

AZIONE 2

Sintesi pluviometrica regionale e
realizzazione di un atlante delle
piogge intense sulle Alpi occiden-
tali Italo-Svizzere

Contributo dei partner italiani:

Giorgio ROTH, Giorgio BONI,
Antonio PARODI, Fabio TOGNETTI
Centro di ricerca Interuniversitario in Monitoraggio
Ambientale, Università degli Studi di Genova

Contributo dei partner svizzeri:

FOSCO SPINEDI
Istituto Svizzero di Meteorologia - Osservatorio di Lo-
carno Monti

II-1. LA CARATTERIZZAZIONE STATISTICA DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME

La caratterizzazione statistica delle precipitazioni intense in una determinata porzione di territorio è un problema complesso e, tra i fattori che intervengono a condizionare le scelte metodologiche, le finalità dell'analisi rappresentano senza dubbio l'elemento maggiormente condizionante. Quando, come nel caso delle Alpi occidentali, le analisi sono finalizzate alla caratterizzazione delle portate al colmo di piena per i bacini di una porzione di territorio montano, non si può prescindere da considerazioni che riguardano l'omogeneità della procedura su tutta la porzione del territorio considerata e le scale spaziali e temporali caratteristiche dei bacini idrografici interessati. Tenendo inoltre conto che gli utenti finali della procedura proposta sono sia gli enti pubblici che i professionisti che si trovano ad operare sul territorio, è necessario mettere a punto una procedura standard di valutazione, facilmente riconoscibile. Ciò si collega con il problema dell'omogeneità dei risultati sul territorio: una procedura standardizzata e riconoscibile assicura tale omogeneità, riducendo i gradi di libertà nell'applicazione della stessa e consentendone un facile controllo.

Si è optato quindi per l'applicazione della metodologia ampiamente validata nell'ambito del progetto VAPI (VALutazione delle Piene in Italia) del GNDCI, basato sull'analisi statistica con approccio regionale, la quale assicura omogeneità nella valutazione sulla porzione di territorio analizzato. La base dati utilizzata è stata quella delle precipitazioni massime annuali per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, critiche per le scale dei bacini presenti nell'area in esame.

La valutazione statistica regionale necessita della scelta a priori del modello probabilistico (distribuzione di probabilità genitrice - DPG) e del modello di variabilità spaziale dei parametri di quest'ultimo. Sulla base dei risultati del progetto VAPI, come DPG è stata scelta la distribuzione del valore estremo a doppia componente (TCEV) rivelatasi appropriata per la descrizione statistica dei dati idrologici in Italia, mentre la modellazione della variabilità spaziale è stata effettuata con approccio per regioni omogenee.

La procedura di valutazione statistica, coerentemente con il metodo VAPI, ha comportato i seguenti passi:

1. stima dei parametri della curva di crescita che deriva dalla distribuzione di probabilità genitrice (DPG) prescelta;
2. caratterizzazione della pioggia indice;
3. definizione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP).

Il metodo è stato applicato in modo da estendere

omogeneamente i risultati ottenuti in un precedente progetto del Programma INTERREG II Italia-Francia (Boni e Parodi, 2001)

II-2. APPLICAZIONE DEL METODO ALL'ARCO ALPINO OCCIDENTALE: I RISULTATI

II-2.1. Stima dei parametri della distribuzione di probabilità genitrice

La DPG prescelta nell'ambito del progetto VAPI è la distribuzione del valore estremo a doppia componente (TCEV) elaborata da Rossi et al. (1984). La TCEV si è dimostrata, tra le distribuzioni del valore estremo, quella che meglio interpreta il comportamento osservato dei massimi annuali di precipitazione per le durate da 1 a 24 ore. Il metodo utilizzato per la stima dei parametri della distribuzione TCEV fa riferimento al metodo della Massima Verosimiglianza (Maximum Likelihood) secondo un approccio proposto da Gabriele e Arnell (1991), che perviene alla stima dei parametri per passi successivi, attraverso un approccio gerarchico, che prevede tre diversi livelli di stima.

Elaborazioni precedenti hanno mostrato come, nella regione oggetto di studio, la sola analisi della distribuzione spaziale dei momenti di ordine superiore non sia sufficiente al fine di poter procedere alla definizione delle ipotesi di perimetrazione delle regioni e sottoregioni omogenee al primo e secondo livello di regionalizzazione. Si è quindi fatto riferimento ad un criterio di tipo geografico-meteorologico, che tiene in considerazione quelle che sono le caratteristiche e l'evoluzione della sollecitazione meteorologica che produce eventi estremi nelle varie parti del territorio indagato. Si sono così individuate quattro regioni e sottoregioni coincidenti che sono state oggetto delle successive elaborazioni:

REGIONE PADANA

comprendente l'insieme delle stazioni ricadenti in Piemonte e in Canton Ticino;

REGIONE ALPI SETTENTRIONALI

comprendente l'insieme delle stazioni francesi poste a nord del Massiccio del Pelvoux e le stazioni italiane situate nella zona delle Alpi Graie;

REGIONE ALPI MERIDIONALI

comprendente le stazioni francesi poste nella zona delle Alpi dell'Alta Provenza e le stazioni italiane situate nella zona delle Alpi Cozie;

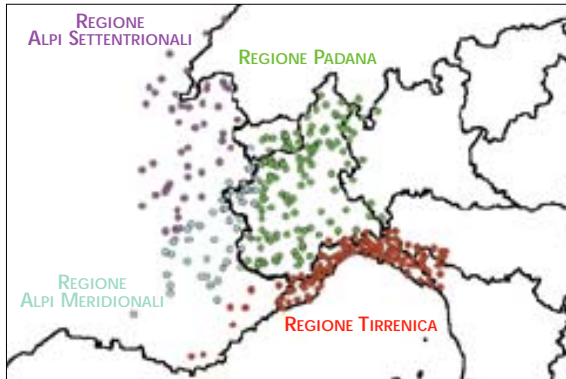
REGIONE TIRRENICA

comprendente le stazioni francesi situate nella zona della Provenza e le stazioni italiane poste in Liguria, Toscana e Lazio.

Il risultato della procedura di individuazione delle regioni omogenee è riportato in figura II-1.

L'applicazione dell'analisi di omogeneità a tali regioni ha dato esito positivo. Le curve di crescita per le diverse durate ottenute con il metodo di stima regionale al primo e secondo livello sono riportate nelle figure dalla II-2 alla II-5.

Figura II-1. Ipotesi di suddivisione del territorio oggetto di studio in regioni e sottoregioni omogenee



II-2.2. Variabilità della distribuzione di probabilità genitrice con la durata

La definizione della variabilità dei parametri della DPG è un passo preliminare alla definizione delle LSPP.

Queste ultime definiscono una relazione tra altezza di precipitazione, periodo di ritorno e durata che dipende quindi fortemente dalla variabilità della forma della DPG in funzione della durata stessa. Le elaborazioni condotte al primo e secondo livello di regionalizzazione hanno mostrato come, nell'ambito di ciascuna regione omogenea, non sia possibile assumere un'unica curva di crescita come rappresentativa. Tale caratteristica è particolarmente marcata nelle regioni Alpi settentrionali e meridionali, come mostrato in figura II-3 e figura II-4.

Figura II-2. Curve di crescita per la regione e sottoregione omogenea padana

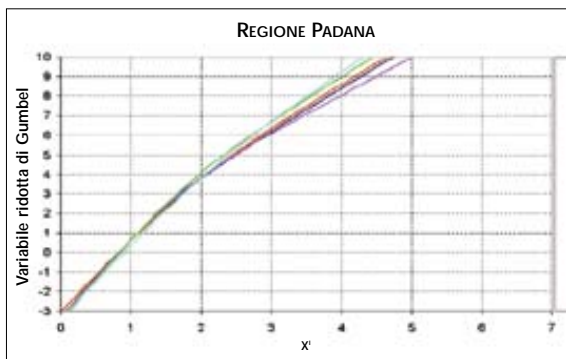


Figura II-3. Curve di crescita per la regione e sottoregione omogenea Alpi settentrionali

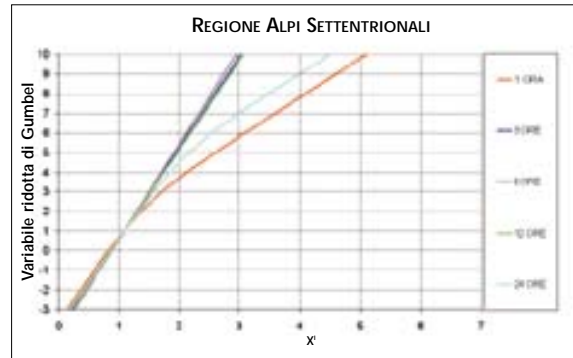


Figura II-4. Curve di crescita per la regione e sottoregione omogenea Alpi Meridionali

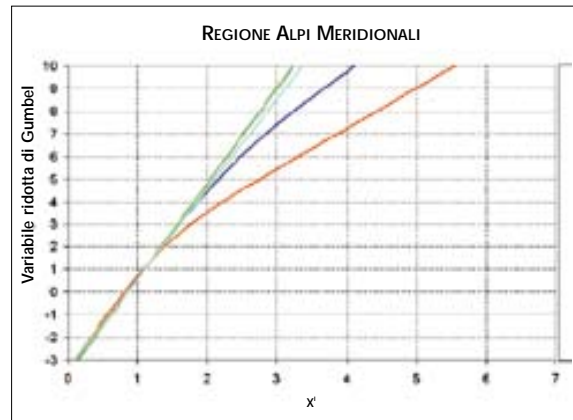
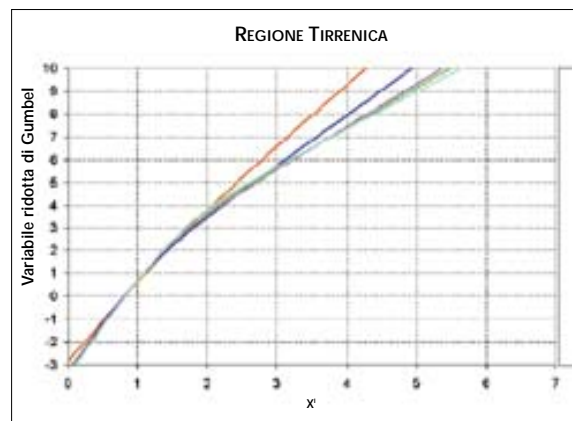


Figura II-5. Curve di crescita per la regione e sottoregione omogenea Tirrenica



Questo risultato fa sì che sia necessario esprimere il quantile dimensionale di pioggia funzione tanto del tempo di ritorno quanto della durata secondo l'espressione $K_{T,d} = K(T,d)$. L'espressione delle LSPP risulta quindi:

$$h(d,T)=\mu*K(T,d)*d^n \quad (1)$$

in cui $h(d,T)$ rappresenta l'altezza di precipitazione massima annuale per durata d e periodo di ritorno T , μ il valore della pioggia indice da dedurre in funzione della localizzazione geografica del sito considerato, $K(T,d)$ il quantile adimensionale di pioggia da dedurre dalla curva di crescita della corrispondente regione omogenea (X' nelle figure dalla II-2 alla II-5), e n l'esponente della relazione di scala anch'esso funzione della localizzazione geografica del sito considerato.

Una volta stimato il quantile adimensionale $K(T,d)$ dalle curve di crescita, è necessario giungere ad una stima della pioggia indice e dell'esponente n . È stata studiata la dipendenza di tali parametri dalla localizzazione geografica, ottenendo le mappe riportate in figura II-6 e figura II-7.

Figura II-6. Carta delle isolinee del parametro pioggia indice nella regione oggetto di studio. I valori crescono a partire dal colore azzurro-verde fino al rosso intenso

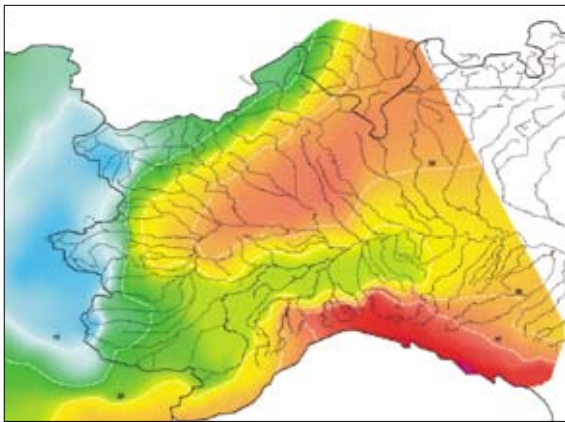
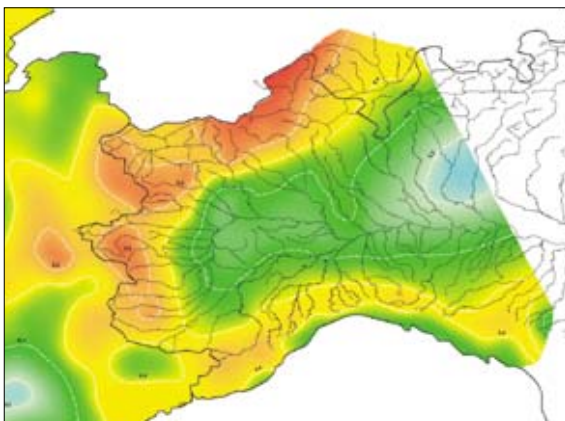


Figura II-7. Carta delle isolinee dell'esponente n delle LSPP. Il colore verde identifica le aree in cui $n < 0.35$. Il giallo identifica i valori di n compresi tra 0.35 e 0.45, mentre il rosso identifica i valori di $n > 0.45$



II-3. VALIDAZIONE FENOMENOLOGICA DEI RISULTATI

II-3.1. La suddivisione in regioni omogenee

Per l'identificazione delle regioni omogenee esistono in letteratura diverse tecniche (Nathan e McMahon, 1990; Cavadias, 1990; Gabriele e Arnell, 1991) le quali, seppur matematicamente robuste, difettano tutte di una base fisica. Le regioni omogenee vengono cioè definite semplicemente sulla base di considerazioni statistiche o matematiche, senza però curarsi di cercare alcuna relazione tra i risultati ottenuti e la fisica dei processi che generano il campo stocastico analizzato.

Nell'ultimo decennio l'evoluzione sia delle tecniche di monitoraggio degli eventi estremi, attraverso l'introduzione dei sensori remoti satellitari, sia della modellistica atmosferica ha consentito un progresso della conoscenza delle caratteristiche delle strutture precipitanti che generano tali fenomeni nel territorio in esame, testimoniata da tutta una serie di rapporti ed articoli scientifici pubblicati in tale periodo (Llasat et al., 1996; Bolla et al., 1996; Reale e Atlas, 2001; Reale e Turato, 2000). Sulla base di tale conoscenza è stata effettuata una serie di considerazioni che ha condotto alla definizione delle varie regioni omogenee per il territorio in esame.

L'ipotesi su cui si è lavorato è che l'omogeneità nella statistica degli eventi estremi sia prodotta da una omogeneità nei processi che generano questi ultimi. Il nodo da risolvere per l'identificazione delle regioni omogenee si riduce quindi, in tale ipotesi, alla identificazione dei domini spaziali interessati dallo stesso processo di formazione degli eventi estremi. Le osservazioni effettuate da satellite meteorologico e le indicazioni presenti in letteratura mettono in luce come sia possibile identificare nel territorio in esame singole regioni colpite da eventi estremi la cui generazione è riconducibile a strutture meteorologicamente simili. In sostanza l'approccio qui seguito associa il concetto di regioni omogenee a quello di esistenza di distinte aree geografiche sottoposte a distinte caratteristiche climatiche: quando tali aree risultano confinate in maniera statica, come ad es. per la presenza di barriere orografiche difficilmente valicabili, allora il concetto classico di regione omogenea viene a coincidere completamente con quello di regione geografica sottoposta ad una fissata sollecitazione climatica.

Sulla base di queste evidenze sperimentali e dell'ipotesi di lavoro precedente si è dunque proceduto, come già esposto al paragrafo II-2.1, alla identificazione di quattro regioni omogenee nell'area delle Alpi Occidentali:

- regione Padana;
- regione Alpi settentrionali;
- regione Alpi meridionali;
- regione Tirrenica.

La regione delle Alpi settentrionali è colpita da eventi estremi generati dai regimi del Nord-ovest, a carattere ciclonico o anticiclonico in grado di produrre precipitazioni intense nel periodo tardo-autunnale e invernale, e dal regime dell'ovest, a carattere anticiclonico e capace di produrre fenomeni intensi nel periodo estivo e autunnale.

Per quanto riguarda la regione Padana si può affermare che la parte alpina nord-occidentale è interessata da due tipi di regimi: i massimi annuali per le durate brevissime (1-3 ore) sono generalmente associati ad eventi estivi di origine convettiva dovuti ad instabilità locale. Gli eventi per durate maggiori, fino a 24 ore, sono invece generati da fenomeni di instabilità convettiva scatenata dal repentino sollevamento orografico indotto dalla barriera alpina, associati a strutture di circolazione atmosferica di tipo ciclonico di origine atlantica (Boni et al., 2001). L'identificazione di una unica regione omogenea per l'area padana è coerente con i risultati prodotti da un analogo studio prodotto dal CUGRI per conto della Regione Piemonte. Per un confronto dettagliato si rimanda al rapporto finale del progetto INTERREG II Italia-Francia (Boni e Parodi, 2001).

Per quanto riguarda la regione Alpi meridionali, facendo riferimento in particolare alle classificazioni di Mertz (1957) e di Blanchet (1990), si può dire che essa risulta interessata da eventi estremi prodotti dai cosiddetti regimi del sud-ovest, a carattere prevalentemente ciclonico e in grado di produrre precipitazioni intense nel periodo tardo-estivo, e del sud, a carattere ciclonico o anticiclonico in grado di generare precipitazioni intense nel periodo tardo-autunnale.

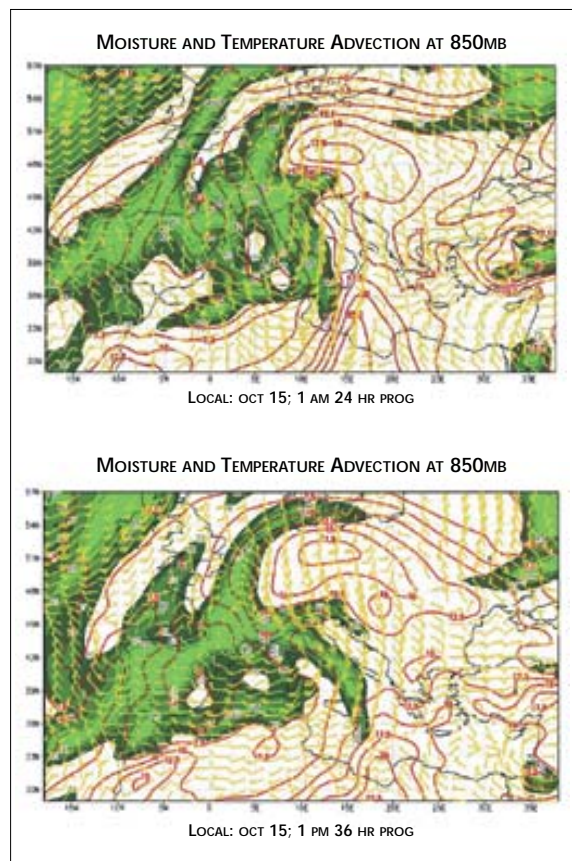
Nel caso della regione Tirrenica gli eventi estremi sono prevalentemente riconducibili ad un regime di tipo sud-ovest, caratterizzato dall'ingresso nell'area mediterranea di perturbazioni di origine atlantica, il cui movimento verso est è molto spesso rallentato dalla presenza di un blocco di alta pressione sull'Europa orientale. In tale situazione all'interno delle perturbazioni si formano delle celle temporalesche che generano precipitazioni di notevole intensità. La permanenza dei fenomeni dovuta al blocco consente lo sviluppo di più celle al di sopra della stessa zona, generando altezze di precipitazioni elevate anche sulle durate fino a 24 ore.

II-3.2. Caratterizzazione della pioggia indice

La caratterizzazione della pioggia indice ha fornito risultati alquanto interessanti, se confrontati con le evidenze sperimentali relative agli eventi intensi caratteristici della regione oggetto dello studio.

I risultati ottenuti nel gruppo di regioni omogenee Padana e Francese settentrionale e meridionale forniscono informazioni concordi tra di loro. In ciascuna di tali regioni si è riscontrato, ad esclusione delle parti di pianura, una dipendenza della pioggia indice con la pendenza dei versanti alla mesoscala, nella direzione prevalente delle correnti in occasione di eventi di precipitazione intensi. È emersa anche una dipendenza da un parametro di quota, da interpretarsi come parametro indicatore della distanza dalla zona pedemontana (Pianura Padana per la regione Padana e valle del Rodano per le regioni Francesi).

Figura II-8. Campo di vento a 850 hPa fornito dalle simulazioni del modello di circolazione globale AVN, per l'evento pluviometrico dell'ottobre 2000. Si osservi la permanenza del flusso da sud nelle 12 ore che intercorrono tra le due immagini (1:00 locali e 13:00 locali del 15 ottobre)



Comportamento a sé ha presentato l'area di pianura nella quale non è stato possibile identificare una dipendenza della pioggia indice da alcun parametro fisico ed è stato possibile imputare la variabilità di esso all'incertezza dovuta alla limitatezza dei campioni disponibili.

L'interpretazione di tipo fenomenologico di tali risultati è stata fornita andando ad analizzare alcune caratteristiche salienti degli eventi di precipitazione intensi nell'area. Osservando la figura II-8, in cui è riportato il campo di avvezione di umidità a 850 hPa relativo all'evento del 15-16 ottobre 2000, si vede come il campo di vento nella zona alpina del Piemonte settentrionale presenti una direzione prevalente sud-nord, la quale è risultata la direzione di massima correlazione tra le pendenze dei versanti ed il valore pioggia indice.

Alla direzione prevalente delle correnti durante gli eventi estremi nelle regioni alpine è già stato fatto cenno: secondo le classificazioni di Mertz (1957) e di Blanchet (1990) la regione alpina meridionale risulta interessata da eventi estremi prodotti dai cosiddetti regimi del sud-ovest, a carattere prevalentemente ciclonico e in grado di produrre precipitazioni intense nel periodo tardo-estivo, e del sud, a carattere ciclonico o anticiclonico in grado di generare precipitazioni intense nel periodo tardo-autunnale.

La regione delle Alpi settentrionali invece è colpita da eventi estremi generati dai regimi del Nord-ovest, a carattere ciclonico o anticiclonico in grado di produrre precipitazioni intense nel periodo tardo-autunnale e invernale, e dal regime dell'ovest, a carattere anticiclonico e capace di produrre fenomeni intensi nel periodo estivo e autunnale.

L'analisi statistica ha mostrato, anche in questo caso, come le direzioni di tali regimi si sono rivelate coincidenti con quelle di massima correlazione tra la pendenza dei versanti e la pioggia indice.

La dipendenza dalla seconda variabile indipendente, e cioè la distanza dalla zona pedemontana, è anche in questo caso interpretabile, in prima approssimazione, con le caratteristiche dei fenomeni atmosferici associati alle precipitazioni intense.

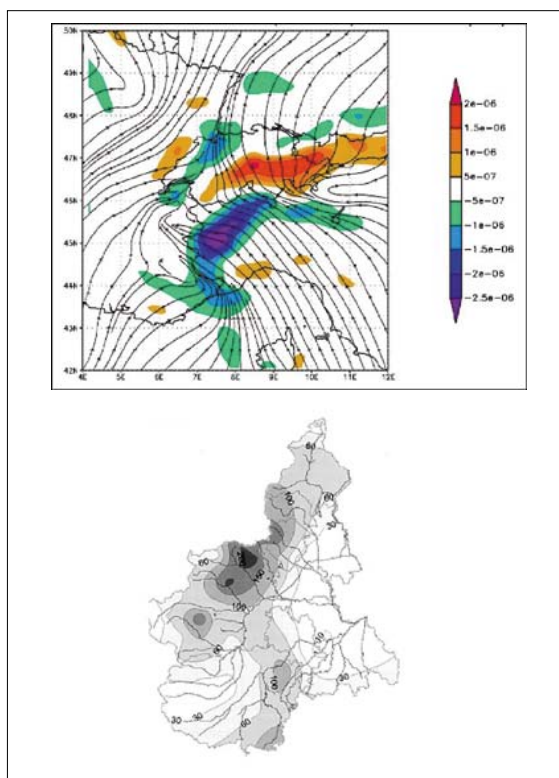
Nell'ipotesi di fenomeni prevalentemente di tipo convettivo, innescati da sollevamento orografico, si può supporre che gli effetti sulla pioggia indice comincino a sentirsi a partire dalla zona ai piedi delle catene montuose. Alcuni studi hanno messo in luce come tali effetti siano crescenti fino alla metà dei versanti (Loukas & Quick, 1996) e che sia decrescente per quote maggiori (Bradley et al., 1998).

In presenza di una catena montuosa di dimensione trasversale notevole e che presenti aree a quote elevate, l'effetto della zona di innesco dei fenomeni diviene

rilevante: la riduzione degli effetti con la quota fa sì che i fenomeni che si generano nelle zone montuose più lontane dalla pianura presentino in media minore intensità, generando quindi la negativa con la quota-distanza dalla base delle catene montuose che si osserva.

La figura II-9 mostra un esempio dei fenomeni sopra descritti qualitativamente. Il campo rappresentato è il campo di convergenza di avvezione di umidità a 850 hPa, il quale può essere messo in relazione all'intensità di precipitazione. Si osserva chiaramente come, sull'intervallo di integrazione del modello meteorologico (3h) i massimi di convergenza di umidità si concentrino nella zona montuosa prossima alla pianura, producendo altezze di precipitazione notevoli sulla stessa area, mentre le zone montuose a quote superiori sono interessate marginalmente dai fenomeni. La zona ad alti valori di convergenza orizzontale (area blu sul versante alpino italiano) a cui possono essere associate le intensità di precipitazione più alte (Holton, 1992), ha scale caratteristiche inferiori a quelle della barriera orografica. Le precipitazioni osservate al suolo (figura in basso, altezze cumulate dalle 12 UTC del 5 alle 00 UTC del 6 Novembre 1994) confermano tali considerazioni.

Figura II-9. In alto è mostrata la struttura del campo di convergenza dell'umidità a 850 hPa del 5 novembre 1994 alle ore 21:00 UTC sul Piemonte settentrionale. In basso, sono riportate le altezze cumulate dalle 12 UTC del 5 alle 00 UTC del 6 novembre 1994



Discorso a parte merita la regione omogenea tirrenica: anche in essa è stata evidenziata una dipendenza della pioggia indice dalla pendenza dei versanti rispetto ad una direttrice da sud-ovest a nord-est, coincidente con la direzione prevalente delle correnti atmosferiche osservate durante gli eventi estremi, e da un parametro rappresentativo della quota media dello spartiacque alla scala spaziale tipica dei fenomeni meteorologici che generano le precipitazioni intense.

Tale risultato può essere facilmente interpretato alla luce di alcune semplici caratteristiche degli eventi di precipitazione estremi nell'area, dei quali la pioggia indice rappresenta una altezza media.

Anche in questo caso, potendo ritenere il sollevamento orografico uno tra i fattori principali per lo sviluppo di eventi convettivi con precipitazioni di forte intensità, una maggiore pendenza (alla mesoscala) dei versanti può essere causa di fenomeni di

maggiore intensità, e quindi produrre sul lungo periodo, valori maggiori della pioggia indice (Boni, 2001; Wotling et al., 2000).

La dipendenza della pioggia indice dai suddetti fattori è risultata significativa, per quanto riguarda la zona tirrenica, su un'area che dalla costa va oltre lo spartiacque, ma non include le zone pianeggianti del basso Piemonte. Se si confronta l'estensione di tale area, trasversalmente alla catena appenninica, essa coincide con l'estensione media delle aree di precipitazione intensa durante gli eventi estremi. L'evidenza sperimentale fornita da diverse fonti di informazione, quali le reti di misura a terra (figura II-10), le immagini da satellite e i risultati della modellazione meteorologica, mostrando come gli eventi estremi che colpiscono tale area abbiano estensione dell'ordine di alcune decine di km, confermano la validità dei risultati raggiunti.

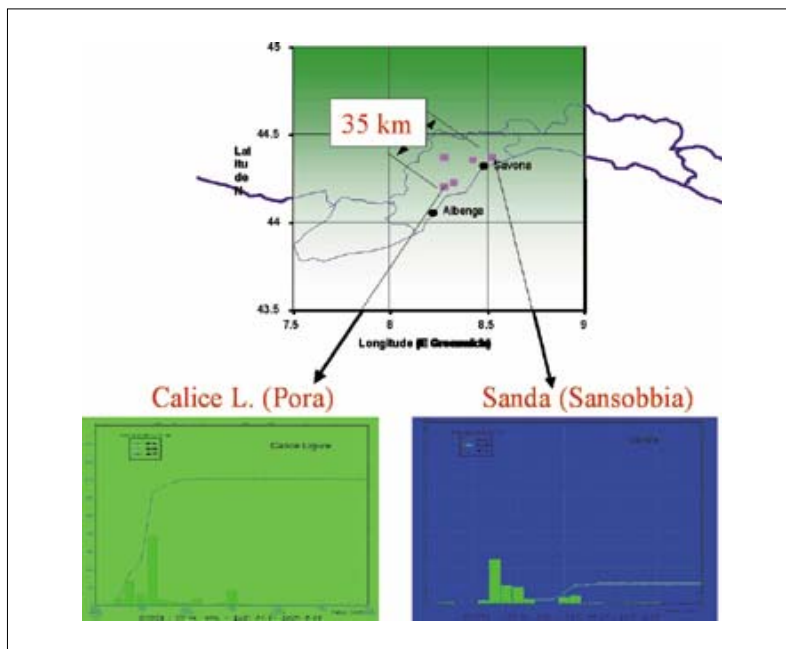


Figura II-10. Estensione dell'area colpita dall'evento del 23-24 settembre 1992, sulla base delle osservazioni a terra

II-4. CONCLUSIONI

I risultati dell'analisi statistica delle precipitazioni intense di durata da 1 ora a 24 ore sono stati esposti nel presente documento. L'analisi ha condotto a risultati alquanto interessanti, che hanno consentito un progresso nella conoscenza del comportamento statistico delle precipitazioni di breve durata sulle Alpi occidentali, e dei fenomeni meteorologici che le generano. L'estensione dell'analisi già effettuata nell'ambito del progetto INTERREG II Italia-Francia (Boni e Parodi, 2001) ha consentito di redigere un atlante delle precipitazioni intense la cui validità può essere estesa a tutto l'arco alpino occidentale, fino alla valle del fiume Ticino.

Tali risultati hanno confermato le deduzioni fatte su basi di dati più limitate, negli studi condotti dal CIMA per conto della Regione Liguria e del CUGRI di Salerno per conto della Regione Piemonte. Tale fatto conferma la affidabilità dei risultati ottenuti ed incoraggia studi più approfonditi.

Uno dei risultati più interessanti è che l'omogeneità statistica si è rivelata fortemente legata ai

fenomeni meteorologici che producono le precipitazioni estreme nella regione.

Un secondo fattore condizionante è la presenza di barriere orografiche, che influenza vari elementi caratterizzanti la statistica degli estremi: la localizzazione degli eventi straordinari caratterizzanti la distribuzione di probabilità; il valore del coefficiente di scala delle LSPP, il quale rappresenta un esponente a cui è legata la crescita delle altezze di precipitazione massime annuali per assegnato periodo di ritorno T ; il parametro pioggia indice, il quale è risultato fortemente dipendente dalla pendenza dei versanti e dalla quota media alla mesoscala dello spartiacque o del versante.

Le stime effettuate sono risultate alquanto robuste in quanto i confronti con i risultati di altri metodi (vedere Boni e Parodi, 2001) hanno evidenziato che le eventuali differenze sono sempre riconducibili ad un errore di stima che dipende dalla limitatezza del campione.

Il metodo di analisi è stato strutturato sull'esempio di quanto fatto per la Regione Liguria (AA.VV., 1999), in modo da consentirne un facile uso da parte di professionisti e tecnici chiamati a fornire valutazioni sulle piogge intense e di breve durata.

Bibliografia

- AA.VV., (1999), *Caratterizzazione delle precipitazioni intense e delle portate di piena per i bacini liguri, rapporto finale*. Convenzione tra la regione Liguria e l'Università degli studi di Genova, Centro di ricerca in Monitoraggio Ambientale. Rapporto interno.
- BLANCHET G., (1990), *Regimes meteorologiques et diversité climatique dans l'espace Rhonalpin*. Revue de Geographie de Lyon, vol 65, n°2, pp. 106-117.
- BOLLA R., BONI G., LA BARBERA P., LANZA L., MARCHESE M. e ZAPPATORE S., (1996), *The Tracking and Prediction of High Intensity Rainstorms*. Remote Sensing Reviews, 14(1-3), 151-183.
- BONI G., (2001), *Regional rainfall frequency analysis in northern Mediterranean coast line: a simple underlying physics*. Atti dell'Accademia Ligure di Scienze e Lettere. In stampa.
- BONI G. e PARODI A., (2001), *Sintesi pluviometrica regionale: realizzazione di un atlante sperimentale delle piogge intense sulle Alpi franco-italiane*. Rapporto Finale, Progetto INTERREG II Italia-Francia. Azione 3.
- BONI G. e PARODI A., (2000), *Sintesi pluviometrica regionale: realizzazione di un atlante sperimentale delle piogge intense sulle Alpi franco-italiane*. Rapporto Intermedio, Progetto INTERREG II Italia-Francia. Azione 3.
- BONI G., PARODI A., FURCOLO P., VILLANI P., (2000), *Un modello regionale per l'analisi statistica dei massimi annuali delle precipitazioni di breve durata*. Atti del XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Genova, 12-15 settembre 2000, pagg. 151-160.
- BRADLEY S.G., DIRKS K.N., STOW C.D., (1998), *High resolution studies of rainfall on Norfolk Island. Part III. A model for rainfall redistribution*. Journal of Hydrology, 208 (3-4), 194-203.
- CAVADIAS G., (1990), *The canonical correlation approach to regional flood estimation*. In Regionalization in Hydrology, pp. 171-178, IAHS publ. No. 191.
- GABRIELE S. and ARNELL N., (1991), *A hierarchical approach to regional flood frequency analysis*. Water Resources Research, 27(6), 1281-1289.
- LLASAT M.C., RAMIS C. and BARRANTES J., (1996), *The meteorology of high-intensity rainfall events over the West Mediterranean region*. Remote Sensing Reviews, 14 (1-3), 51-90.
- HOLTON J.R., (1992), *An Introduction to dynamic meteorology*. Academic Press.
- LOUKAS A. and QUICK C., (1996), *Spatial and temporal distribution of storm precipitation in south western British Columbia*. Journal of Hydrology, 174, 37-56.
- MERTZ J., (1957), *Essai de classification des types de temps sur les Alpes d'après la disposition des isohypes à 500 mb*. La Meteorologie, Serie VI, n°45-46, pp. 305-315.
- NATHAN R.J. and MCMAHON T.A., (1990), *Identification of homogeneous regions for the purpose of regionalisation*. Journal of Hydrology 121, 217-238.
- REALE O., TURATO B., (2000), *Dinamica dell'umidità a grande scala e processi sub-sinottici rilevanti per la previsione di eventi estremi*. Atti del XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Genova, 12-15 Settembre, vol II: 395-403.
- REALE O., ATLAS R., (2001), *Tropical-like cyclones in the extratropics. Observational evidence and synoptic analysis*. Accepted on Weather and Forecasting. In print.
- ROSSI F., FIORENTINO M. and VERSACE P., (1984), *Two Component Extreme Value distribution for flood frequency analysis*. Water Resources Research, 20, 847-856.
- WOTLING G., BOUVIER C., DANLOUX J. e FRITSCH J.-M., (2000), *Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographical environment*. Journal of Hydrology, 233, 86-101.

