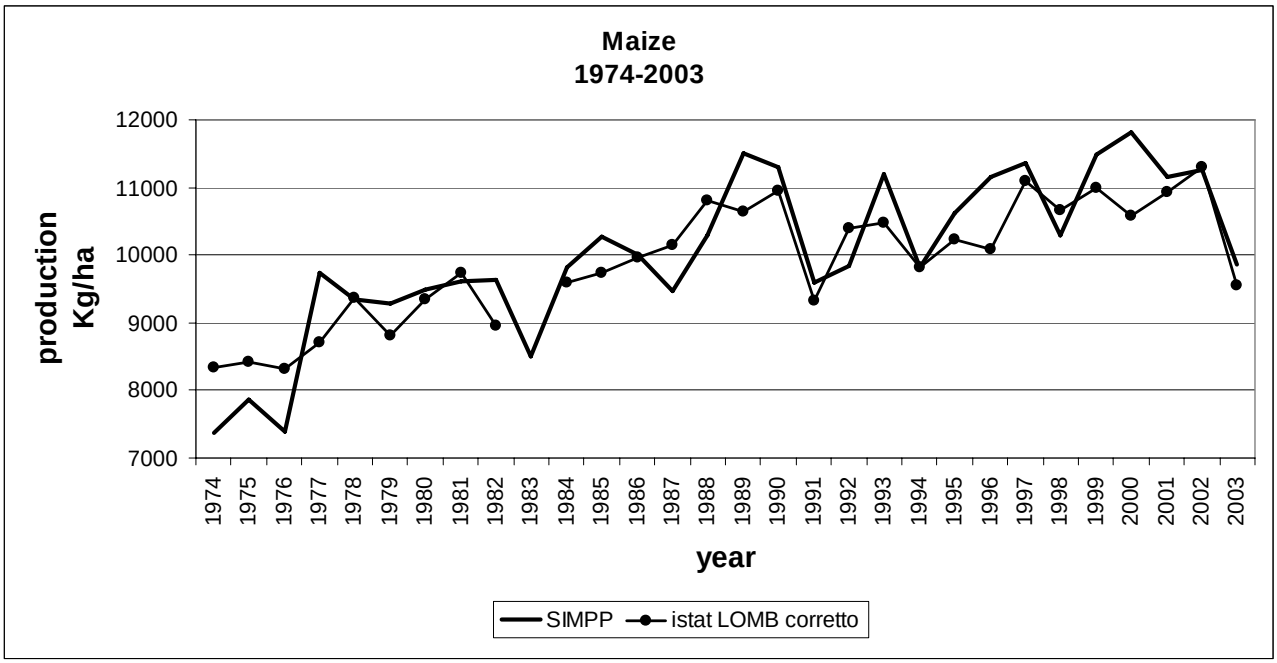


Grafico 1 – Confronto fra i dati simulati con SimPP e i dati produttivi regionali Istat 1974 - 2003

Da una prima ispezione visiva si può constatare il buon accordo esistente fra misurato e simulato; in particolare si noti l'ottimo risultato ottenuto per le annate 2002 e 2003; in particolare per il 2003 il modello ha descritto in modo assai efficace la flessione produttiva dovuta alle elevate temperature che da un lato hanno limitato la produzione giornaliera rivelandosi spesso superottimali e dall'altro hanno limitato il periodo di accumulo abbreviando la durata del ciclo.
Al fine di esprimere quantitativamente il livello di accordo fra simulazione e validazione, sono stati utilizzati alcuni indici statistici di norma utilizzate per la valutazione delle performance dei modelli di simulazione. Vengono di seguito riportati gli indici di *fitting* utilizzati nel presente lavoro utilizzando la notazione seguente:
P_i è l 'i-esimo valore predetto (simulato);
O_i è l 'i-esimo valore osservato;
O è la media dei valori osservati;
n è il numero di casi esaminati.

Relative Root Mean Squared Error (RRMSE) o Errore quadratico medio relativo

$$RRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Pi - Oi)^2}{n}} \times \frac{100}{\overline{O}}$$

Questo indice descrive la differenza tra valori osservati e simulati. Il risultato viene diviso per la media delle osservazioni; in tal modo si ottiene una misura relativa dell'errore. Il valore ottimale per l'indice è zero.

Mean Absolute Error (MAE) o Errore medio assoluto

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|Pi - Oi|}{n}$$

Il valore ottimale per questo indice è zero.

Modelling Efficiency (EF) o Efficienza del modello

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(O_i - \overline{O}\right)^2 - \sum_{i=1}^{n}\left(S_i - O_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(O_i - \overline{O}\right)^2}$$

Se EF<0, la distanza tra i valori osservati e simulati $\sum_{i=1}^{n}\left(S_i - O_i\right)^2$ è maggiore della distanza tra i valori osservati e stimati e la loro media $\sum_{i=1}^{n}\left(O_i - \overline{O}\right)^2$. Il tal caso, la media delle osservazioni è uno stimatore migliore per la variabile studiata. Se EF>0, le stime del modello sono migliori della media dei valori osservati.

Coefficient of Residual Mass (CRM) o Coefficiente di massa residua

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} O_i - \sum_{i=!}^{n} S_i}{\sum_{i=1}^{n} O_i}$$

Un valore maggiore di zero mostra che il modello sottostima la variabile (O>S). Un valore negativo di CRM indica che il modello tende a sovrastimare i valori della variabile (O<S).

Parametri della regressione lineare

Sono infine stati calcolati la pendenza, l'intercetta, l'R^2 della regressione tra i dati osservati (considerati come variabile dipendente) e quelli simulati (considerati come variabile indipendente).

3.2. Risultati dell'analisi di fitting

Di seguito è riportata la tabella contenete i risultati ottenuti da SIM_PP in fase di validazione:

	MAE	RRMSE	EF	CRM	Slope	Intercept	R2
Min	*0*	*0*	*-inf.*	*-inf.*	*-inf.*	*-inf.*	*-inf.*
Max	*+inf.*	*+inf.*	*1,00*	*+inf.*	*+inf.*	*+inf.*	*+inf.*
Best	*0,00*	*0,00*	*1,00*	*0,00*	*1,00*	*0,00*	*1,00*
1974/2003	**483**	**5,85**	**0,73**	**0,02**	**1,15**	**-1367,27**	**0,77**

Dall'analisi dei dati di fitting si evince un buon comportamento del modello nell'intero periodo analizzato. Complessivamente la correlazione lineare risulta buona, ($R^2 = 0.76$) e l'indice RRMSE indica valori più che soddisfacenti, il che vale anche per l'Efficienza (EF) del Modello.

Il MAE indica un errore medio nella stima da parte del modello di 483 Kg per ettaro, valore che può essere considerato soddisfacente. Il Coefficiente di Massa residua indica che il modello stima in modo coerente i dati di produzione annuale.

WP6 – Modelli per la gestione degli impatti del cambiamento climatico sull'agro-ecosistema

Responsabile: Prof. Tommaso Maggiore – Dip. di Produzione Vegetale, Università degli Studi di Milano

Collaboratori: Dott. Luigi Mariani, Dott. Gabriele Cola, Marco Gibin, Simone Parisi **–** Dip. di Produzione Vegetale, Università degli Studi di Milano

INDICE

1. Simulazione dell'evapotraspirazione in ambito urbano .189
2. Presupposti teorici 189
3. Lisimetri a pesata e mini-lisimetri.....189
4. Lisimetria del progetto riclic 190
4.1. Stato attuale delle attività 190
4.2. Descrizione dei siti..... 190
5. Schema progettuale 190
5.1. Schema progettuale Cornaredo 191
5.1.1. Sistema lisimetrico a 4 mini-lisimetri 192
5.2. Atmometro..... 195
5.2.1. Stazione micrometeorologica 196
6. Risultati 197
7. Collaborazione al recupero di serie storiche.....201
8. Allegato 1 – Minilisimetro: prima ipotesi realizzativa 202
9. Allegato 2: Report Fotografico sulla realizzazione della stazione sperimentale meteo-lisimetrica di Cornaredo 204
10. Bibliografia.....211

1. Simulazione dell'evapotraspirazione in ambito urbano

La ricerca in atto mira a sviluppare, calibrare e validare un modello di simulazione dinamica a passo orario dell'evapotraspirazione da coltura di riferimento (ET0) in ambito urbano.

2. Presupposti teorici

L'evapotraspirazione intesa come insieme della traspirazione da parte delle piante e dell'evaporazione da parte di superfici inanimate e un concetto introdotto negli anni 30 del XX secolo ad opera di Thorntwaite e Penman. (Allen et al., 1998)
Un ulteriore concetto di base è quello di evapotraspirazione da coltura di riferimento (ET0), in passato indicata come evapotraspirazione potenziale. ET0 si definisce come l'evapotraspirazione di una canopy compatta di Festuca pratensis che ombreggi completamente il suolo, con altezza 0.12 m, albedo di 0.23, resistenza superficiale rl= 70 s m^{-1}, condizioni ottimali di rifornimento idrico, di nutrizione e fitosanitarie ed estensione infinita (in modo tale da evitare effetti avvettivi).
Dall'ET0 si passa poi all'ETM (evapotraspirazione di una specie spontanea o coltivata in condizioni non limitante per l'acqua) moltiplicando per un idoneo coefficiente colturale (Kc).

Per determinare ET0 esistono metodi di stima e metodi di misura.
Fra i metodi di stima rammentiamo:

- evaporimetri (Allen et al., 1998)
- atmometri (Agronomy News - Colorado State University, 1999)
- equazioni a base empirica o meccanicistica fra cui si possono ricordare quelle di Penman Monteith e Hasrgreaves-Samani (Allen et al., 1998).

Fra i metodi a misura sono invece da ricordare:

- Sensori basati sulla misura delle caratteristiche elettriche (e fisiche in generale) del suolo in funzione del contenuto idrico: fra questi citiamo: TDR (Time Domain Reflectometry), scattering neutronico, gessetti porosi, idrometro di Bouyoucos. (The Encyclopedia of Soil Science, 1979)
- i lisimetri, discussi nel paragrafo seguente

3. Lisimetri a pesata e mini-lisimetri

I lisimetri sono nati originariamente per la conduzione di studi sul bilancio idrico delle colture legati sia alla calibrazione e validazione delle equazioni di stima dell'ET0 sia alla determinazione dei coefficienti colturali (Kc) necessari per trasformare i valori di ET0 in valori di ETM.
In termini generali un lisimetro è un blocco di terreno inserito in un apposito contenitore e sul quale vengono effettuate svariate attività di misura, fra cui la misura del peso, analisi chimiche sull'acqua drenata, ecc.
In particolare i lisimetri a pesata prevedono che il campione sia posto su un sistema di pesatura di tipo meccanico o elettronico.
In passato i lisimetri impiegati in agricoltura per la stima dei consumi idrici di colture erbacee ed arboree presentavano dimensioni considerevoli avendo volumi di terreno dell'ordine dei 3 -10 m^3, il che comportava costi elevati in termini di installazione e gestione. Ad esempio nel testo Lysimeters (Aboukhaled, A. 1982) si dichiara che per

ottenere una buona installazione lisimetrica il costo totale nel 1980 può superare i 50,000 $.
Negli anni più recenti si sono introdotti strumenti noti come **mini-lisimetri** che lavorano con volumi di suolo ridotti (in genere inferiori a 1 m^3) presentando costi di installazione e gestione più contenuti e consentendo comunque, secondo vari autori, di ottenere misure sufficientemente accurate: "*Micro-lysimeters can give the evaporation from individual surfaces, but they are still specific to their surroundings"* (WMO, Oke T. 2004).
Tali strumenti possono fra l'altro sfruttare la tecnologia delle celle di carico che è venuta affinandosi negli anni più recenti e che comunque appare inadatta a misure svolte sui volumi più elevati che caratterizzavano i lisimetri classici.

4. Lisimetria del progetto riclic

4.1. Stato attuale delle attività

E' stato predisposto un progetto di mini-lisimetro con doti di:

- flessibilità d'impiego
- facile riallocabilità
- costo contenuto
- attitudine all'uso operativo in stazioni meteo
- possibilità di giungere a misure quantitative dell'incertezza insita nella misura (tramite un numero congruo di repliche).

Il progetto finale prevede un lisimetro a pesata con sistema di pesatura a celle di carico. Per ogni sito viene approntata una stazione di monitoraggio comprendente un sistema lisimetrico per la misura diretta dell'evapotraspirazione, un atmometro per la stima dell'evapotraspirazione ed una stazione meteorologica che, attraverso la misura di temperatura e umidità relativa dell'aria, velocità del vento e radiazione globale, consente l'applicazione di metodi standard per la stima dell'ET0 (Penman Monteith, metodo della radiazione, ecc.).

4.2. Descrizione dei siti

I due siti prescelti per l'installazione delle stazioni di monitoraggio sono:

- Azienda Cascina Baciocca, Cornaredo (Milano) (fotografia 1, allegato 2).
- Polo L.I.T.A. , Segrate (Milano) (fotografia 2, allegato 2).

Entrambe le aree sono state scelte per la loro posizione che le vede come piccole zone verdi incastonate in ambiti urbanizzati e quindi come altamente rappresentative del clima suburbano tipico di gran parte della conurbazione milanese.
Inoltre entrambe le aree sono di Proprietà dell'università degli Studi di Milano e quindi facilmente accessibili e costantemente sorvegliate.

5. Schema progettuale

Lo schema progettuale definitivo è frutto della valutazione di una serie di ipotesi che hanno portato allo sviluppo di un primo progetto (allegato 1) che non ha avuto seguito a causa di

problemi di tipo tecnico/economico. Si è quindi giunti ad uno schema progettuale definitivo che viene qui di seguito descritto così come applicato per l'installazione di Cornaredo.

5.1. Schema progettuale Cornaredo

La stazione di monitoraggio micrometeorologico (**fig. 1**), realizzata presso l'azienda agricola Cascina Baciocca, di proprietà dell'Università degli Studi di Milano e situata in località Cornaredo (MI), consiste nei seguenti elementi:

- Sistema lisimetrico composto di 4 mini-lisimetri;
- Atmometro;
- Stazione micrometeorologica.

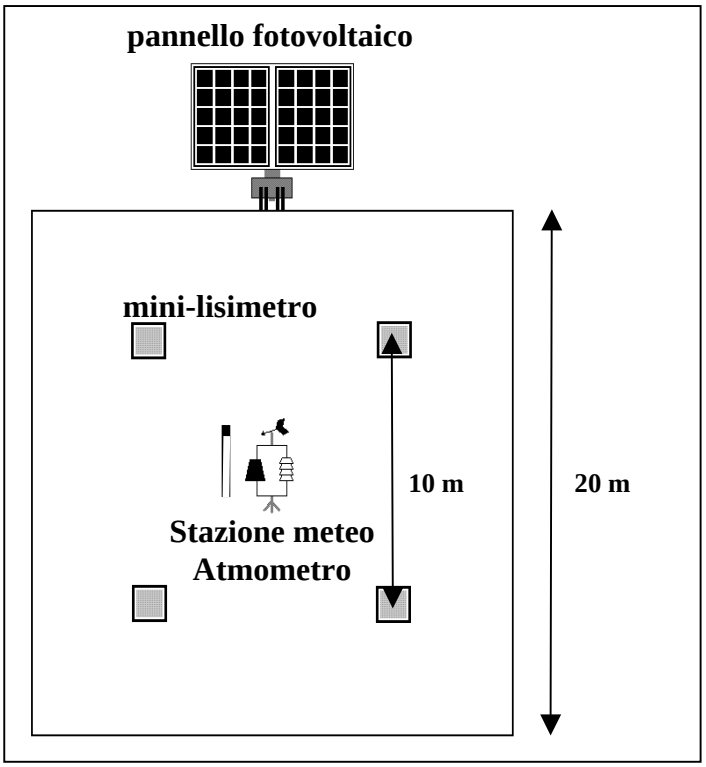


Figura 1 - Schema di disposizione della stazione di monitoraggio. Campo 20 X 20 m con copertura erbosa (Festuca pratrensis). Quadrato (10 X 10 m) dei quattro minilismetri (superficie del singolo mini-lisimetro:0.25 m^2, copertura: Festuca pratensis). La Stazione meteorologica e l'atmometro sono posizionati al centro del campo. Al margine del lato Nord è posizionato il pannello fotovoltaico che alimenta le quattro celle di carico.

5.1.1. Sistema lisimetrico a 4 mini-lisimetri

La soluzione adottata presso l'azienda Cascina Baciocca prevede l'utilizzo di 4 mini-lisimetri aventi ciascuno una superficie di 0.25 m^2 che complessivamente forniscono una superficie monitorata pari a 1 m^2.La scelta di ricorrere a 4 mini-lisimetri è data dall'opportunità di avere un numero di repliche sufficienti a rendere conto della variabilità spaziale e dell'errore di misura.
I quattro mini-lisimetri (**fig. 1**) sono disposti ai vertici di un quadrato avente lato pari a 10 m posizionato all'interno di un'area di 400 m^2 (20 x 20 m) interamente coltivata a prato (*Festuca pratensis*).
L'area di monitoraggio è dotata di un impianto irriguo a 5 irrigatori Pop-up (**fig. 2**) atto a mantenere i quattro mini-lisimetri ed il manto erboso dell'area in condizioni ottimali di rifornimento idrico.

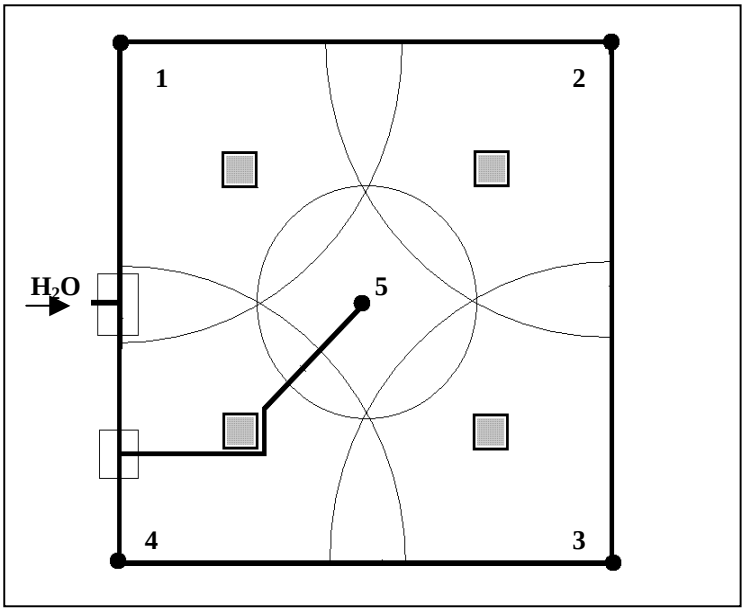


Figura 2 - Impianto di irrigazione. Disposizione dei 5 irrigatori Pop-up (numerati 1-5) e loro raggio di azione.

Ogni mini-lisimetro (**fig. 3**) è composto da:
1 - Struttura contenitiva prefabbricata (superficie 0.80 X 0.80 m, altezza 1.00 m) in cemento, dotata di fondo forato per sgrondo dell'acqua piovana.
Tale struttura è posizionata all'interno del terreno in modo che la superficie erbosa del mini-lisimetro si trovi allo stesso livello del manto erboso dell'area di monitoraggio.

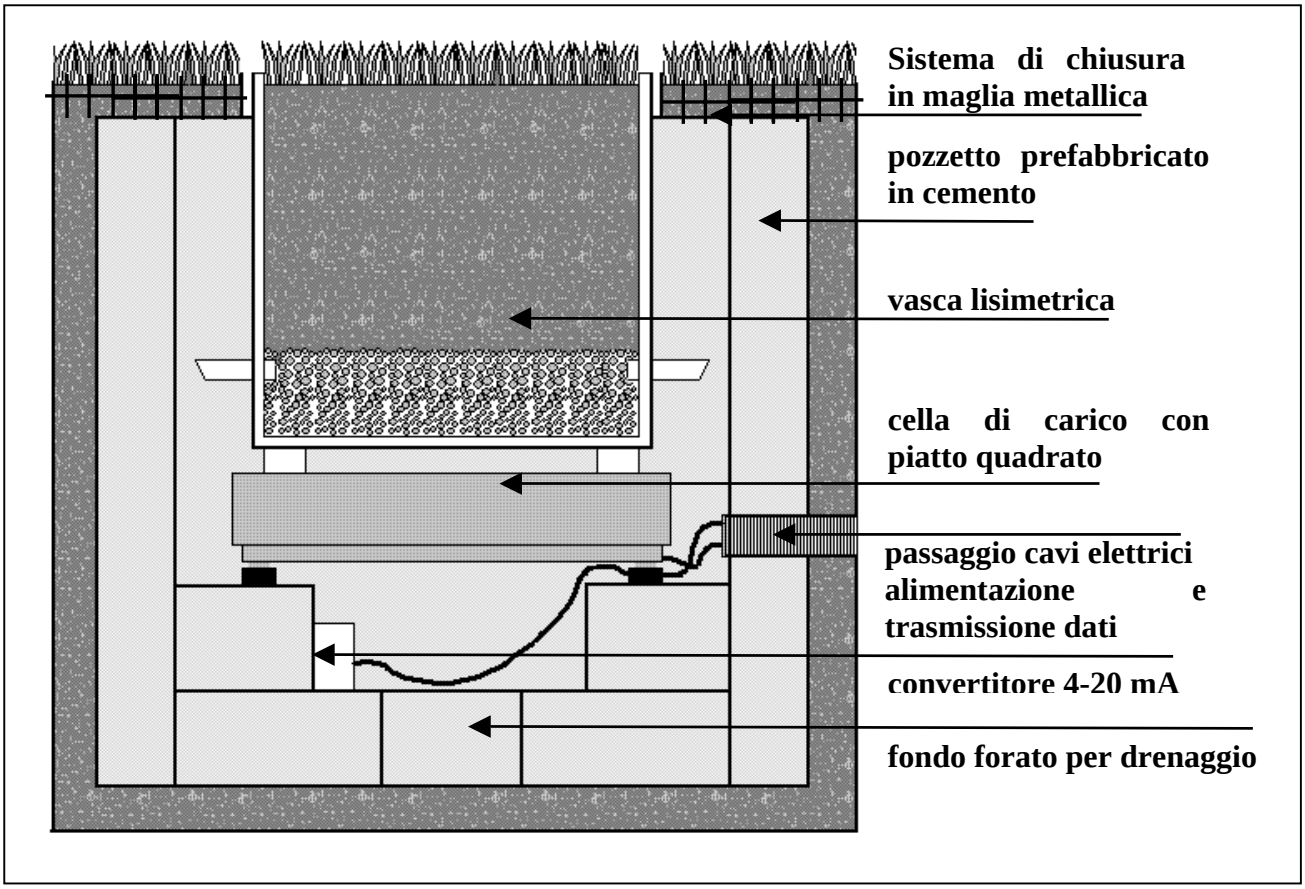


Figura 3 - Schema di costruzione del mini-lisimetro con evidenziati il pozzetto contenitivo in cemento ed il sistema di pesatura.

2 - Vaso di plastica (superficie 0.50 X 0.50 m, altezza 0.48) contenete il terreno ed il manto erboso (**fig. 4**).
Il terreno artificiale realizzato per il mini-lisimetro prevede un fondo di 0.12 m di argilla espansa. Tale strato crea una zona di riserva idrica per il manto erboso. Il volume d'acqua determinato da tale strato è necessario a soddisfare le esigenze evapotraspirative della pianta e pertanto deve essere sempre ben rifornito; da qui l'esigenza di una costante irrigazione garantita dall'impianto descritto in precedenza.
Al limite superiore dello strato di argilla sono stati realizzati nelle pareti del vaso due fori di "troppo pieno" atti a sgrondare eventuali eccessi idrici, così da prevenire condizioni di stress per la coltura.
Il restante volume del vaso è occupato da terreno composto per il 70% da torba e per il 30% da sabbia.
Come manto erboso per la copertura si è utilizza Festuca pratensis, come previsto dalle normative FAO per misure di ET0.

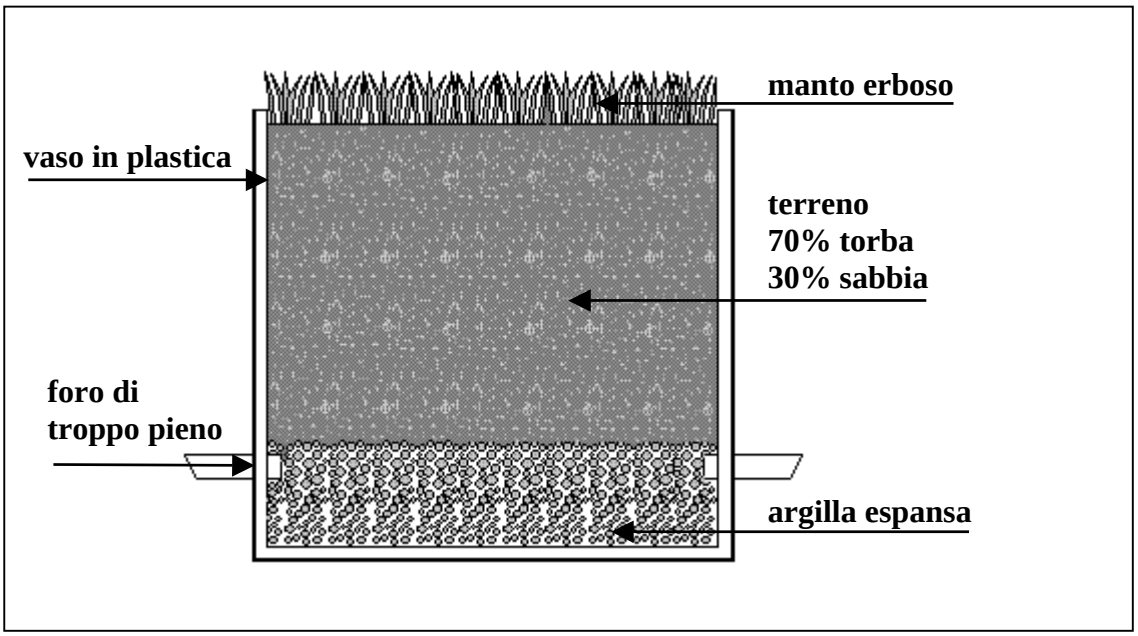


Figura 4 - schema di costituzione della vasca lisimetrica. Fondo in argilla con funzione di serbatoio idrico, strato di terreno (30% sabbia, 70% torba), copertura erbosa (Festuca pratensis).

3 - Celle di carico con piatto di pesata quadrato (0.60 X 0.60 m) (**fig. 3**).
Le quattro celle di carico della stazione forniscono il peso dei quattro vasi con un segnale 4–20 mA in continuo. I quattro segnali vengono registrati ogni minuto dal DAS (Data Acquisition System - cioè una centralina elettronica che gestisce i sensori e ne acquisisce i dati) della stazione meteorologica posta al centro dell'area (**fig. 5**).
Le celle di carico sono alimentate da un pannello solare posto al lato nord dell'area di monitoraggio ed orientato a sud (**fig. 5**).
Tale sistema di alimentazione rende la struttura lisimetrica indipendente dalla presenza in loco della rete elettrica.

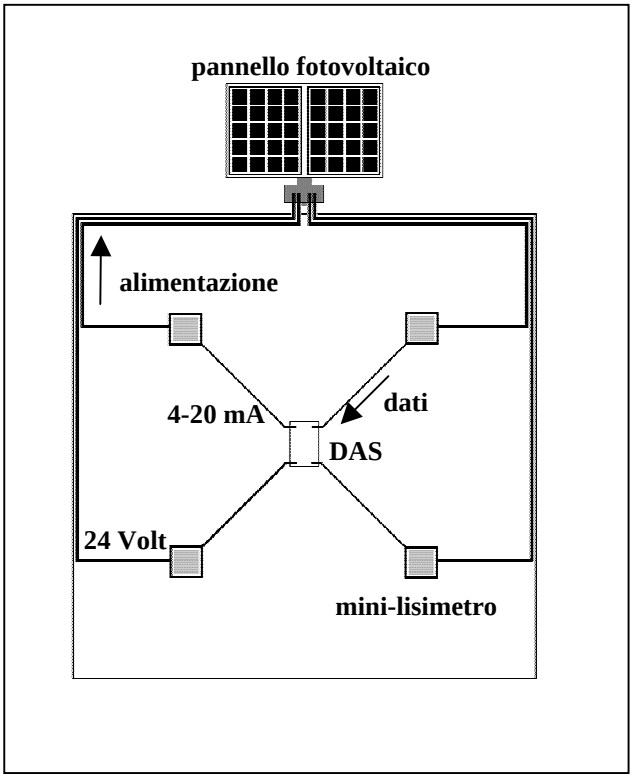


Figura 5 - schema elettrico delle celle di carico. Alimentazione a 24 Volt da pannello fotovoltaico. Trasmissione dati 4-20 mA verso il DAS della stazione meteorologica.

4 – Sistema di chiusura. Al fine di rendere minimo spazio vuoto attorno ai vasi, così da minimizzare eventuali distorsioni dell'ambiente monitorato, creando un continuum fra la superficie erbosa dei lisimetri e quella dell'area di monitoraggio, si è provveduto a chiudere l'apertura con una struttura in maglia metallica che sorregge uno strato di cotica erbosa (**fig. 3**).

5.2. Atmometro

L'atmometro (fotografia 10, allegato2) consiste in una cupola di ceramica porosa, montata alla sommità di un serbatoio d'acqua cilindrico. La coppa ceramica è ricoperta da tessuto verde in Goretex.
Il serbatoio dell'atmometro, riempito di acqua distillata, rifornisce in modo continuo la cupola attraverso una pompa elettrica. L'acqua evapora così dalla superficie ceramica emulando il comportamento evapotraspirativo del manto erboso di riferimento per l'ET0 (Festuca pratensis).
L'atmometro fornisce quindi una stima dell'ET0.
I dati forniti dall'atmometro vengono acquisiti con passo temporale pari a 30 minuti da uno specifico DAS.
L'atmometro è inoltre fornito di un'asta graduata sul bordo in modo da permettere una lettura diretta ed immediata dell'acqua evaporata.
I dati misurati dall'atmometro verranno quindi confrontati con le misurazioni dirette effettuate tramite i mini-lisimetri.

5.2.1. Stazione micrometeorologica

La stazione micrometeorologica è dotata di :

- sensore termometrico per la misurazione della temperatura dell'aria (1.00 m);
- sensore termometrico per la misurazione della temperatura dell'aria (1.80 m);
- radiometro per misurazione della radiazione globale;
- anemometro (velocità e direzione vento) ;
- pluviometro;
- DAS per la gestione dei sensori e l'acquisizione dei dati misurati.

La stazione, alimentata a batterie stilo, è posizionata al centro dell'area sperimentale (fotografia 10, allegato 2).
Il DAS della stazione acquisisce i dati rilevati dai sensori con un passo temporale pari ad un minuto. Lo stesso DAS, inoltre, registra i dati provenienti dalle quattro celle di carico (sempre con passo temporale di un minuto). In questo modo viene fornito un unico file di output, comprendente i dati meteo ed i dati di pesata delle quattro celle, pronto per le successive elaborazioni. In questa configurazione la stazione registra dati ininterrottamente per 27 giorni senza la necessità di procedere allo svuotamento della memoria.

Il **protocollo sperimentale** adottato per il monitoraggio prevede:

- Irrigazione giornaliera per aspersione per mantenere il manto erboso in condizioni ottimali, con verifica dei quantitativi di acqua irrigua e secondo orari prestabiliti;
- Controllo dell'altezza del manto erboso (deve essere mantenuta un'altezza inferiore ai 20 cm, al fine di rispettare le norme FAO -Allen et al., 1998).
- Prelievo dell'erba tagliata e sua pesatura (peso fresco e peso secco dopo essiccamento in stufa) al fine di rendere conto delle variazioni di peso causate dalla biomassa asportata;
- Campionamenti di peso, da parte delle celle di carico, eseguiti ogni minuto;
- Ricalibrazione mensile delle celle di carico, al fine di evitare possibili effetti di deriva della strumentazione.

6. Risultati

Esaminando i dati misurati dalle celle di carico si nota una notevole accuratezza e prontezza della misura. Queste caratteristiche sono evidenti, ad esempio, nell'esame dei dati in corrispondenza di un evento piovoso datato 26 agosto 2006 (24.6 mm in poco più di un'ora). Le celle di carico hanno reagito prontamente all'apporto precipitativo, misurando un aumento di peso che nelle 4 celle varia da un minimo di 6.183 Kg ad un massimo di 6.313 Kg.. Tali valori forniscono un'ottima stima dell'evento precipitativo, in quanto determinano rispettivamente apporti idrici pari a 24.252 mm e 24.728 mm (tali valori si ottengono moltiplicando il peso misurato dal lisimetro, avente superficie di 0.25 m^2, per 4 ottenendo così il peso al metro quadrato che equivale al valore in mm della precipitazione). Viene di seguito riportato l'esempio relativo alla cella 1 in relazione all'evento piovoso descritto.

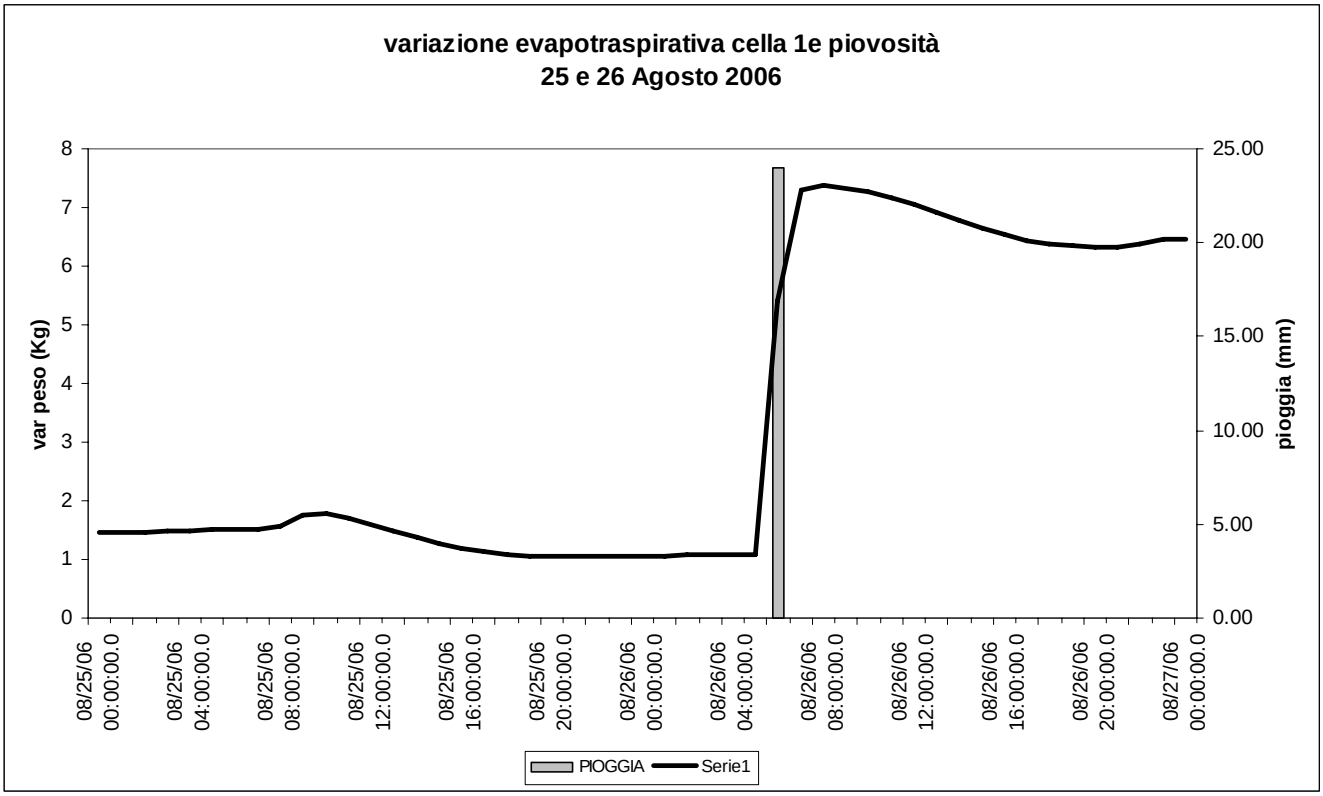


Grafico 2 –Andamento dell'evapotraspirazione in corrispondenza di un evento piovoso di 24,6 mm.

Nel grafico 3 si può osservare la misurazione dell'evapotraspirazione ET0 da parte delle 4 celle di carico.
Si è preso come esempio il 2 settembre, giornata di tempo stabile e soleggiato con vento debole e temperatura massima di 27°C.
Dalle variazioni di peso da un'ora all'altra si può calcolare l'evapotraspirazione oraria che, cumulata sulle 24 ore, fornisce un valore che oscilla, a seconda del lisimetro, da un minimo di 4,1 mm ad uno massimo di 4,9 mm, valori che rientrano in un intervallo di variabilità da considerare in prima battuta ragionevole.

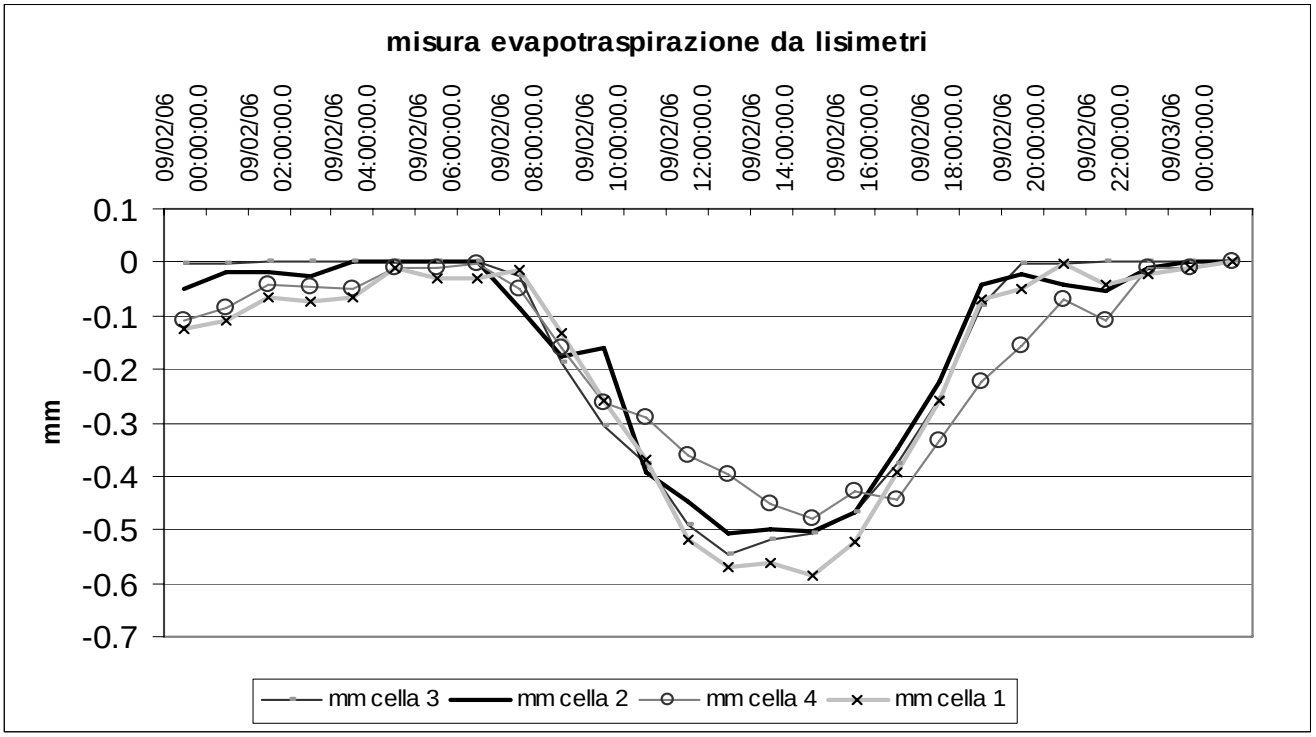


Grafico 3 – Andamento dell'evapotraspirazione durante una giornata soleggiata estiva con vento debole, 2/9/06.

Elemento chiave nella gestione di un lisimetro è il mantenimento del manto erboso in una condizione idrica ottimale. La coltura infatti non deve mai trovarsi in condizioni di stress idrico.
Inizialmente è stato necessario fornire abbondanti irrigazioni in modo da portare i quattro vasi alla condizione di regime idrico ottimale. Tali irrigazioni hanno determinato considerevoli innalzamenti del peso dei vasi, seguiti da repentine diminuzioni determinate dallo sgrondo dell'acqua in eccesso. Anche questi fenomeni sono stati prontamente rilevati dalle celle di carico.
Da notare nel grafico 4 come i quattro vasi, pur essendo stati caricati d'acqua in modo leggermente differente, mostrino un comportamento evapotraspirativo analogo.
Nel grafico successivo, numero 5, si evidenzia la variazione di peso nei vasi in corrispondenza di un'irrigazione automatica per aspersione.
Complessivamente quindi i primi dati rilevati presso la stazione di Cornaredo forniscono informazioni di buona qualità che confortano riguardo all'affidabilità ed all'accuratezza delle misure.

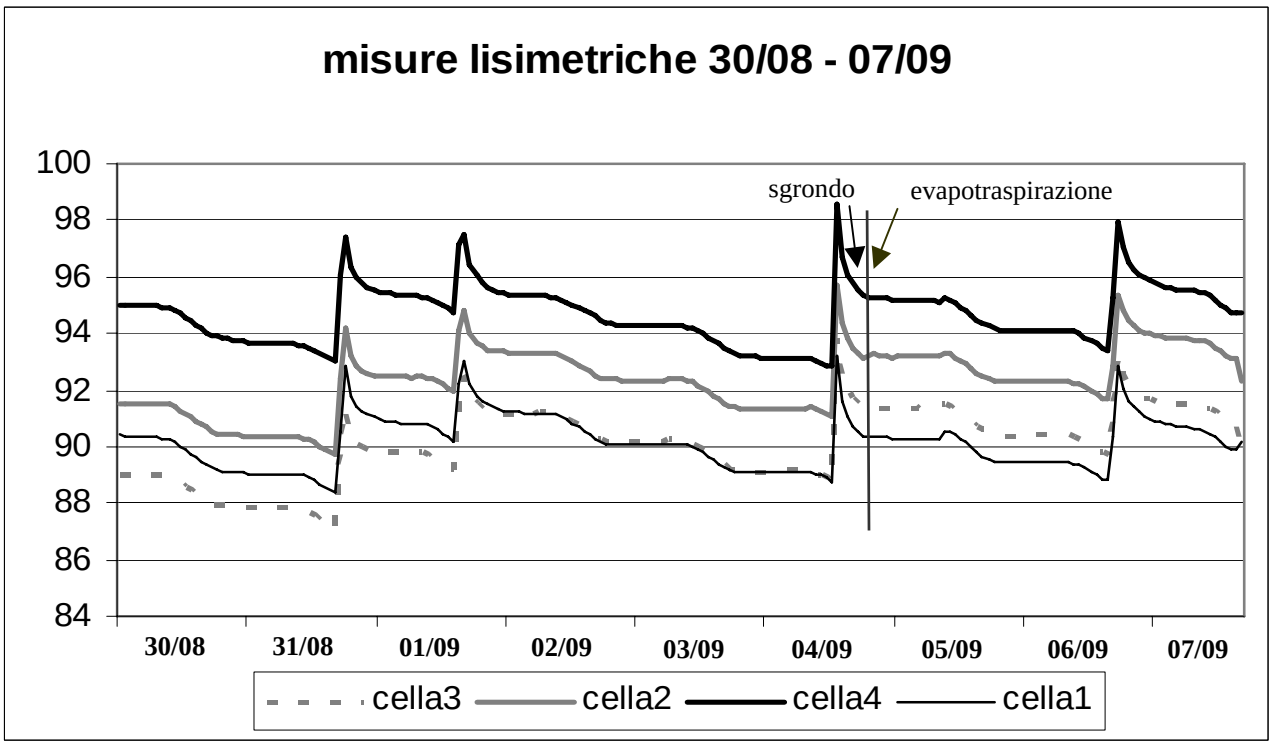


Grafico 4 – Misure lisimetriche con visibili picchi di peso durante consistenti apporti idrici. Si evidenzia con la linea di separazione grigia, la fase in cui sgronda l'acqua in eccesso e la fase di evapotraspirazione

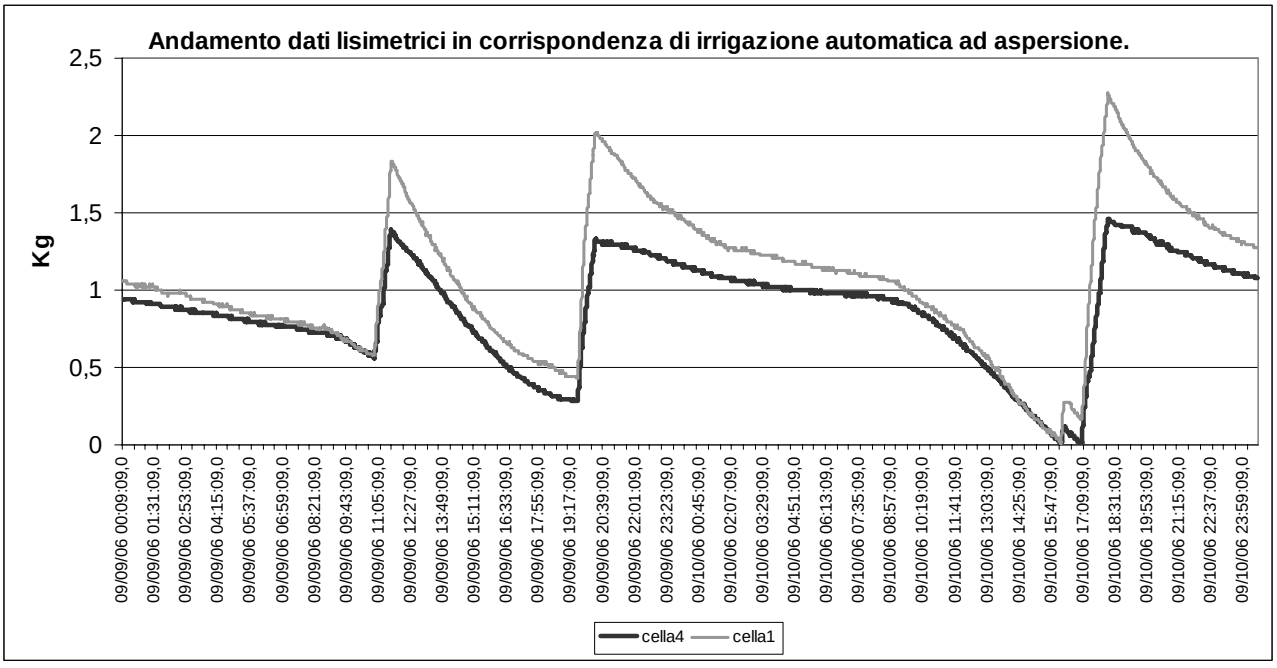


Grafico 5 - *Misure* lisimetriche con corrispondenti dati relativi ad apporto idrico da irrigazione automatica ad aspersione

La campagna di monitoraggio procederà in maniera continua per i prossimi due anni del progetto.
Questi dati, accompagnati da quelli rilevati dalla stazione meteorologica, permetteranno un'analisi approfondita dell'evapotraspirazione in ambiente semi-urbano.

Inoltre i dati misurati con i mini-lisimetri verranno confrontati con quelli rilevati dall’atmometro, così da fornire un giudizio qualitativo sulla stima dell’evapotraspirazione fornita da tale strumento

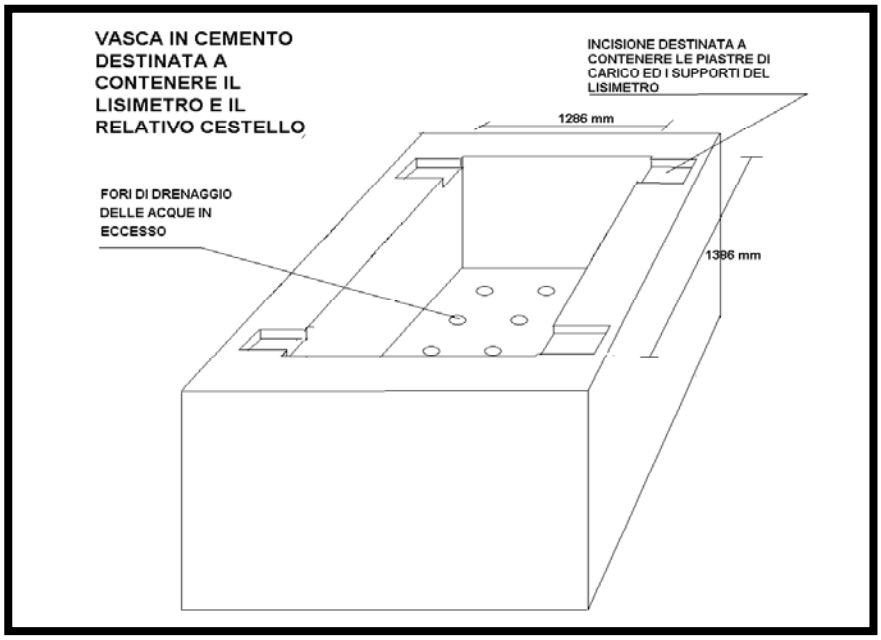
7. Collaborazione al recupero di serie storiche

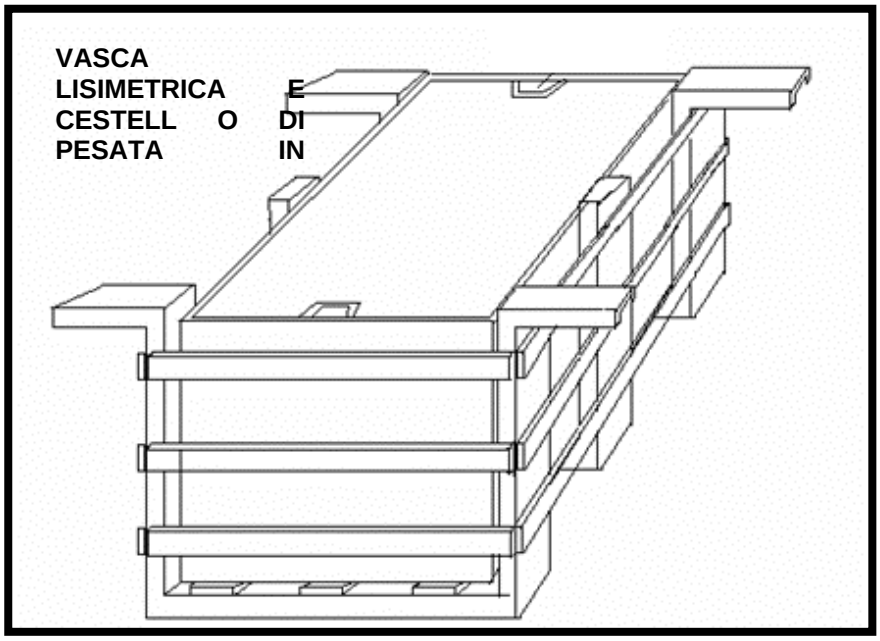
Il progetto Riclic Warm prevede un'intera sezione dedicata al recupero delle serie storiche termometriche, pluviometriche e, per le stazioni montane, anche nivometriche, relative all'intera area lombarda.
Data la grande mole di lavoro che tale operazione comporta, il WP 5/6, come da accordo intercorso fra i diversi WP, supporta il WP 1 nella digitalizzazione dei dati presso la sala consultazione dell'ufficio idrografico di ARPA Lombardia in Milano.
I collaboratori al progetto si sono occupati della digitalizzazione nelle seguenti date:
7/3 - 14/3 - 6/4 - 11/4 - 13/4 - 18/4 - 20/4 - 27/4 - 2/5 - 4/5 - 9/5 - 11/5 - 25/5 - 30/5 - 6/6 - 13/6 15/6 - 20/6 - 29/6 - 4/7 - 13/7 – 20/7 – 27/7.
Tale operazione procederà anche nel corso della prossima stagione.

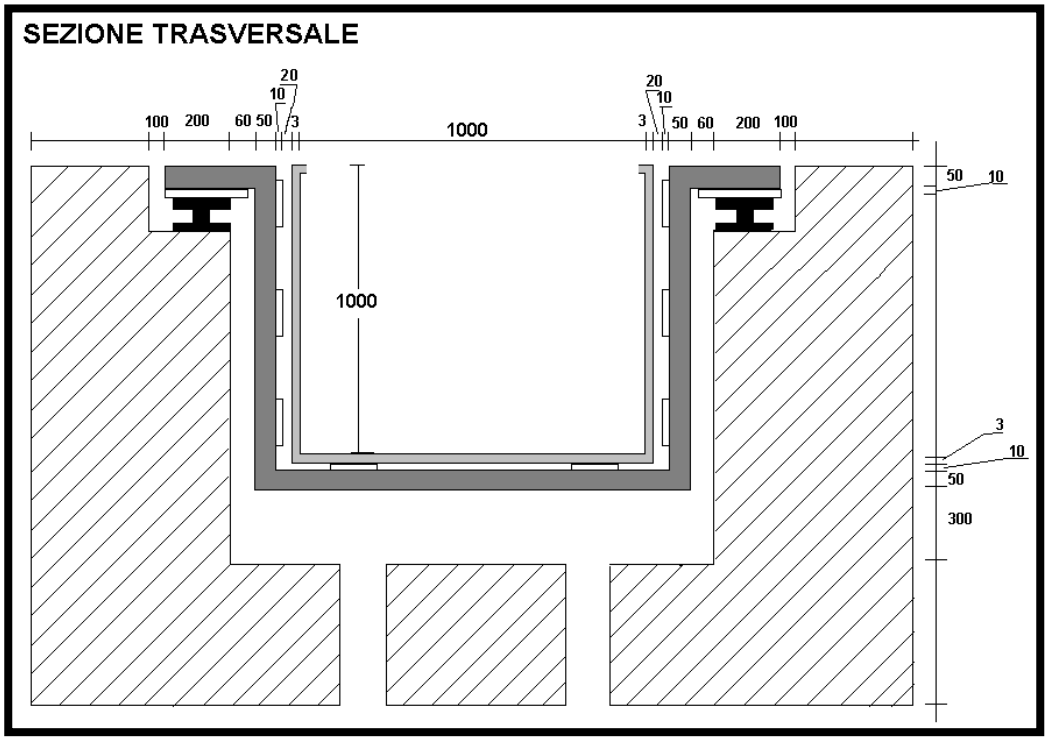
8. Allegato 1 – Minilisimetro: prima ipotesi realizzativa

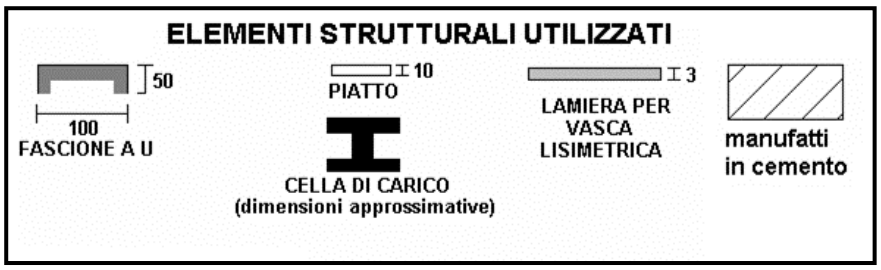
Qui di seguito vengono riportate le specifiche tecniche del primo progetto di minilisimetro che non è stato realizzato per motivi di natura tecnica ed economica.

superficie verde 100X130 cm
profondità 100 cm
fondo drenante in argilla espansa 35 cm
strato di terra di 65 cm









Problemi evidenziati dall'analisi del minilisimetro:

1. peso elevato della stuttura nel suo complesso
2. necessita' di ricorrere ad una struttura portante in cemento armato
3. incapacita' di cogliere la variabilita'
4. costo complessivo elevato

9. Allegato 2: Report Fotografico sulla realizzazione della stazione sperimentale meteo-lisimetrica di Cornaredo

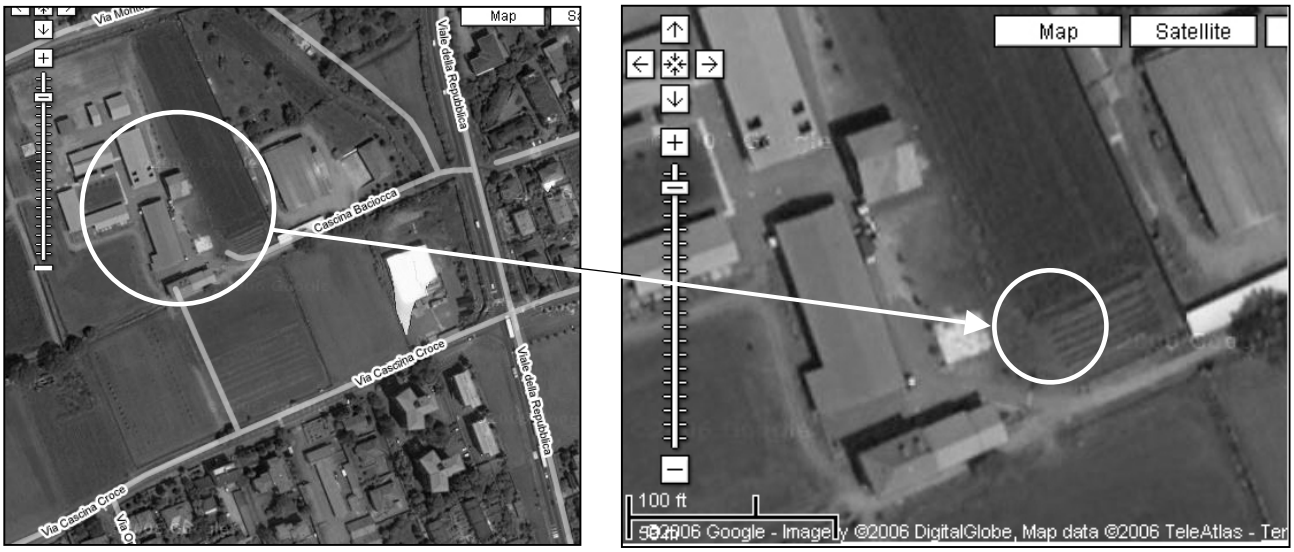


foto 1 Fotografia satellitare dell'area installazione lisimetrica presso la Cascina Baciocca Cornaredo (MI) -

foto 2 Area della futura installazione lisimetrica presso il Polo L.I.T.A. – Segrate (MI)

foto 3 Scavi per la posa dei lisimetri e dell'impianto di irrigazione (17/8/2006)

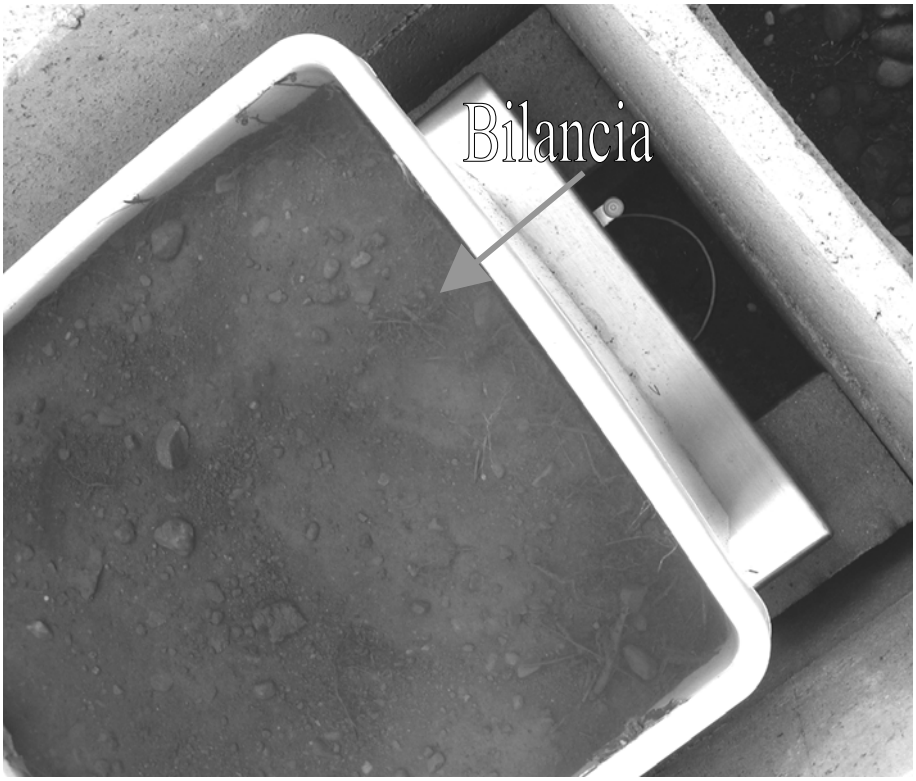


foto 4 Lisimetro su relativa Bilancia a cella di carico

foto 5 Lisimetro, con relativo pozzetto e cavo di alimentazione (17/8/06)

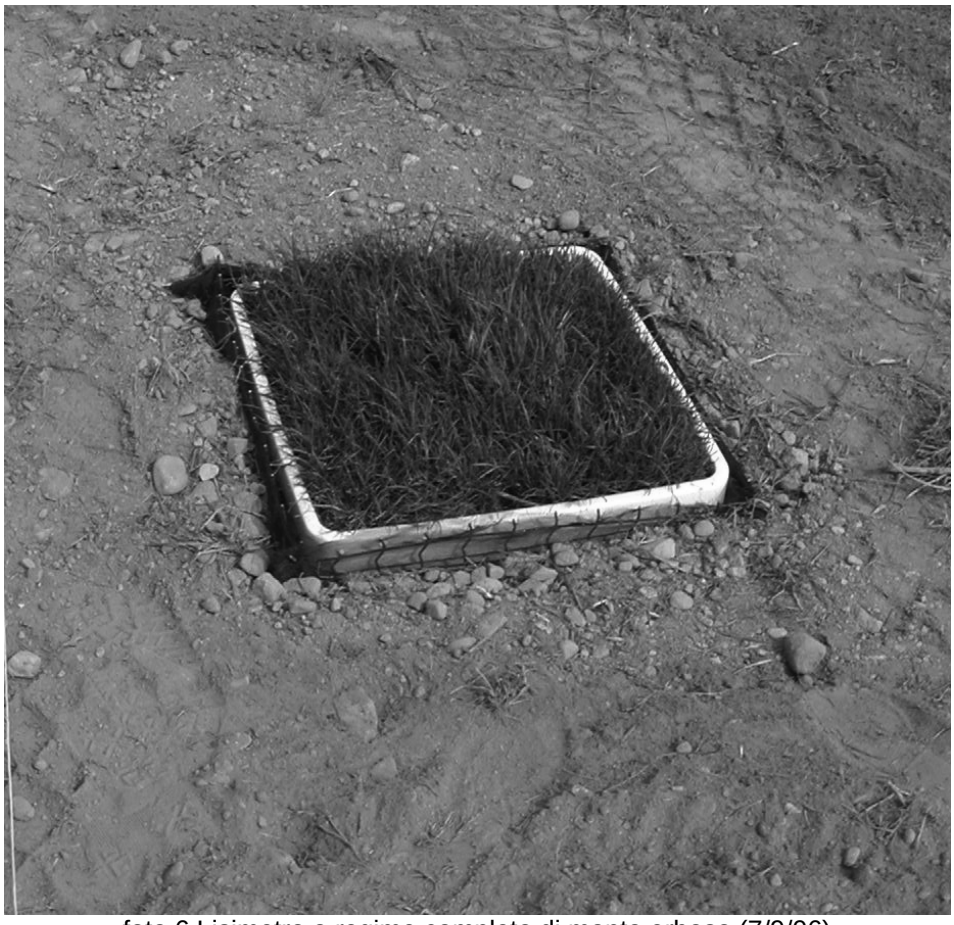


foto 6 Lisimetro a regime completo di manto erboso (7/9/06)

foto 7 Lisimetro a regime con prato circostante (12/9/06)

foto 8 Impianto di irrigazione stazione lisimetrica – test operativo

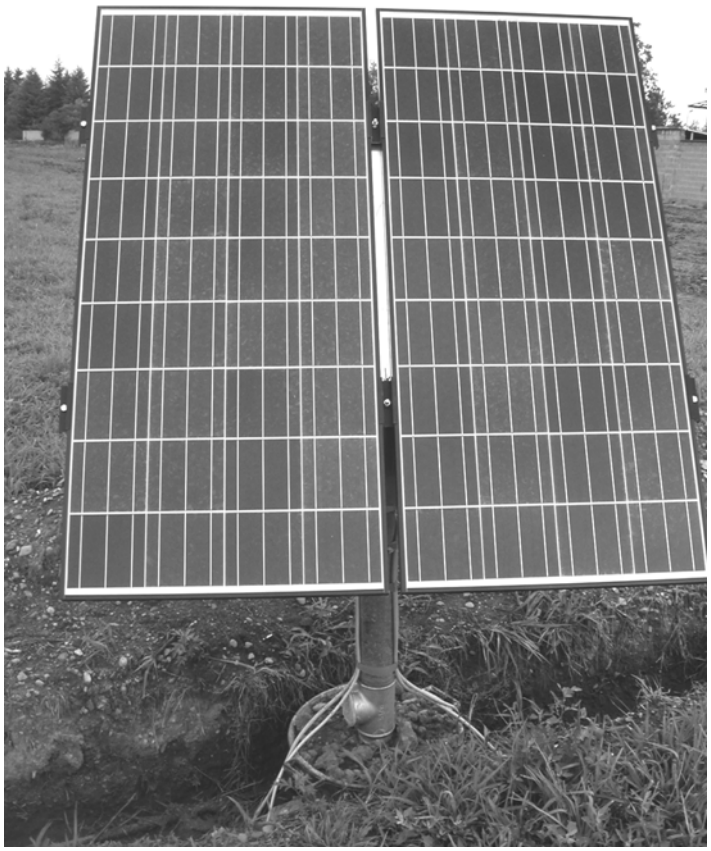


foto 9 Pannello fotovoltaico per l'alimentazione dei lisimetri

foto 10 Stazione meteo completa di termo-igrometri, pluviometro, anemometro ed atmometro

10. Bibliografia

Aboukhaled, A., Alfaro A., Smith M. 1982. Lysimeters, FAO irrigation and drainage paper , 39 .

Allen, R.G., Fisher, D.K. 1990. Low-cost electronic weighing lysimeters. Am. Soc.Agric. Eng. 33 (6), 1823-1833.

Allen R.G., Howell T.A., Pruitt W.O., Walter I.A., and Jensen M.E. 1991 - Proceedings of the 1991 ASCE Specialty Conference on “Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements”, Honolulu, Hawaii., July 23-25.

Allen et al. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56.

Benincasa, 1992. Confronto tra metodi micrometeorologici e lisimetro in misure di evapotraspirazione reale. Rivista di agronomia 1992 26.1 , 19-24.

Boughey, A.S.: 1968, Ecology of Populations, The Macmillan Company, New York, 135 p.

Braun – Blanquet, J.: 1932, Plant sociology: the study of plant communities, McGraw-Hill, New York, 439.

Diaz-Espejo, A., Verhoef A., Knight R. 2005. Illustration of micro-scale advection using grid-pattern mini-lysimeters, Agricultural and Forest Meteorology 129 39-52

Donatelli, M. and Campbell, G.S.: 1998, ‘A simple model to estimate global solar radiation’ in Proceedings 5th ESA Congress, Nitra, Slovak Republic, pp. 133-134.

Dugas, W.A., Upchurch, D.R., Ritchie, J.T. 1985. A weighing lysimeter for evapotranspiration and root measurements. Agronomy J. 77, 821-825.

Dugas, W.A., Bland, W.L., 1989. The accuracy of evaporation measurements from small lysimeters. Agric. For. Meteorol., 46: 119-129.

France, J. and Thornley, J.H.M.: 1984, Mathematical models in agriculture, Butterworths, 335.

Goudriaan J., H.H. van Laar. 1978. Calculation of daily totals of the gross CO2 assimilation of leaf canopies. Neth. J. Agric. Sci. 26:373–382.

Keulen, H. van, and Wolf J. (eds.): 1986, Modelling of agricultural production: weather, soil and crops, CABO - DLO, Simulation Reports, 478.

Makkink G.F. 1957. Testing the penman formula by lysimeters J.Int.Water Eng. 11(3) 277-288.

Mariani L., Maugeri M., 2002. “Alcune considerazioni ditipo agroclimatico sulle serie storiche della Sicilia orientale”. Atti del ConvegnoNazionale di Agrometeorologia, AIAM 2002, 84-95.

Mutziger A. J., Burt C. M., Howes D. J., Allen R. G. .2005. Comparison of Measured and FAO-56 Modeled Evaporation from Bare Soil, J. Irrig. and Drain. Engrg., Volume 131, Issue 1, pp. 59-72 (January/February 2005).

Oke,T. 2004. WMO report 81 - Initial guidals - representative meteorological observations sites.

Rhodes W. et al. 1979. The Encyclopedia of soil science, Dowden, Hutchinson & Ross.

Susan C., B. Grimmond B., lsard S. A., Belding M.J . 1992. Development and evaluation of continuously weighing mini-lysimeters , Agricultural and Forest Meteorology, 62 205-218.

WP9 – Valutazione dei risultati ed ottimizzazione del monitoraggio per la gestione delle risorse idriche
(end user activity)

Responsabile: Dott. Enrico Zini – ARPA Lombardia

Collaboratori: Basile, Dott. Maffei, Ing. Manenti, Ing. Martinelli, Pistone, Dott. Russo, Ing.Serra, Ing. Sulis – ARPA Lombardia, U.O. IDROGRAFIA
Dott.ssa Bravi, Dott. Jean, Dott.ssa Tognoli – ARPA Lombardia, U.O. ACQUE SOTTERRANEE
Dott. Barollo, Dott. Bellingeri, Dott.ssa Bellomi – ARPA Lombardia, U.O. SISTEMI INFORMATIVI
Dott. Lussana, Dott.ssa Salvati, Dott. Valentini – ARPA Lombardia, U.O. METEOROLOGIA

INDICE

1. Introduzione 215
2. Contributi di ARPA Lombardia sui dati climatici e acque superficiali 215
2.1. Pioggia: 1135 anni forniti in formato digitale (37 stazioni) 216
2.2. Temperatura: 317 anni forniti in formato digitale (20 stazioni)..... 217
2.3. Livelli idrometrici: 104 anni forniti in formato digitale (15 stazioni).. 217
2.4. Portate: 389 anni forniti in formato digitale (7 stazioni)..... 218
2.5. Supporto alla validazione dei dati 218
3. Contributi di ARPA Lombardia sulle acque sotterranee 218
4. Prossimi passi 220

1. Introduzione

Il ruolo di ARPA Lombardia nell'ambito del WP9 è stato focalizzato, nella prima annualità, al supporto all'acquisizione delle serie storiche dei dati meteorologici ed idrologici necessari ai WP1 e WP2. Contestualmente a questa attività si è collaborato con il WP1 nella definizione dei criteri per l'informatizzazione che consentano la condivisione della banca dati idro-meteorologica tra i diversi partner del progetto.
Si sono consolidate le collaborazioni già esistenti sulla raccolta e condivisione dei dati climatologici con i servizi idrometeorologici regionali omologhi del bacino del Po e con alcuni centri di eccellenza; in particolare i canali di scambio dati mantenuti in attività sono con i seguenti enti:

- Arpa Emilia Romagna, Arpa Liguria, Arpa Piemonte, Arpa Veneto (tutti Servizio IdroMeteo Regionali);
- Isac CNR Bologna, Università degli Studi di Milano (Prof. Maugeri, Dott. Lentini, Dott. Brunetti);
- Apat, Servizio Idrologico, Servizio Monitoraggio Acque Interne e Servizio Gestione e Raccolta Dati.

Prosegue inoltre la collaborazione con il Consorzio dell'Adda e dal prossimo anno sarà avviata la condivisione dei dati in real time.

2. Contributi di ARPA Lombardia sui dati climatici e acque superficiali

Il supporto di ARPA Lombardia (UO Idrografia, Settore Sistemi Informativi Ambientali) ha compreso e comprende tuttora le seguenti attività:

- fornitura della consistenza dell'archivio cartaceo presente presso la U.O. Idrografia (fornitura del programma d'archiviazione Sesamo);
- fornitura dell'integrazione della consistenza dei dati digitalizzati provenienti dal programma Wingadi e dal database creato dal PTUA;
- assistenza tecnica per risolvere problemi riscontrati nella lettura di schede e diagrammi e nel confronto tra questi dati e gli Annali; per questa tipologia di dati non è possibile indicare la quantità fornita in quanto gli Annali sono a disposizione in libero accesso nella sala consultazione e, per quanto riguarda i dati cartacei registrati in schede e diagrammi, solo recentemente l'accesso all'archivio è stato ristretto al solo personale di ARPA Lombardia; non è possibile pertanto ricostruire i dati effettivamente visionati;
- fornitura dell'anagrafica delle stazioni consistente nelle coordinate delle stazioni, quota, quota zero idrometrico (per stazioni idrometriche) e metadati per la ricostruzione di errori o malfunzionamenti degli strumenti;
- fornitura di dati digitalizzati di piogge, temperature, livelli idrometrici e portate, come da tabelle dei successivi paragrafi (2.1-2.4).

Sia per la pioggia che per le temperature estreme giornaliere sono stati raccolti anche i dati delle serie storiche centenarie giornaliere dell'ISAC-CNR di Bologna, che si rendono disponibili per la parte utile a questo studio.

2.1. Pioggia: 1135 anni forniti in formato digitale (37 stazioni)

n° stazione	Stazione	Fonte	n° anni
1	Asso	PTUA	33
2	Bergamo	Wingadi	9
		PTUA	56
3	Brembate Sotto	PTUA	34
4	Busto Arsizio	Wingadi	2
5	Calolziocorte	Wingadi	9
		PTUA	33
6	Carona	Wingadi	13
7	Casalmaggiore	Wingadi	3
8	Chiari	PTUA	43
9	Clusone	Wingadi	3
		PTUA	46
10	Codogno	Wingadi	10
11	Como	Wingadi	2
		PTUA	38
12	Costa Serina	PTUA	30
13	Crema	PTUA	62
14	Cremona	Wingadi	2
		PTUA	41
15	Faggeto Lario	Wingadi	1
		PTUA	19
16	Fusino	Wingadi	10
17	Gandino	Wingadi	3
		PTUA	47
18	Garzeno	PTUA	41
19	Gerola Alta	Wingadi	2
20	Lago del Diavolo	Wingadi	8
21	Lago Cancano	Wingadi	18
22	Lierna	PTUA	21
23	Lodi	Wingadi	5
		PTUA	62
24	Monza	Wingadi	7
25	Olera	PTUA	31
26	Olginate	PTUA	43
27	Olmo al Brembo	Wingadi	7
28	Pagnona	Wingadi	10
		PTUA	11
29	Pavia	Wingadi	2
		PTUA	70
30	Piazza Brembana	PTUA	18
31	Rotafuori	PTUA	25
32	S.Pellegrino Terme	Wingadi	8
33	Treviglio	Wingadi	9
		PTUA	42
34	Valbondione	Wingadi	5
		PTUA	36
35	Vedesta	Wingadi	2
		PTUA	27
36	Vigevano	PTUA	48
37	Zogno	PTUA	28

2.2. Temperatura: 317 anni forniti in formato digitale (20 stazioni)

n° stazione	Stazione	Dato	Fonte	n° anni
1	Bergamo	T medie	PTUA	14
2	Bergamo Orio al Serio	T medie	PTUA	2
3	Bergamo S. Lucia	T medie	PTUA	43
4	Casalmaggiore	T est	Wingadi	4
		T max	Wingadi	4
		T min	Wingadi	4
5	Cassano d'Adda	T medie	PTUA	23
6	Clusone	T medie	PTUA	3
67	Codogno	T medie	PTUA	4
8	Crema	T medie	PTUA	9
9	Cremona	T medie	PTUA	15
10	Faggeto Lario	T est	Wingadi	3
		T medie	PTUA	1
11	Lierna	T medie	PTUA	2
12	Lodi	T est	Wingadi	33
		T medie	PTUA	40
13	Ludrigno	T medie	PTUA	2
14	Olginate	T est	Wingadi	10
		T medie	PTUA	40
15	Pagnona	T medie	PTUA	2
16	Pian del Gorghiglio	T medie	PTUA	4
17	S.Giovanni Bianco	T est	Wingadi	3
		T medie	PTUA	4
18	S.Pellegrino terme	T medie	PTUA	40
19	Treviglio	T medie	PTUA	4
20	Vigevano	T est	Wingadi	3
		T min	Wingadi	1

2.3. Livelli idrometrici: 104 anni forniti in formato digitale (15 stazioni)

n° stazione	Stazione	Fonte	n° anni
1	Casalmaggioe	Wingadi	4
2	Caslino d'Erba	Wingadi	9
3	Fortilizio	Wingadi	1
4	Gueglia	Wingadi	10
5	Lambro Parco Feltre	Wingadi	10
6	Lodi	Wingadi	4
7	Miorina	Wingadi	10
8	Po a Boretto	Wingadi	5
9	Po a Borgoforte	Wingadi	5
10	Ponte Briolo	Wingadi	16
11	Ponte Cene	Wingadi	10
12	S. Colombano al Lambro	Wingadi	9
13	S.Maria Lavello	Wingadi	9
14	Turbigo Langosco	Wingadi	1
15	Turbigo Ticino	Wingadi	1

2.4. Portate: 389 anni forniti in formato digitale (7 stazioni)

n° stazione	Stazione	Fonte	n° anni
1	Capriolo	Wingadi	66
2	Fuentes	Wingadi	55
3	Gavardo	Wingadi	53
4	Miorina Valle	Wingadi	72
5	Monzambano-Virgilio	Wingadi	38
6	Ponte Briolo	Wingadi	48
7	S.Maria Lavello	Wingadi	57

2.5. Supporto alla validazione dei dati

Ulteriore collaborazione sarà fornita dal personale dell'U.O. Idrografia in sede di validazione dei dati digitalizzati dai diversi WP del progetto. A tal fine, il WP1 ha fornito parte dei dati digitalizzati, ovvero quelli provenienti dalla digitalizzazione delle schede mensili, sia per le piogge giornaliere, sia per le temperature giornaliere.

3. Contributi di ARPA Lombardia sulle acque sotterranee

Sono stati raccolti e messi a disposizione della Dott.ssa Tullia Bonomi, in data 14 novembre 2005, i seguenti dati:

- dati quantitativi:

Caratteristiche del dato	
arco temporale	anno **2001**
numero di pozzi	276
distribuzione territoriale	su tutta la Regione
frequenza delle misure	mensile, da maggio a dicembre
numero misure	non ci sono per tutti i pozzi le misure di tutti mesi
parametri monitorati	piezometria
informazioni collegate	informazioni amministrative, localizzazione geografica, indirizzo, ctr, codice (vario o AQUAGEST), presenza/assenza della stratigrafia, proprietario o gestore, profondità, falda, quota, caratteristiche costruttive
tipo di archiviazione	file excel
fornitura del dato	su supporto informatico (cd)

Caratteristiche del dato	
arco temporale	anno **2002**
numero di pozzi	255
distribuzione territoriale	su tutta la Regione
frequenza delle misure	mensile da gennaio a dicembre
numero di misure	non ci sono per tutti i pozzi le misure di tutti mesi
parametri monitorati	piezometria
Informazioni collegate	informazioni amministrative, localizzazione geografica, indirizzo, ctr, codice (vario o AQUAGEST), presenza/assenza della stratigrafia, proprietario o gestore, profondità, falda, quota, caratteristiche costruttive

Caratteristiche del dato	
tipo di archiviazione	file excel
fornitura del dato	su supporto informatico (cd)

Caratteristiche del dato	
arco temporale	anno **2003**
numero di pozzi	255
distribuzione territoriale	su tutta la Regione
numero di misure	non ci sono per tutti i pozzi le misure di tutti mesi
frequenza delle misure	mensile da gennaio a dicembre
parametri monitorati	piezometria
Informazioni collegate	informazioni amministrative, localizzazione geografica, indirizzo, ctr, codice (vario o AQUAGEST), presenza/assenza della stratigrafia, proprietario o gestore, profondità, falda, quota, caratteristiche costruttive
tipo di archiviazione	file excel
fornitura del dato	su supporto informatico (cd)

Caratteristiche del dato	
arco temporale	anno **2004**
numero di pozzi	254
distribuzione territoriale	su tutta la Regione
numero di misure	non ci sono per tutti i pozzi le misure di tutti mesi
frequenza delle misure	mensile da gennaio a dicembre
parametri monitorati	piezometria
Informazioni collegate	informazioni amministrative, localizzazione geografica, indirizzo, ctr, codice (vario o AQUAGEST-RIAL), presenza/assenza della stratigrafia, proprietario o gestore, profondità, falda, quota, caratteristiche costruttive
tipo di archiviazione	file excel
fornitura del dato	su supporto informatico (cd)

- dati qualitativi:
  Non sono stati consegnati in quanto giudicati non di interesse per il raggiungimento degli obiettivi del progetto.

Se di interesse, a fine 2006 - inizio 2007 potranno essere forniti, dopo la validazione da parte della Regione Lombardia, anche i seguenti dati:

- dati quantitativi relativi all'anno 2005 e all'anno 2006;

- dati derivanti dalla revisione della rete di monitoraggio, che ha portato alla delineazione di reti specifiche per il monitoraggio quantitativo, qualitativo, dei nitrati, dei fitofarmaci;

  Per ogni pozzo inserito si avranno a disposizione le seguenti informazioni, organizzate in un database access:

Informazioni associate al pozzo
codifica RIAL
localizzazione geografica
origini delle coordinate
presenza di stratigrafia
falda
acquifero
codice ISTAT
comune
provincia
dipartimento ARPA
denominazione
indirizzo
località
proprietario
gestore
anno di costruzione
tipologia
uso
stato
quota piano campagna
altezza bocca pozzo
profondità
diametro
note
rete di monitoraggio

- dati derivati dal progetto per la quotatura dei pozzi tramite strumenti GPS.

4. Prossimi passi

Il consolidamento delle collaborazioni con altri enti sta mettendo a disposizione una fonte preziosa di dati e di metadati.
Arpa proseguirà nelle sue attività su due fronti:

- condividere con gli altri wp e verificare insieme la correttezza dei dati pubblicati sugli annali, resi disponibili da APAT tramite una banca dati informatica di storici;
- supportare in particolare il wp1, ma non solo, dal punto di vista tecnico-concettuale nella realizzazione del database di dati idrometeorologici, con particolare attenzione alle metodiche di organizzazione di dati e metadati e agli algoritmi per il calcolo di indicatori di cambiamento climatico.

L'obiettivo è, per il termine del secondo anno delle attività, il rilascio del database e l'avvio da parte di ARPA della sperimentazione delle principali sue funzionalità.

Considerazioni conclusive

Nel primo anno di lavoro l'attività è stata concentrata sulla fase di raccolta dati, in stretta collaborazione tra le Unità Operative Idrografia, Acque sotterranee, Sistemi Informativi e Meteorologia dell'ARPA e il Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio dell'Università di Milano-Bicocca, il Dipartimento di Produzione Vegetale dell'Università di Milano e il Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale dell'Università di Pavia.

Tale fase è tuttora in via di sviluppo attraverso la digitalizzazione dei dati termo-nivo-pluviometrici e dei dati idrometrici delle stazioni poste sia nel bacino sopralacuale che in quello sublacuale, che coinvolge tutti i gruppi di lavoro (WP1, WP2, WP3, WP5/6, WP9).

E' tuttora in corso anche la lunga fase di raccolta ed archiviazione dei dati relativi ai pozzi per acqua (WP3), che viene svolta sistematicamente nei diversi Enti che operano sul territorio (ARPA, Province, etc.)

Alcune unità hanno affrontato già alcune preliminari fasi elaborative, scegliendo alcune zone campione.

Per esempio, per fornire un modello operativo di simulazione dei processi di generazione delle precipitazioni e di formazione dei deflussi, il WP2 ha concentrato l'attenzione sullo studio del bacino del Mallero (Valmalenco), mettendo a punto un modello di simulazione del processo di formazione e propagazione dei deflussi, capace di rappresentare situazioni particolarmente complesse sia dal punto di vista idrologico che gestionale.

Si è iniziato lo sviluppo di uno studio dei principali "eventi estremi" avvenuti in Lombardia nell'ultimo cinquantennio: ondate di gelo, di calore, siccità e alluvioni (WP1). L'analisi ha messo in luce variazioni importanti non solo ai regimi termo-pluviometrici ma anche alle frequenze degli eventi estremi, imputabili al Cambiamento Climatico in atto.

Un altra unità (WP4) ha iniziato la fase di campionamento sul torrente di origine glaciale Frodolfo, originato dal ghiacciaio dei Forni e affluente nel fiume Adda, per la caratterizzare della contaminazione ambientale da POP (PCB, HCB, HCH, DDT) legata allo scioglimento dei ghiacciai.

Per elaborare un modello di simulazione dinamica della produzione e dei consumi idrici delle principali colture agrarie della Lombardia, è stato utilizzato un modello sviluppato precedentemente dal gruppo di ricerca, già calibrato e validato per prato, frumento, orzo e riso. E' stato sottoposto a calibrazione e validazione relativamente al mais, specie assai rilevante per l'agricoltura lombarda. (WP5).

Per giungere alla creazione dei dataset originali necessari per lo sviluppo, calibrazione e la validazione di modelli di simulazione dell'evapotraspirazione da coltura di riferimento in ambito urbano, nella prima fase sono state realizzate due stazioni di monitoraggio presso l'Azienda Cascina Baciocca - Cornaredo e presso il Polo L.I.T.A. – Milano 2 – Segrate (WP6). I due sistemi di monitoraggio comprendono ciascuno una stazione meteorologica completa, un sistema di mini-lisimetri (progettato e realizzato all'interno del DiProVe) ed un atmometro.

Il ruolo di ARPA Lombardia nell'ambito del WP9 è stato focalizzato al supporto all'acquisizione delle serie storiche dei dati meteorologici ed idrologici necessari ai WP1 e WP2. Contestualmente, si è attivata una collaborazione con il WP1 nella definizione dei criteri per l'informatizzazione che consentano la condivisione della banca dati idro-meteorologica tra i diversi partner del progetto.

E' in fase di progettazione e costruzione la realizzazione e gestione di una banca dati dedicata strutturata presso il Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio con lo scopo di permettere una efficiente archiviazione e gestione del dato, nella quale confluiranno tutti i dati gestiti dai gruppi di lavoro (Gruppo di Gestione della banca dati del progetto).

Da un punto di vista della tempistica prevista, il progetto è sfasato di qualche mese, dovendo tener conto di una difficile e lunga fase di raccolta dati. Si prevede di rientrare sostanzialmente in linea con la fine del secondo anno di attività.

Da un punto di vista finanziario, la gestione si è sviluppata come previsto dai piani finanziari presentati, con il coinvolgimento di molto personale interno, già presente nelle varie strutture interessate, e di numeroso personale esterno, mediante l'attivazione di borse di studio, assegni di ricerca o contratti gestiti direttamente dalla FLA e dalla Università di Milano Bicocca che ha gestito anche parte dei fondi messi a disposizione da ARPA.

Rendiconto finanziario primo anno

	Spese effettuate		Suddivisione per Enti		
			FLA	**UNIMIB**	**ARPA**
WP1 - UNIMIB	**17.061**				
Personale		10.561			10.561
Funzionamento		1.300			1.300
Investimento		5.200		5.200	
WP2 - UNIPV	**58.096**				
Personale		58.096	40.000		18.096
Funzionamento					
WP3 - UNIMIB	**69.122**				
Personale		21.122			21.122
Funzionamento		3.000			3000
Investimento		45.000		45.000	
WP4 - UNIMIB	**13.000**				
Personale		10.000	10.000		
Funzionamento		3.000			3.000
WP5/6 - UNIMI	**73.000**				
Personale		40.000	40.000		
Funzionamento		33.000		33.000	
WP9 - ARPA	**40.000**				
Personale		30.000			30.000
Funzionamento		10.000			10.000
Coord. - UNIMIB	**19.721**				
Funzionamento		10.921		8.000	2921
investimento		8.800		8.800	
FLA spese generali	**10.000**				
Funzionamento		10.000	10.000		
Totali	**300.000**	**300.000**	**100.000**	**100.000**	**100.000**