

The background of the page is a topographic map with white contour lines overlaid on a green-tinted aerial photograph of a village and surrounding hills. The map shows a valley with a river or stream winding through it, and a cluster of buildings representing a village. The contour lines are closely spaced in some areas, indicating steeper slopes, and more widely spaced in others, indicating gentler slopes. The overall color palette is a mix of light and dark greens, with the white contour lines providing a clear structural overlay.

La valutazione della pericolosità e del rischio

2

2.1 I fenomeni meteorologici

2.1.1

Introduzione

Le condizioni meteorologiche costituiscono uno tra gli elementi del sistema naturale che maggiormente influenza non solo l'ambiente ed il territorio, apportandone in alcuni casi profonde e violente modificazioni, ma anche l'uomo, nel suo complesso di attività sociali, economiche e produttive, di insediamenti, beni ed infrastrutture, la sua salute, a breve e lungo termine, e la sua qualità di vita.

Per essere compreso e correttamente interpretato in un sistema di previsione, prevenzione e mitigazione dei rischi naturali, il fattore meteorologico va considerato in relazione agli effetti che determina, dipendenti dalla sensibilità, vulnerabilità ed esposizione dell'ecosistema, nonché in relazione interazioni con altre tipologie di rischi che possono causare un importante carico cumulativo.

L'analisi e la previsione degli effetti prevedono l'utilizzo della modellizzazione integrata dei diversi fenomeni e processi alla base del potenziale impatto sul territorio, sull'ambiente e l'uomo, sia per la valutazione complessiva della gravità, dell'estensione o dell'intensità dell'impatto stesso, sia per individuare gli elementi su cui intervenire per efficaci azioni di prevenzione, sia per verificare l'utilità di misure di mitigazione. Gli effetti di una precipitazione intensa possono, ad esempio, essere notevolmente diversi a seconda della capacità del suolo, anche contingente, di assorbire e drenare l'acqua meteorica, della quota a cui avviene la trasformazione da neve ad acqua, dello stato e del livello dei bacini idrici o anche più semplicemente della stagione dell'anno in cui l'evento si verifica. La conoscenza della modulazione giornaliera dell'inquinamento atmosferico che, a parità di emissioni, dipende esclusivamente dalla meteorologia, la cui previsione consente di adottare soluzioni o provvedimenti per diminuire l'esposizione delle classi di popolazione più a rischio, per essere efficace deve integrare modelli epidemiologici e di esposizione. Questa contestualizzazione e finalizzazione della previsione meteorologica guida lo sviluppo da parte di Arpa di tutte le attività connesse, comprese quelle di valutazione della qualità dei sistemi. La verifica della previsione meteorologica effettuata deve tenere in considerazione l'applicazione specifica di quella previsione: una precipitazione di qualche millimetro prevista correttamente non ha alcun impatto significativo sulle procedure di allertamento per rischio idrogeologico, mentre può essere essenziale per la revoca di un provvedimento per la riduzione del traffico.

Una caratteristica importante dei fenomeni meteorologici è la scala spazio-temporale che li contraddistingue. Ad essa sottendono diverse possibilità previsionali che permettono l'applicazione di metodologie integrate di valutazione del rischio fino ad un certo grado di dettaglio e con differente precisione. Dal punto di vista temporale, la possibilità previsionale a brevissimo termine durante un evento meteorologico significativo è fondamentale per la gestione di tutte le operazioni di salvaguardia e messa in sicu-

rezza e, a tal fine, una rete osservativa che consenta un buon monitoraggio, unita alla capacità interpretativa dei dati, risulta ad oggi lo strumento più efficace. Per quanto riguarda tempi più lunghi, dal breve termine (1-2 giorni) al medio termine (7-10 giorni), la modellistica numerica permette di effettuare previsioni, anche quantitative, con un certo grado di dettaglio spaziale, ma con un'accuratezza che decade rapidamente dal terzo giorno di previsione in avanti. Questo binomio anticipo previsionale/accuratezza della previsione governa anche la scala dei tempi su cui deve essere disegnato un efficiente sistema di previsione, sorveglianza ed allarme.

La valutazione di molte tipologie di rischio, come la diffusione e la dispersione degli inquinanti da sorgenti localizzate in prossimità di grandi impianti industriali o da sorgenti estemporanee ed in continua modifica, come gli incendi o i fenomeni grandinigeni che possono impattare su aree coltivate, necessita infatti di una previsione meteorologica con un elevato dettaglio temporale. L'applicazione di opportuni algoritmi di *post-processing*, a patto di disporre anche di una buona misura associata, consente di ottenere una previsione quantitativa dei parametri meteorologici locali fortemente contestualizzata e verificabile, che meglio si presta ad applicazioni rivolte al supporto alle decisioni. Per la previsione a qualche giorno, comunque, il raffinamento della scala spaziale è oggi possibile attraverso l'applicazione di una gerarchia di modelli, che arriva ad ottenere la risoluzione orizzontale fino al chilometro, alla quale si accompagna tuttavia una crescente incertezza, legata anche alla difficoltà della verifica dell'aderenza alla realtà.

Questa sorta di lente di ingrandimento ha infatti permesso di moltiplicare le modalità di rappresentazione dei processi fisici all'interno dei modelli meteorologici e di descrivere l'ambiente fisico in cui tali processi si collocano, da diverse angolazioni e con un grado di dettaglio sempre più elevato, che genera interazioni via via più complesse tra i fattori in gioco. Il risultato di questa operazione, che coincide anche con lo stato dell'arte della modellistica meteorologica più avanzata, è la generazione, per uno stesso evento, di diversi scenari di precipitazione prevista, ognuno dei quali si autoreferenzia e si pone con univocità come

scenario deterministico. Nel caso di precipitazioni intense, causa di fenomeni di inondazione, frane e dissesti idrogeologici, è quasi sempre presente nei vari scenari un segnale comune di potenziale criticità. Tuttavia la diversa distribuzione della quantità di precipitazione nel tempo rende impraticabile l'utilizzo della quantità di precipitazione prevista ai fini della valutazione puntuale del livello di rischio idrogeologico atteso su porzioni del territorio significative per l'adozione di misure di prevenzione o di contrasto, dal presidio alla chiusura dei ponti, fino all'evacuazione di aree abitate. Attualmente è in corso uno sforzo da parte della comunità scientifica per sperimentare l'utilizzo congiunto dei differenti scenari di precipitazione prevista, intesi come diverse rappresentazioni del medesimo fenomeno naturale, attraverso metodologie oggettive, in modo da migliorare, ad esempio, la quantità di precipitazione prevista ai fini dell'applicazione di sistemi di allertamento per i rischi naturali innescati o favoriti da precipitazioni intense.

Per quanto concerne tempi di previsione più lunghi, gli sviluppi recenti sulle previsioni di tipo stagionale consentono applicazioni a grande scala di indicatori o bioindicatori a diversi livelli di complessità, in grado di fornire informazioni che consentono l'adozione di strategie di programmazione, in particolare in situazioni ambientali potenzialmente critiche. Ad esempio indicatori di siccità in situazioni di deficit idrico o la persistenza di condizioni di caldo-umido favorevoli al disagio psicofisico.

Il *pericolo meteorologico* ha ormai buone possibilità di essere previsto e gli sviluppi più recenti si orientano soprattutto sull'aumento del dettaglio spazio-temporale della previsione e sull'estensione dell'anticipo previsionale. L'esperienza condotta da Arpa nel percorso di costruzione e messa a punto del sistema di allertamento regionale per il rischio idrogeologico ha dimostrato quanto un'azione coordinata di sorveglianza, previsione e prevenzione, quest'ultima definita con tutti gli interlocutori del processo, possa ridurre i potenziali effetti di una situazione meteorologica avversa e permettere azioni di contrasto, diminuendo di fatto il livello di rischio a cui si espone la comunità.

2.1.2

Le variabili meteorologiche critiche

Tra le variabili meteorologiche la *precipitazione* a carattere piovoso o nevoso, insieme al limite di quota in cui si ha la trasformazione della precipitazione tra i due stati, è senza dubbio la variabile meteorologica che ha il maggiore impatto nella genesi delle situazioni di potenziale pericolo di tipo idrogeologico e nivologico. I fenomeni alluvionali con esondazione di bacini idrografici di media ed ampia superficie sono normalmente determinati da piogge intense e persistenti mentre i processi di versante e gli allagamenti in prossimità di piccoli torrenti e rii sono frequentemente innescati da fenomeni temporaleschi di breve durata ma di notevole intensità, talvolta accompagnati da grandine.

Le soglie di pericolo risultano differenti per le varie aree morfologicamente omogenee in cui può essere suddiviso il Piemonte; in una zona in cui le piogge sono frequenti il terreno possiede una maggiore capacità di assorbimento delle precipitazioni e pertanto le soglie di innesco risultano più alte rispetto ad un'area meno interessata da piogge.

Attraverso l'analisi delle situazioni precipitative intense, si è evidenziato come, per un territorio ad orografia complessa, sia importante la presenza di flussi di umidità, in particolare dei flussi perpendicolari all'orografia, che innescano velocità verticali verso l'alto enfatizzate dall'interazione con i rilievi e pertanto l'aria umida raggiunge più facilmente e più rapidamente le condizioni di saturazione con maggiore probabilità di avere valori elevati di precipitazione. Viceversa i siti che rispetto al flusso umido si trovano sottovento sono interessati da precipitazioni inferiori, ad eccezione delle località in prossimità degli spartiacque.

Le strutture depressionarie aventi un'ampia scala spazio-temporale usualmente determinano episodi di precipitazione diffusi, persistenti e localmente intensi, cui frequentemente sono associati fenomeni di esondazione di una certa rilevanza ed estensione e risultano essere normalmente previste con sufficiente accuratezza dai modelli meteorologici attualmente utilizzati.

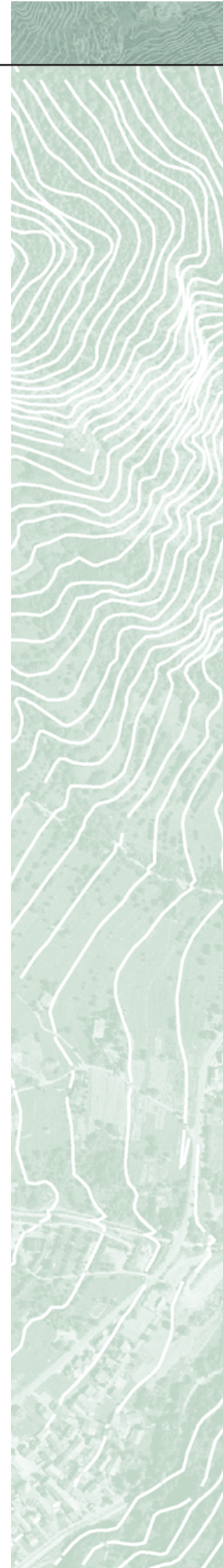
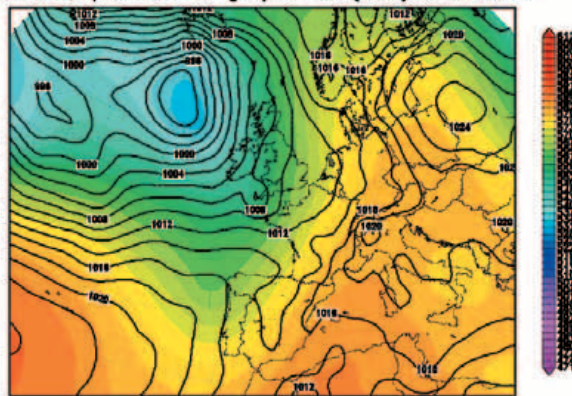


Figura 2.1.1

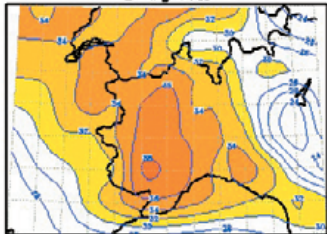
Analisi dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa (colori) e della pressione al livello del mare (isolinee) delle ore 12 UTC del 04/06/2003

Sea level pressure and geopotential (dam) at hPa 500



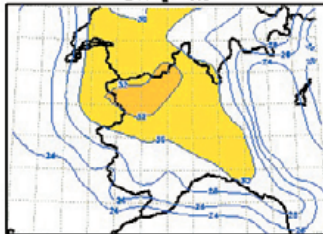
ECMWF -- Wed 04 JUN 2003 12:00 UTC -- Analysis

Whiting index



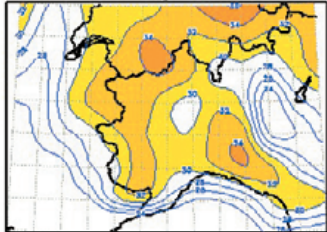
ECMWF -- Wed 04 JUN 2003 00:00 UTC -- Analysis

Whiting index



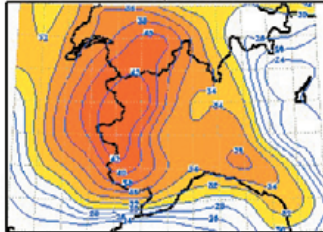
ECMWF -- Wed 04 JUN 2003 06:00 UTC -- Analysis

Whiting index



ECMWF -- Wed 04 JUN 2003 12:00 UTC -- Analysis

Whiting index



ECMWF -- Wed 04 JUN 2003 18:00 UTC -- Analysis

Figura 2.1.2

Analisi dell'indice di instabilità Whiting alle ore 00 UTC, 06 UTC, 12 UTC, 18 UTC del 04/06/2003

Maggiori difficoltà sono connesse all'analisi e alla previsione dei fenomeni temporaleschi: essi sono infatti caratterizzati da un'intrinseca imprevedibilità, legata alle molteplici cause che ne determinano la genesi e ne influenzano l'evoluzione. Ad eccezione dei casi in cui il fenomeno non sia ampiamente organizzato in sistemi frontali o linee di gruppo (*squall lines*), il temporale può essere strutturato in supercelle avere un carattere così locale che anche un modello numerico ad area limitata ad elevata risoluzione spaziale difficilmente riesce a risolvere. È necessario quindi un monitoraggio costante dell'evoluzione generale della circolazione atmosferica basato sulle immagini da satellite e da radar (il cosiddetto *nowcasting*), sulle carte di analisi e di previsioni, nonché sui più recenti radiosondaggi, in modo da avere delle informazioni quantitative sulla stabilità o instabilità dell'atmosfera. I campi di precipitazione previsti dai modelli risultano infatti poco attendibili nel caso di temporali che, come già accennato, possono risentire dell'influenza di molteplici fattori (instabilità atmosferica, afflussi di temperatura ed umidità ai vari livelli, *wind shear*, corrente a getto, effetti oro-

grafici). È quindi importante che il previsore svolga un esame dettagliato dei vari campi disponibili in *output* dai modelli meteorologici, in particolare dai modelli locali, in modo da riconoscere le condizioni favorevoli allo sviluppo dei temporali.

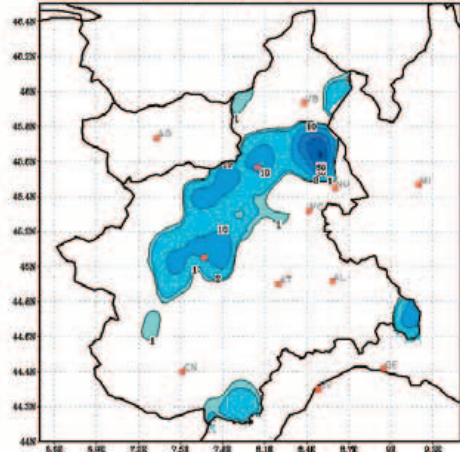
I temporali che si verificano sulla nostra regione si possono suddividere in due categorie principali: temporali di calore e temporali frontali e prefrontali. Essi si verificano generalmente in primavera, estate e nei primi mesi dell'autunno.

I temporali di calore sono tipici delle zone alpine e prealpine, quando l'aria umida viene resa instabile nelle ore diurne dall'intensa radiazione solare, dando origine allo sviluppo di nuvolosità di tipo cumuliforme, con riscaldamento dei bassi strati dell'atmosfera ed ascesa dell'aria lungo i rilievi. Nel caso di forte riscaldamento solare, assenza di venti significativi e presenza di aria umida stagnante, favorita anche dall'evaporazione diurna, questa tipologia di temporali si sviluppa anche nelle zone pianeggianti, specie quelle interne ed a ridosso dei rilievi; questi sono i temporali di calore che danno luogo a precipitazione più intensa. Essi si verificano generalmente nel periodo estivo nelle ore pomeridiane, quando l'attività termica raggiunge la sua massima intensità.

Il periodo tipico dei temporali di calore si riduce sui rilievi più elevati, a causa della copertura nevosa che mantiene l'ambiente piuttosto freddo inibendo il sollevamento diurno delle masse d'aria. In ogni caso, un temporale di calore si verifica con condizioni di bel tempo, anche con pressione al suolo relativamente elevata (1'012-1'018 hPa) quando la massa d'aria preesistente è costretta a ristagnare in loco dalla scarsa circolazione ed è in grado di riscaldarsi e umidificarsi sufficientemente aumentando l'instabilità. Esistono inoltre condizioni che possono maggiormente favorire lo sviluppo di questa tipologia di fenomeni, come deboli infiltrazioni di aria più fresca in quota dalle vallate alpine o a causa di deboli flussi da ovest, nord-ovest. I temporali *di calore* sono fenomeni che tendono ad avere breve durata e, come già evidenziato, la loro prevedibilità risulta essere sostanzialmente bassa. Un esempio di temporale di calore è quello del 4 giugno 2003 (figura 2.1.1): in questo caso il Piemonte si trova nella zona di confine tra una sacatura presente sull'Europa occidentale e un promontorio di alta pressione in quota in espansione sul Mediterraneo centrale. Tale situazione non muta sostanzialmente per l'intera giornata, ma l'afflusso di aria calda e umida sul Piemonte ed una modesta avvezione di aria fredda in quota (dell'ordine di 1-2 °C a 500 hPa), sono sufficienti a causare una situazione di instabilità atmosferica (figura 2.1.2), scatenando temporali di origine essenzialmente convettiva (figura 2.1.3).

I *temporali frontali e prefrontali* sono i più violenti e duraturi (dell'ordine di 6-12 ore ed in alcuni casi anche di più) e sono associati ai valori più elevati di precipitazione, anche se il moto traslatorio delle celle, guidate dal fronte, ne può disperdere

Precipitation (mm/12hr) at 04JUN2003 12:00 UTC



Precipitation (mm/12hr) at 05JUN2003 00:00 UTC

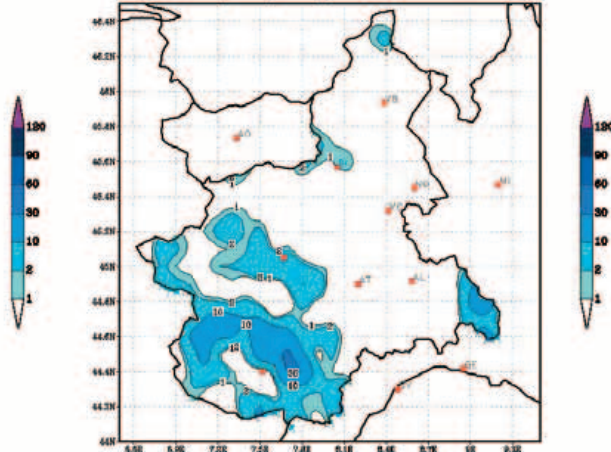
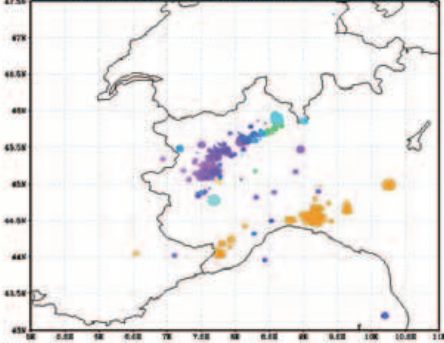


Figura 2.1.3
Precipitazione cumulata
in 12 ore: prima e seconda
parte della giornata
del 04/06/2003

Blitz(12h) at 04/06/2003 12:00 UTC



Blitz(12h) at 05/06/2003 00:00 UTC

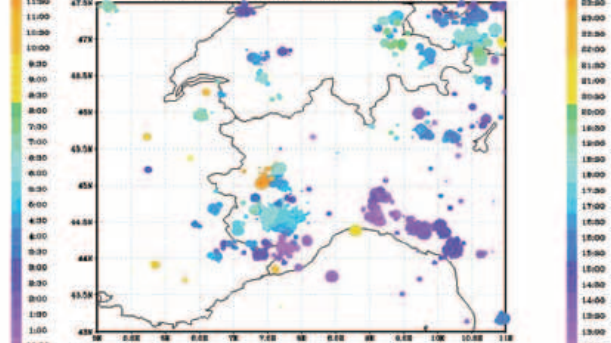


Figura 2.1.4
Fulmini in 12 ore
verificati nella prima
e nella seconda parte
della giornata
del 04/06/2003

la quantità su porzioni di territorio più ampie. Questi temporali sono generalmente associati ad elevata instabilità, repentini cali di pressione, influssi di aria fredda dopo un periodo caldo, forte convergenza nei bassi strati, intensi moti convettivi ed assenza di forti venti che ostacolano lo sviluppo di moti verticali.

Più dettagliatamente si hanno:

- 1) *temporali frontali* generati da un fronte freddo, il passaggio di un fronte freddo induce il sollevamento di aria calda e umida già presente sul territorio, con una conseguente rapida condensazione dell'umidità presente e conseguente innesco di precipitazioni. Sono i fenomeni più predicibili, che possono avvenire in qualsiasi ora della giornata, guidati da una precisa forzante. Si può osservare una concomitante brusca diminuzione della pressione al suolo;
- 2) *temporali prefrontali*, sono più probabili nel settore caldo di un sistema frontale; la loro predicibilità è inferiore a quella dei temporali frontali in quanto dipendono fortemente dall'apporto di aria calda e umida del fronte caldo, dalla velocità di avanzamento del fronte freddo successivo e possono fortemente risentire di effetti orografici. Tendono ad organizzarsi in mesolinee frontali e possono scatenare un effetto a cate-

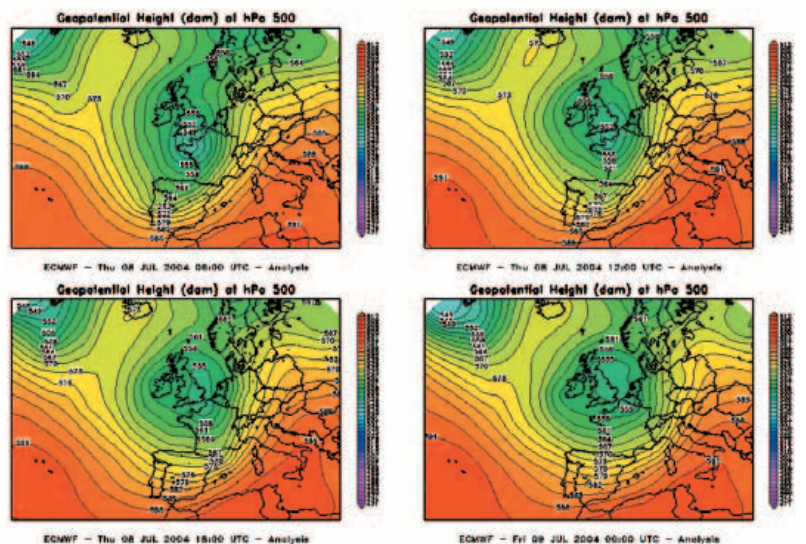


Figura 2.1.5
Analisi dell'altezza
geopotenziale a 500 hPa
del 08/07/2004
alle 06 UTC, 12 UTC,
18 UTC e del 09/07/2004
alle 00 UTC

na, mediante il quale la comparsa di alcune celle favorisce l'innesco successivo di altre celle temporalesche, guidate a loro volta dalla diminuzione costante di pressione al suolo.

Nelle situazioni di criticità estesa verificatesi sul Piemonte negli ultimi 20 anni, in particolare nell'alluvione del novembre 1994 e ottobre 2000,

Figura 2.1.6

Analisi
della temperatura
a 500 hPa
del 08/07/2004
alle 06 UTC, 12 UTC,
18 UTC e del 09/07/2004
alle 00 UTC

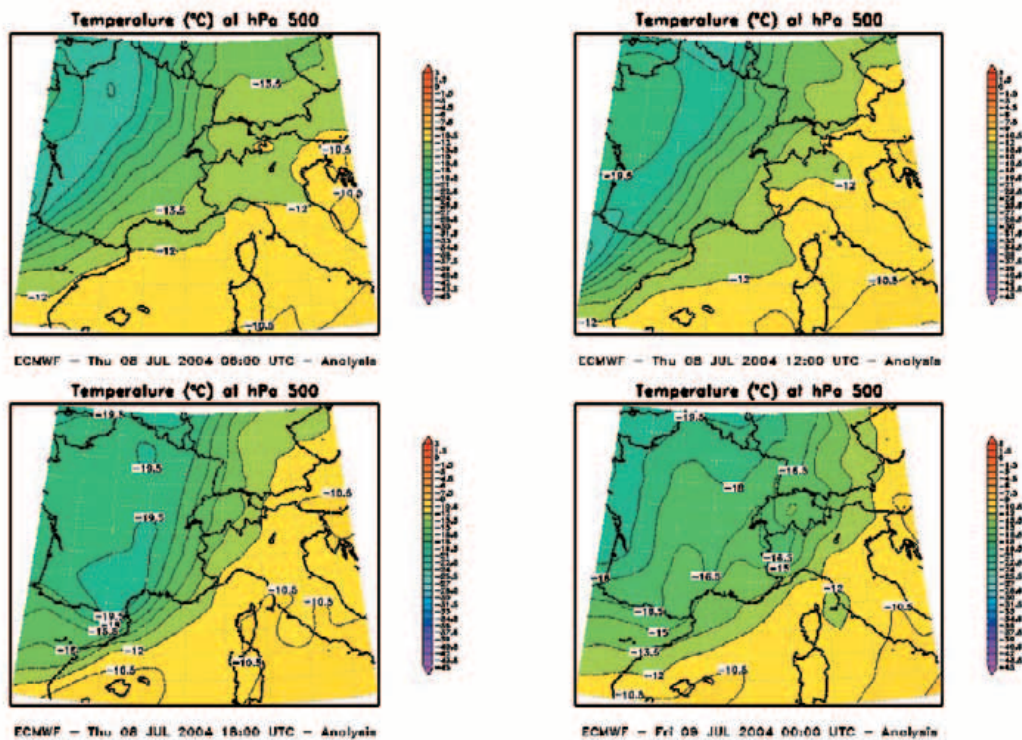


Figura 2.1.7

Precipitazioni accumulate
in 24 ore dalle 00 UTC
del 08/07/2004
alle 00 UTC
del 09/07/2004

Precipitation (mm/24hr) at 09JUL2004 00:00 UTC

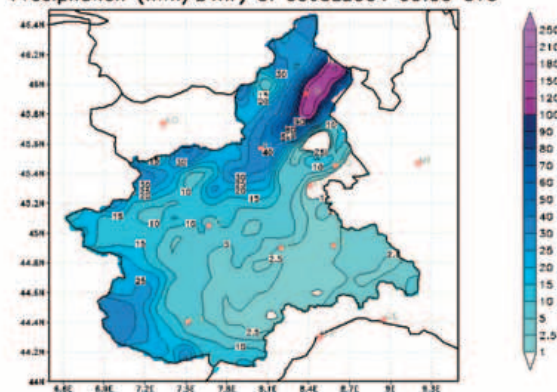
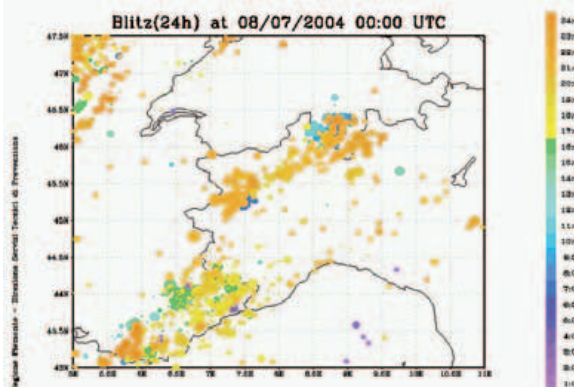


Figura 2.1.8

Fulmini in 24 ore verificati
dalle 00 UTC
del 07/07/2004 alle 00 UTC
del 08/07/2004



si sono avute condizioni di precipitazione intensa e persistente legate a configurazioni a grande scala, all'interno delle quali si sono innescati fenomeni convettivi intensi che hanno dato origine ai valori di precipitazione più elevati concentrati nel tempo, responsabili dei principali effetti.

Un esempio di temporale frontale è quello verificatosi l'8 luglio 2004, quando un fronte freddo associato ad una saccatura presente sull'Europa occidentale si avvicina all'Italia, apportando un marcato afflusso di aria fredda e forti temporali, in particolare sul Piemonte settentrionale, dove alla forzante frontale si aggiunge una forzante orografica, che favorisce il perdurare dei fenomeni per circa 24 ore (figura 2.1.6).

È fondamentale sottolineare inoltre che alla genesi di un fenomeno temporalesco raramente partecipa soltanto una delle cause sopracitate (ad esempio può transitare un fronte freddo nelle ore pomeridiane, oppure a dei temporali prefrontali possono seguire temporali frontali veri e propri) e la sovrapposizione di più forzanti può aumentare l'imprevedibilità del temporale ed amplificarne gli effetti potenzialmente pericolosi (pioggia, grandine, fulminazioni, forti venti, trombe d'aria). L'imprevedibilità dei fenomeni è molte volte amplificata dagli errori sistematici dei modelli (anche ad area limitata).

Le situazioni favorevoli allo sviluppo di forti temporali guidati dalla situazione a grande scala sono l'avezione di aria fredda in quota successiva ad almeno due giorni di flusso di aria umida in condizioni anticicloniche, l'afflusso di aria fredda successivo ad una forte presenza di umidità apportata da una depressione precedente che ha

TABELLA 2.1.1 DEFINIZIONE E CARATTERISTICHE DEI PRINCIPALI INDICI DI INSTABILITÀ TERMODINAMICA

INDICE	CARATTERISTICHE	VALORI SOGLIA	COMMENTI
WHITING	Valuta l'instabilità di una massa d'aria esaminandone i parametri termici e igrometrici nella bassa troposfera, cioè nello strato compreso tra 850 e 500 hPa. L'innesco e lo sviluppo dei temporali di massa dipendono da tre fattori fondamentali di natura termica e due fattori correttivi di natura dinamica: 1) Gradiente termico verticale T850-T500; 2) Umidità dell'aria negli strati inferiori Td850; 3) Estensione verticale degli strati umidi T700-Td700; 4) Convergenza e divergenza del flusso nel volume interessato (correnti a 500 hPa); 5) Vorticità relativa.	Tra 15 e 25 l'instabilità e la probabilità del verificarsi di temporali sono moderate; per valori tra 25 e 35 l'instabilità è forte e la probabilità del verificarsi di temporali è alta. Dall'analisi di casi studio sul Piemonte, si evince che una soglia di 30 è significativa per lo sviluppo di forti rovesci o temporali.	Non è ottimo per prevedere condizioni estreme ma fornisce una buona indicazione di quanto sarà estesa la convezione.
SHOWALTER	Fornisce una misura dell'instabilità potenziale dell'atmosfera nello strato tra 850 e 500 hPa. Si calcola come la differenza tra la temperatura a 500 hPa e la temperatura di una particella sollevata seguendo un'adiabatica umida dal livello inferiore delle nubi a patto che partano da una quota superiore a 850 hPa.	Si possono avere rovesci con $Sh < 3^\circ C$, temporali con $Sh < 1^\circ C$, temporali molto forti con $Sh < -2^\circ C$, eventi eccezionali (tornado) con $Sh < -5^\circ C$.	Richiede che sia presente uno spesso strato di umidità condensata (tale da raggiungere 850 hPa).
LIFTED INDEX (LI)	È una misura dell'instabilità potenziale dell'atmosfera tra la superficie e l'isobara di 500 hPa. Si calcola come la differenza tra la temperatura ambiente a 500 hPa e la temperatura di una porzione d'aria con un <i>mixing ratio</i> mediato nei 100 hPa più prossimi alla superficie sollevata seguendo un'adiabatica secca alla pressione di 500hPa.	Rovesci si possono avere con $LI < 4^\circ C$, mentre per avere convezione profonda LI deve essere negativo; forti temporali si hanno con $LI < -4^\circ C$. Visto il ruolo forzante dell'orografia del territorio piemontese nel favorire l'instabilizzazione atmosferica un valore soglia più adatto alla situazione regionale è $LI < -2^\circ C$.	Dovrebbe essere utilizzato sempre facendo riferimento al sondaggio da cui è calcolato.
TOTAL-TOTALS	Si calcola come la differenza tra la somma delle temperature a 850 hPa (atmosfera e di rugiada) e due volte la temperatura a 500 hPa.	Possono avvenire temporali con valori superiori a $40-45^\circ C$, e temporali molto forti con valori di $45-50^\circ C$ o superiori.	
VALOR MEDIO DELL'UMIDITÀ TRA 500 E 850 HPA	Un alto valore di umidità negli strati medio-alti dell'atmosfera può favorire o amplificare la genesi di fenomeni temporaleschi.	Superiore al 65%.	
CAPE <i>Convective Available Potential Energy</i>	Misura l'energia disponibile tra il livello di convezione libera ed il livello di equilibrio. Dal CAPE si può risalire al valore massimo indicativo della velocità del flusso ascendente.	Valori tra 1'000 e 3'000 J/kg si verificano in caso di convezione profonda; un valore comunque superiore a 1'000 J/kg è un buon indicatore di atmosfera instabile.	È preferibile interpretare i valori di CAPE nel contesto del radiosondaggio da cui è estrapolato. Da interpretare assieme al valore del CIN <i>index (convective inhibition)</i> , che misura l'energia tra la superficie ed il livello di convezione libera. Quando il CAPE è concentrato perlòpiù nella parte superiore dell'area instabile, ne consegue una maggiore accelerazione verso l'alto delle particelle.
SWEAT	È un indice empirico di stabilità che consente di valutare se vi siano o no condizioni meteorologiche favorevoli allo sviluppo di una tromba d'aria.	Valori compresi tra 250 e 300 possono dar luogo, se è in atto un forte sollevamento, ad intense manifestazioni temporalesche. Quando l'indice uguaglia o supera il valore di 400, vi sono altissime probabilità che si sviluppi una tromba d'aria.	Rispetto ad altri indici, ha evidenziato una notevole superiorità nell'individuare situazioni favorevoli allo sviluppo di fenomeni estremi.

TABELLA 2.1.2 VALORI ASSUNTI DAGLI INDICI DI INSTABILITÀ NEL CASO DEL 17-18 AGOSTO 2004. IN ROSSO SONO EVIDENZIATI I VALORI CRITICI

DATA E ORA	NUMERO FULMINAZIONI REGISTRATE SULLA PIANURA TORINESE	WHITING INDEX	LIFTED INDEX	CAPE	SWEAT INDEX
17/08/2004 ore 06 UTC	20	32	1	123	98
17/08/2004 ore 12 UTC	7	29	1	8	148
17/08/2004 ore 18 UTC	203	35	0	147	210
18/08/2004 ore 00 UTC	121	31	-2	471	230

determinato precipitazioni deboli o assenti, l'afflusso di aria fredda associato alla formazione di una depressione sul Piemonte.

Gli indici di instabilità atmosferica quali *Whiting*, *Showalter*, *Total-totals*, *Lifted index*, CAPE caratterizzano le situazioni temporalesche. La **tabella 2.1.1** ne riassume alcune caratteristiche.

L'applicazione del calcolo degli indici termodinamici alle analisi del caso temporalesco del 17-18 agosto 2004 fornisce i valori degli indici riportati nella **tabella 2.1.2**.

Altre caratteristiche dell'atmosfera, osservate nel periodo precedente allo sviluppo di situazioni convettive intense, sono il profilo verticale, previsto od osservato negli istanti precedenti lo sviluppo del temporale, saturo per almeno 2'000-3'000 m di quota, il profilo verticale instabile umido (temperatura potenziale equivalente in diminuzione con la quota).

Le *neviccate* intense a bassa quota determinano problemi alla viabilità su strade, aeroporti, autostrade e sui centri cittadini con rischi di incidenti, cancellazione di voli aerei e rallentamenti del traffico veicolare con conseguenti ricadute sul sistema socio-economico; sulle località collinari una *nevicata* abbondante può portare all'isolamento di frazioni lontane dai centri abitati, con difficoltà negli approvvigionamenti per gli abitanti.

La condizione di attecchimento della neve al terreno è convenzionalmente data dal valore inferiore a 0 °C della temperatura di rugiada; mentre per la conversione da mm di precipitazione a cm di neve, in media si ha che 1 mm di precipitazione corrisponde a circa 1 cm di neve; tuttavia in caso di *nevicata* a grandi fiocchi il rapporto può arrivare fino a 1.5 cm di neve mentre in condizione di temperature molto basse, al di sotto di -10 °C il rapporto può scendere su valori inferiori al cm.

L'esperienza svolta in ambito previsionale in questi anni ha evidenziato come sul territorio piemontese raramente si siano verificate situazioni in cui l'evenienza di neve a bassa quota potesse essere prevista con una buona dose di sicurezza, come nei casi in cui la temperatura in prossimità della superficie terrestre è decisamente al di sotto di 0 °C: frequenti sono infatti gli episodi in cui lo zero termico è attorno ai 600-700 m, con una temperatura attorno ai 2 °C in pianura. In quest'ultimo caso, un errore nella previsione di tem-

peratura anche solo di 1-2 °C può determinare una situazione di pioggia anziché neve o viceversa, con effetti al suolo completamente diversi.

La *nebbia* fitta è l'altro fenomeno meteorologico che ha il maggiore impatto negativo sulla viabilità, in particolare sulle autostrade e sulle strade extraurbane con il grosso pericolo di incidenti che coinvolgano un grande numero di veicoli a causa della scarsa visibilità. Forte è anche l'influsso sulle attività aeroportuali con cancellazione di voli in partenza e dirottamento su altri aeroporti dei voli in arrivo.

In Pianura Padana le nebbie e le foschie sono principalmente di tipo *radiativo*, ossia determinate dal raffreddamento della superficie terrestre fino a portare la temperatura dell'aria nei bassi strati al di sotto della temperatura di rugiada. Le seguenti condizioni sono favorevoli allo sviluppo della nebbia di radiazione:

- 1) cielo sereno e presenza di nubi solo alle quote più elevate (altrimenti l'alta riflettività delle nubi ridurrebbe l'emissione radiativa della superficie terrestre);
- 2) alta umidità relativa (maggiore dell'80%) nei bassi strati (1'000, 925 e 850 hPa);
- 3) stratificazione stabile, con la frequente presenza di inversioni termiche al di sopra dello strato superficiale;
- 4) venti calmi o deboli (1-5 m/s) nei bassi strati in quanto con venti più sostenuti si sviluppa una turbolenza che impedisce la formazione della nebbia. Per verificare la presenza di venti deboli è utile anche vedere l'andamento della pressione al suolo sul Piemonte: occorre avere un andamento uniforme o una variazione al più di 2 hPa.

Tali nebbie possono essere talvolta molto estese arrivando ad interessare tutta la Pianura Padana e perdurare per più giorni.

Un secondo tipo di nebbie, assimilabile alle *nebbie frontali* o *post-frontali*, si presenta in seguito al passaggio di un fronte, normalmente un fronte caldo, con queste condizioni:

- 1) rasseramento serale o notturno successivo ad uno o più giorni con precipitazioni o talvolta anche solo con presenza di nubi basse determinanti una forte presenza di umidità nei bas-

si strati, con un cielo sereno che favorisce l'irraggiamento notturno e la conseguente condensazione del vapore acqueo;

- 2) rialzo dei valori di pressione e dello zero termico con conseguente situazione di stabilità atmosferica, potenzialmente favorevole allo sviluppo di inversioni termiche;
- 3) assenza di vento nei bassi strati dell'atmosfera ad indurre la dissipazione della nebbia;
- 4) presenza di un vento discendente in quota che determina un riscaldamento degli strati medio-alti dell'atmosfera e quindi condizioni favorevoli alla stabilità e ad inversioni termiche.

Le nebbie post-frontali sono normalmente a banchi in quanto il rasserenamento può avvenire in maniera irregolare; sono localmente fitte, ma poco estese e durature.

Il periodo più favorevole per le nebbie e le foschie in pianura va da ottobre a febbraio, i mesi in cui il raffreddamento notturno è più duraturo. Tuttavia possono verificarsi anche negli altri mesi, in particolare quelle di evaporazione.

Nei fondovalle, ove il raffreddamento radiativo è maggiore per la presenza dei monti circostanti, si possono avere inversioni di temperatura e nebbie anche in altri mesi dell'anno. Le nebbie possono verificarsi anche sui pendii, quando in condizioni di stabilità l'aria è forzata a salire lungo i rilievi, si raffredda adiabaticamente provocando la condensazione del vapore acqueo, mentre sulle zone pedemontane si ha la formazione di nuvolosità bassa e stratificata.

Situazioni di *temperature anomale*, sia come ondate di calore sia come irruzioni di freddo intenso, sono un altro fenomeno meteorologico che può comportare situazioni di criticità. Un'ondata di calore anomala crea problemi di salute pubblica, con aumento di mortalità e morbilità, spesso contemporanee ad impatti sull'agricoltura, legati a situazioni di siccità e fabbisogno idrico per le coltivazioni.

Un esempio significativo per tutti questi aspetti è quello dell'estate 2003, durante la quale l'Italia settentrionale è stata interessata da condizioni meteorologiche eccezionali con lunghi periodi caratterizzati da temperature ed umidità elevate, con valori al di sopra delle medie stagionali, sia durante le ore diurne, sia durante le ore notturne. La configurazione meteorologica prevalente ha visto l'influenza dell'anticiclone nordafricano che, anche a causa della sua notevole estensione sia in longitudine che in latitudine, si è mantenuto pressoché stazionario. La massima estensione areale è stata raggiunta nella prima decade di agosto quando l'influenza dell'anticiclone di origine africana si è estesa su tutto il bacino centro-occidentale del Mar Mediterraneo, sull'Europa occidentale e centrale, dall'Italia fino ai limiti del Circolo Polare Artico ed infine su buona parte dell'Europa sudo-

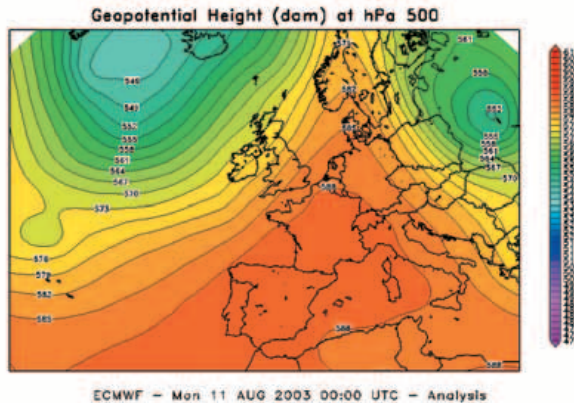


Figura 2.1.9
Analisi dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa sull'Europa (11/08/2003)

GIUGNO	2003	CLIMATOLOGIA	ΔT
Tmin	20.4 °C	16.4 °C	4.0 °C
Tmedia	26.0 °C	21.1 °C	4.9 °C
Tmax	32.0 °C	25.8 °C	6.2 °C

LUGLIO	2003	CLIMATOLOGIA	ΔT
Tmin	20.9 °C	19.0 °C	1.9 °C
Tmedia	26.4 °C	23.9 °C	2.5 °C
Tmax	32.2 °C	28.8 °C	3.4 °C

AGOSTO	2003	CLIMATOLOGIA	ΔT
Tmin	21.1 °C	18.2 °C	2.9 °C
Tmedia	27.4 °C	22.8 °C	4.6 °C
Tmax	34.4 °C	27.8 °C	6.4 °C

Figura 2.1.10
Dati di temperatura misurati in Torino città: medie mensili dell'estate 2003, della climatologia di riferimento e anomalia

rientale (figura 2.1.9). La conseguente anomalia positiva, di circa 3-4 °C nella temperatura media a 850 hPa, conseguente è stata osservata su tutto il Mediterraneo e sull'Europa.

Durante questa decade nella città di Torino, in Piemonte ed in diverse località italiane ed europee sono stati raggiunti valori di temperatura estremi. Nella tabella (figura 2.1.10) si osservano i valori medi, minimi e massimi di temperatura registrati dalla stazione meteorologica di Torino Buon Pastore nei mesi di giugno, luglio ed agosto.

Nel grafico di figura 2.1.11 sono riportati i valori giornalieri massimi e minimi di temperatura misurati nel periodo dal 1 maggio 2003 al 30 settembre 2003.

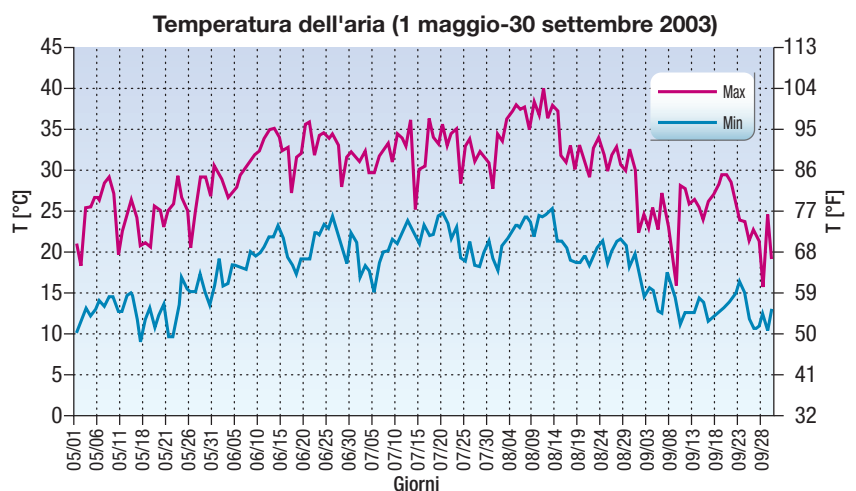


Figura 2.1.11
Temperatura massima e minima giornaliera registrata nel periodo 01/05/2003 30/09/2003 nella stazione Torino Buon Pastore

Temperatura apparente - Discomfort Index - Humidex (1 maggio-30 settembre 2003)

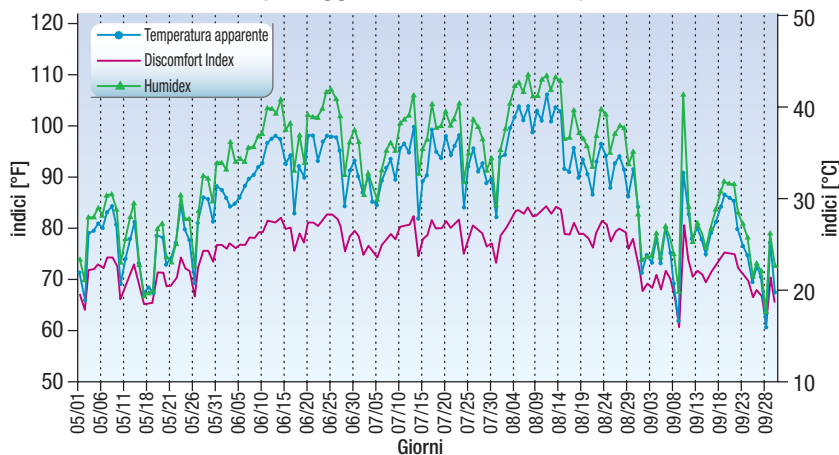


Figura 2.1.12

Estate 2003: indici biometeorologici giornalieri massimi registrati nel periodo

Mortalità in eccesso e temperatura massima giornaliera (Torino, 1 maggio - 30 settembre 2003)

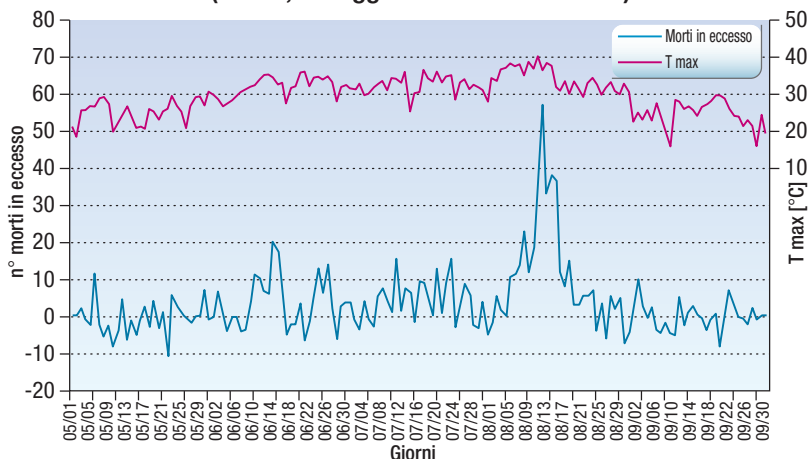


Figura 2.1.13

Estate 2003:

temperatura

massima giornaliera

e numero di decessi.

In figura è possibile

osservare il considerevole

numero di morti

in eccesso registrato

durante il periodo

estremamente caldo

tra il 4 agosto

ed il 14 agosto.

I punti che cadono sulla

linea 0 rappresentano

situazioni in cui il numero

di morti osservati

è pari al numero di morti

atteso dal modello

di regressione

Sul territorio piemontese, lo zero termico si è mantenuto sui 4'000 m per tutto il periodo in esame; tale fatto ha determinato la presenza di temperature elevate non solo in pianura, ma anche nelle località montane. La presenza di umidità è stata invece più rilevante nel mese di giugno quando frequenti flussi dai quadranti meridionali hanno convogliato aria umida dal Mediterraneo causando, unitamente alle alte temperature, condizioni di afa elevata. Nel corso di questo periodo si sono frequentemente verificati annuvolamenti pomeridiani e serali di origine convettiva causati dal forte riscaldamento diurno e talora accompagnati da brevi rovesci; lo sviluppo delle nubi ha incrementato l'umidità relativa anche nelle ore notturne ed ha contribuito al perdurare delle situazioni con elevato disagio fisico, in particolare nell'area urbana della città di Torino.

Studi epidemiologici indicano che queste condizioni provocano disagio fisiologico alla popolazione: i soggetti più a rischio sono le persone affette da malattie cardio-respiratorie e le persone

anziane che sono dotate di una ridotta capacità di termoregolazione. In tali condizioni meteorologiche aumenta, nell'intero campione della popolazione, il rischio di essere colpiti da crampi da calore, disidratazione e colpi di calore, con conseguente incremento di morbilità e mortalità.

Nel mese di giugno si evidenziano due periodi caratterizzati da condizioni critiche per la salute: tra il 10 giugno ed il 14 giugno e nella settimana compresa tra il 20 ed il 27. Nel mese di luglio i valori di temperatura ed umidità relativa sono rimasti critici, ma con valori simili a quelli medi del periodo. I valori misurati nel mese di agosto si sono discostati notevolmente dai valori climatici ed hanno determinato un picco di mortalità: nel periodo tra il 4 ed il 14 agosto, per molti giorni consecutivi, sono state misurate temperature massime intorno ai 38 °C con un picco anche di 40.5 °C. Le precipitazioni a carattere temporalesco del 15 agosto hanno temporaneamente rinfrescato l'aria, ma i successivi giorni del mese sono ancora stati caratterizzati da temperature elevate. Settembre 2003 è stato ancora un mese caldo rispetto alla climatologia, ma non si sono registrati eccessi nel numero di eventi sanitari: i soggetti a rischio che hanno superato le condizioni critiche del mese di agosto hanno superato con minore disagio il caldo di settembre grazie all'acclimazione.

Per valutare e descrivere oggettivamente le condizioni di benessere o disagio fisiologico dell'uomo in conseguenza dell'andamento climatico sono utilizzati degli indici biometeorologici sintetici che combinano temperatura, umidità relativa dell'aria ed in alcuni casi velocità del vento: la *Temperatura Apparente*, lo *Humidex* ed il *Discomfort Index* sono alcuni di questi indici; in **figura 2.1.12** vengono rappresentati graficamente i valori massimi giornalieri raggiunti dai tre indici durante l'estate 2003. Da un rapido confronto con le soglie riprese dalla bibliografia si osserva, nel periodo in esame, il frequente superamento dei valori di soglia di *estrema cautela* e, nei giorni di maggiore criticità, di *pericolo*.

Nell'area urbana di Torino durante l'estate 2003 sono stati registrati circa 600 decessi in più rispetto all'atteso. L'eccesso di mortalità registrato è dovuto alle condizioni di caldo estremo del periodo e rappresenta il valore più alto mai raggiunto a Torino negli ultimi 20 anni. L'anomalia è pari al 33% della popolazione (+25% nella popolazione maschile e +40% nella popolazione femminile). L'aumento della mortalità è stato rilevato principalmente nella popolazione delle fasce di età anziana (>64 anni) e molto anziana (>74 anni) che rappresentano rispettivamente il 96% e l'86% del totale dei casi in eccesso. Le spiegazioni sono da ricercare nella ridotta capacità di termoregolazione e nell'alta prevalenza di malati cronici che rendono la popolazione anziana maggiormente vulnerabile. La mortalità è stata differenziale per genere, colpendo di più le donne rispetto agli uomini, fenomeno da imputare ad una maggiore numero-

sità e alla più elevata età media della popolazione femminile. Le cause di morte hanno interessato principalmente il sistema circolatorio, respiratorio, nervoso, endocrino nonché le malattie psichiche.

Il grafico di **figura 2.1.13** mette in relazione il numero di decessi alle condizioni di caldo estremo che si sono registrate nell'estate 2003 nell'area urbana della città di Torino. I decessi dovuti alle condizioni meteorologiche estive sono stati calcolati come differenza tra il numero di decessi registrati ed il numero medio di decessi attesi per le stesse cause nel periodo: i valori attesi sono stati calcolati attraverso un modello di regressione che tiene conto delle variazioni, a breve e lungo termine, del numero di abitanti.

L'estate 2003 ha visto anche la conclusione di un periodo caratterizzato da piovosità estremamente scarsa: la situazione più critica si è verificata nel settore nordorientale della regione, nelle province di Verbania, Novara e Vercelli, dove il *deficit* pluviometrico, rispetto alla media climatica, risulta generalmente superiore al 70% con punte superiori al 90%.

Come descritto per l'estate 2003, tutto il primo periodo dell'anno è stato infatti caratterizzato da configurazioni meteorologiche che hanno limitato, nella durata e nell'intensità, gli eventi di precipitazione, determinando un deficit complessivo importante su tutta la regione ed in particolare sulla zona settentrionale del Piemonte.

Ad esempio per il mese di marzo 2003, (**figura 2.1.15** e **figura 2.1.16**), si osserva come la presenza del promontorio anticiclonico esteso sull'Europa sudoccidentale, anomalo rispetto alla climatologia, che vede un flusso atlantico a componente ciclonica, impedisce l'ingresso nel Mediterraneo alle perturbazioni atlantiche, inibendo così l'apporto di umidità e le precipitazioni conseguenti.

I periodi di *siccità* come quello del 2003 hanno evidenziato in modo determinante come condizioni di scarsità di apporti pluviometrici, anche per periodi di qualche mese, possono influenzare la disponibilità della risorsa idrica complessiva e quindi determinare criticità per le attività agricole e produttive. L'associazione al periodo di caldo estivo, oltre alle conseguenze dirette sulla salute e la mortalità, ha causato un peggioramento della qualità dell'aria, un aumento della diffusione degli insetti, in particolare un loro adattamento ad altitudini superiori, una situazione critica per l'ambiente di alta montagna, con il verificarsi di numerosi crolli in roccia e una riduzione consistente della massa glaciale.

L'importanza sociale ed economica di tali impatti, unitamente alla ricorrenza di tali eventi (anche l'anno 2001 ed in particolare l'autunno, fu caratterizzato da siccità, con precipitazioni medie annuali ridotte al 46% della media 1913-2001 e al 62% della media del secondo semestre) e all'aumento delle possibilità previsionali a lungo termine, ha attivato, a livello regionale, studi e test pre-operativi per un utilizzo sperimentale delle previsioni sta-

Differenza delle precipitazioni (mm) di Gen-Ago 2003

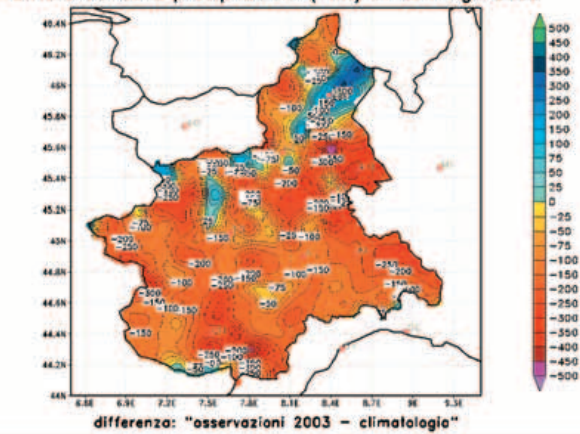


Figura 2.1.14
Deficit di precipitazione (differenza valore osservato meno valore climatologico) dal 01/01/2003 al 31/08/2003 rispetto alla media climatologica del periodo 1913-2002

Monthly Mean Geopotential Height (dam) at 500hPa: Mar 2003

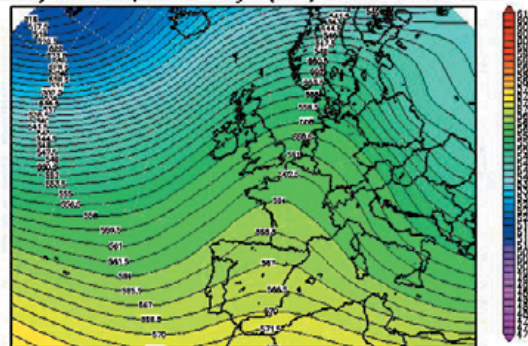
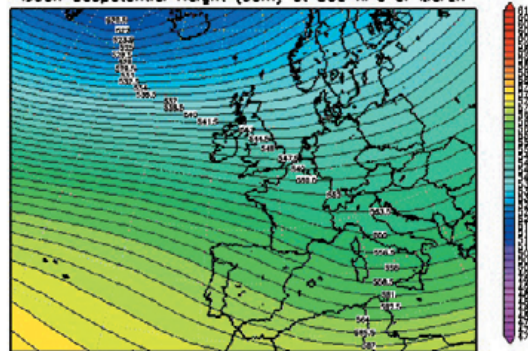


Figura 2.1.15
Altezza del geopotenziale a 500hPa medio del mese di marzo 2003

Mean Geopotential Height (dam) at 500 hPa of March



Climatology from ERA15 (years 1979-1993)

Figura 2.1.16
Media climatologica dell'altezza geopotenziale a 500 hPa, relativa al mese di marzo 2003, sugli anni 1979-1993 (progetto ERA15, ECMWF)

gionali come *early-warning* dei periodi siccitosi, anche attraverso l'utilizzo di specifici indicatori, oggi entrati a far parte del sistema di allertamento.

Danni all'agricoltura possono provenire anche, all'opposto, da *irruzioni di freddo intenso*, ancor più gravi se troppo precoci o tardive rispetto alla climatologia attesa, perché questo (soprattutto nel caso di gelate tardive) aumenta la gravità degli effetti sulle colture. Le irruzioni di freddo intenso, con gelate estese sulle strade, hanno ripercussioni anche sulla viabilità stradale, nonché, naturalmente, ancora una volta, sulla salute pubblica.

Il *vento* è un'altra delle variabili meteorologiche che può causare danni alle infrastrutture, alle piante di medio/alto fusto, inducendo possibili interruzioni

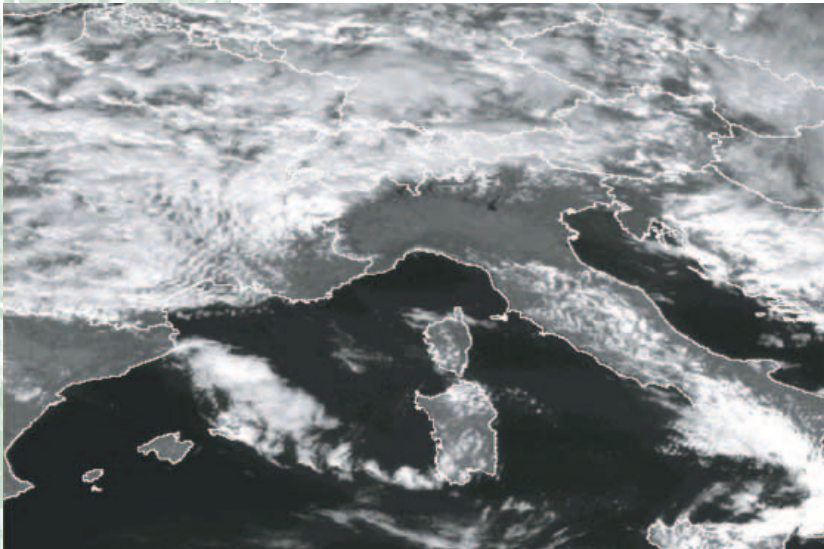


Figura 2.1.17
Immagine
dal satellite METEOSAT
nel canale
del visibile nella situazione
di *foehn* del 13/02/2005
alle ore 12 UTC

della viabilità stradale e ferroviaria, e, non da ultimo, può avere impatto sulle attività antropiche da svolgersi in ambiente esterno, comprese quelle turistiche, ed in generale può influire anche sulle condizioni psico-fisiche dell'uomo.

Il vento forte sulla nostra regione è spesso associato ad episodi di *foehn*.

Il *foehn* è un vento di caduta che scende dalle montagne verso le valli alpine e le pianure adiacenti. È un vento caldo e secco, che si verifica quando una massa d'aria umida in movimento incontra un rilievo montuoso e riesce a superarlo. L'aria ascendente, risalendo il versante sopravvento, diminuisce di temperatura e questo favorisce la condensazione dell'umidità presente, cosicché il versante sopravvento viene interessato da nuvolosità estesa e precipitazioni anche consistenti: questo fenomeno prende il nome di *stau*.

Non appena la massa d'aria, scavalcata la montagna, irrompe nella valle sottostante, discende di quota e la sua temperatura aumenta (circa 1 °C ogni 100 m): la massa d'aria infatti viene compressa dall'aumento della pressione atmosferica e la temperatura al suolo può salire di 10-20 °C in poche ore. Allo stesso tempo l'aria ormai priva di umidità, scaricata sotto forma di precipitazioni nel versante sopravvento, rende il cielo limpido e sereno nel versante sottovento. Quando il *foehn* raggiunge i fondovalle alpini o le zone di pianura può superare la velocità di 100 km/h.

La disposizione orografica delle vallate piemontesi favorisce la canalizzazione di tale flusso; un vento da ovest, nord-ovest interessa le vallate occidentali (in particolare la Val Susa, Val Chisone e le Valli del Canavese) mentre un flusso da nord determina *foehn* sulla Val d'Ossola e Val Sesia. Perché il *foehn* sia avvertito anche in pianura, oltre alle condizioni enunciate precedentemente, occorre anche una persistenza del fenomeno di forte vento discendente (almeno 10-12 ore).

Un evento di *foehn* è talvolta preceduto da una situazione di nuvolosità irregolare e stratificata. Questo capita se l'aria fredda riesce a superare le Alpi e pertanto si genera instabilità anche sottovento.

Il *foehn* alpino si verifica prevalentemente in inverno ed in primavera, meno frequentemente nella stagione estiva.

Sull'Appennino Ligure-Piemontese si possono avere condizioni di *foehn* appenninico, anche se ovviamente con intensità inferiore, quando sul Mar Ligure si hanno moderate o forti correnti anticicloniche da sud-ovest.

Per quanto riguarda l'effetto del *foehn* sulla temperatura nelle località di pianura e di fondovalle, occorre sottolineare che la temperatura che si osserva durante tale fenomeno dipende fortemente dal valore di temperatura associato alla massa d'aria che arriva sulle creste montuose e dal riscaldamento adiabatico che subisce.

Se, per esempio, arriva una massa d'aria con isoterma a -5 °C a 3'000 m circa, si può ipotizzare che al livello del mare la compressione adiabatica determini una temperatura di circa 20-25 °C. Chiaramente nelle diverse stagioni la diversa insolazione solare comporta delle variazioni attorno al tale valore, tuttavia possiamo affermare che se il giorno precedente non era già stato interessato dal *foehn*, in inverno si verifica un sicuro aumento delle minime ed un rialzo molto probabile delle massime; d'estate è possibile invece un calo delle temperature massime, soprattutto se nei giorni precedenti erano stati registrati dei valori prossimi a 30 °C. Nelle stagioni intermedie, primavera ed autunno, occorre considerare caso per caso per discriminare se l'effetto del *foehn* sia quello di un rialzo o di un aumento delle temperature estreme. Per cui, siccome il *foehn* si verifica più frequentemente in inverno o all'inizio della primavera, è noto come vento caldo, però non sempre il suo effetto è quello di portare un aumento della temperatura nelle località di pianura e nei fondovalle.

Altri episodi di vento forte, soprattutto in raffiche, sono associati ai fenomeni temporaleschi. Infatti le forti correnti ascensionali presenti nelle celle temporalesche richiamano masse di aria convergenti al suolo in prossimità della corrente ascensionale, che risultano in forti venti orizzontali con raffiche anche superiori ai 150 km/h. L'intensità di tali venti è proporzionale alla velocità delle correnti ascensionali e dipende dallo stadio di maturità del temporale. Nel caso in cui la corrente ascendente sia molto intensa e dotata di un proprio moto rotatorio si possono sviluppare trombe d'aria. Un caso rilevante verificatosi sulla nostra regione è quello del 29 agosto 2003, quando una tromba d'aria si è sviluppata sopra Galliate (NO) causando lo scoperchiamento di numerosi edifici. Lo sviluppo della tromba d'aria

è stato favorito dalla forte energia termodinamica disponibile per la convezione (l'indice di SWEAT calcolato dal radiosondaggio di Milano Linate mostra un valore di 507, molto elevato per il territorio piemontese).

Un'ultima situazione di criticità per la salute pubblica, forzata da precise configurazioni meteorologiche, è la persistenza di strutture che causano aria stagnante nei bassi strati dell'atmosfera con *accumulo di inquinanti* e sostanze nocive per la popolazione. Questa è legata a configurazioni di alta pressione a lungo presenti sulla nostra penisola, con una persistenza della stabilità dell'atmosfera che mantiene una scarsa ventilazione e impedisce un ricambio dell'aria, impedendo l'avanzata delle depressioni atlantiche, i principali sistemi in grado di portare un netto rimescolamento dell'atmosfera sul Piemonte con l'apporto di precipitazioni o l'innescio di venti significativi, i due principali fattori che favoriscono la dispersione delle sostanze inquinanti pre-esistenti nell'atmosfera. Per supportare le azioni e le politiche di riduzione dell'inquinamento atmosferico è stato realizzato secondo specifiche, per la provincia di Torino, un Indice di Qualità dell'Aria (IQA) che permette di fornire un'indicazione dello stato dell'aria sul territorio provinciale. L'algoritmo diagnostico dell'IQA prevede il calcolo di indici relativi ai singoli parametri chimici monitorati sull'area torinese.

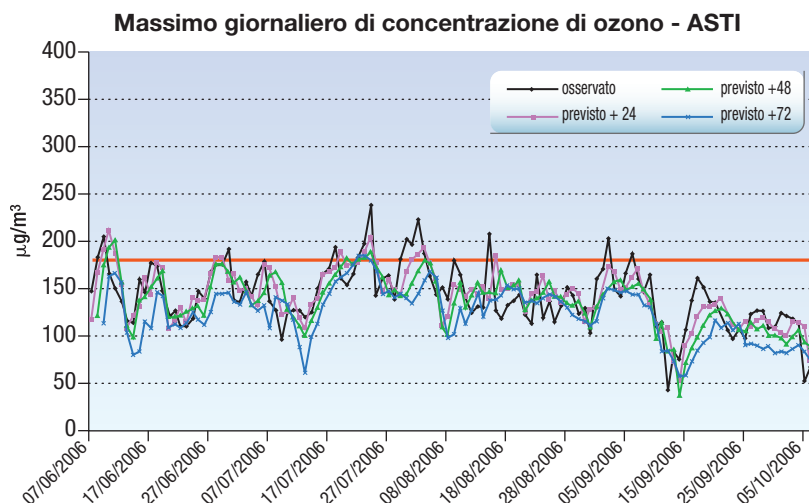
L'Area di Previsione e Monitoraggio Ambientale di Arpa Piemonte ha sviluppato dei prodotti capaci di fornire la previsione dei fenomeni meteorologici che favoriscono e governano i meccanismi di accumulo, basandosi su dati, conoscenze e metodologie derivanti dall'ambito meteorologico. Una delle applicazioni di tali metodologie ha permesso di associare una stima prognostica all'indice IQA. La previsione della tendenza delle condizioni dispersive durante l'inverno, viene calcolata attraverso un albero decisionale che fornisce le condizioni di stabilità del PBL rispetto ai meccanismi di accumulo di inquinanti, a partire dai profili verticali di temperatura e dai campi meteorologici di precipitazione pioggia e vento previsti dal modello meteorologico ad area limitata LAMI, rispettivamente su un punto stazione e un'area, entrambe rappresentative della provincia di Torino. Poiché il fenomeno che maggiormente influenza la qualità dell'aria nel periodo estivo è l'inquinamento da smog fotochimico, l'algoritmo estivo corregge la massima concentrazione di ozono prevista dal modello a rete neurale (RENOIR II) sul punto stazione dell'area urbana torinese con i campi di nuvolosità e di precipitazione e di vento previste sull'intera provincia dal modello LAMI. Dall'estate 2002, è operativo un modello statistico a rete neurale per la previsione a due giorni, della massima concentrazione giornaliera di ozono su un punto stazione rappresentativo dell'area urbana torinese. La scelta di un modello a rete neurale

è dovuta al fatto che queste reti sono strutture estremamente adattive, cioè dotate della capacità di apprendere la soluzione dei problemi sulla base di esempi noti; il modello, infatti, opera per un certo periodo in parallelo al sistema reale di cui vuole emulare il comportamento e modifica la propria struttura minimizzando l'errore tra la realtà ed il modello stesso. Le reti neurali permettono, perciò, di utilizzare la multidimensionalità dell'informazione (come ad esempio la qualità dell'aria e la meteorologia) senza richiedere modelli che interpretino preventivamente le relazioni di causa-effetto.

Il modello RENOIR II, operativo quotidianamente da maggio a settembre, è costituito da due reti neurali, la prima RENOIR 24 che fornisce la previsione della massima concentrazione di ozono per il giorno di emissione, ha come dati di ingresso il valore massimo di concentrazione di ozono e di umidità osservati il giorno precedente e la massima temperatura prevista e l'umidità elaborata dal filtro di Kalman, su un punto stazione dell'area urbana torinese (parametri, questi, che maggiormente influiscono nelle dinamiche fotochimiche che producono l'ozono). La rete RENOIR48 invece ha in ingresso i valori massimi di concentrazione di ozono osservato il giorno precedente a quello di emissione e quello previsto dalla rete RENOIR 24 con la temperatura massima prevista per il giorno successiva di emissione di Kalman e prevede la massima concentrazione di ozono per il giorno successivo a quello di emissione. Tale informazione costituisce anche un input al modello per la previsione delle ondate di calore.

A seguito dell'esigenza di monitorare e prevedere lo stato della qualità dell'aria sull'intero territorio piemontese, si è provveduto ad estendere la metodologia di previsione dell'IQA, originariamente sviluppata per la provincia di Torino, alle specificità regionali. A tal scopo attorno a ciascun capoluogo di provincia piemontese sono state individuate alcune aree, il più possibile omogenee e significative dal punto di vista dei rischi relativi ad episodi di inquinamento (pertanto non

Figura 2.1.18
Serie temporale dei valori massimi giornalieri di concentrazione di ozono previsti e osservati nella provincia di Asti per l'estate 2004 (1 giugno-30 settembre)



sono state considerate le zone alpine); su ognuna di queste aree è stato esportato ed adattato l'algoritmo per la tendenza delle condizioni dispersive del PBL, in modo da avere una copertura a mosaico di tutta la regione.

2.1.3 Le configurazioni meteorologiche alla base delle situazioni di criticità

Sono qui analizzate in dettaglio le configurazioni meteorologiche che più frequentemente danno luogo alle situazioni di criticità descritte nel paragrafo precedente.

Un punto di partenza fondamentale per l'analisi e la previsione delle situazioni meteorologiche critiche è la comprensione delle strutture predomi-

nanti a grande scala per arrivare poi all'individuazione dei fenomeni a scala locale considerando dati ed informazioni aventi un dettaglio spazio-temporale sempre maggiore. I dati climatologici e l'esperienza previsionale consentono di delineare le caratteristiche sinottiche delle configurazioni meteorologiche che hanno un'influenza diretta o indiretta sul territorio regionale.

2.1.3.1 Precipitazioni

Le situazioni meteorologiche potenzialmente pericolose dal punto di vista delle precipitazioni intense e persistenti sul Piemonte, associate a strutture depressionarie ampie ed organizzate, possono essere suddivise in classi. Occorre in primo luogo considerare la situazione a grande scala (sinottica) e poi quella a mesoscala.

Situazioni pericolose a scala sinottica

- A) Presenza di situazioni di blocco meteorologico, con una depressione o una profonda saccatura localizzati sull'Europa centro e sud-occidentale (in genere sul Golfo di Biscaglia, sulla Francia, sulla Penisola Iberica o sulle Isole Baleari) in lento movimento verso est ed un marcato promontorio anticiclonico di blocco sui Balcani o sull'Europa orientale (**figura 2.1.19**). Tali situazioni determinano un forte flusso, da sud o sud-ovest sull'Italia nord-occidentale, di aria calda ed umida proveniente dal Mediterraneo.
- B) Persistenza per almeno due giorni sul Mediterraneo centrale di un promontorio anticiclonico di origine africana con un flusso da sud o sud-ovest che determina un forte accumulo di umidità nei vari strati dell'atmosfera a causa delle condizioni di stabilità con successivo arrivo di un fronte freddo (**figura 2.1.20 e 2.1.21**).

In corrispondenza alla situazione a grande scala, dovrà poi essere verificata la localizzazione del minimo barico ai livelli più bassi.

Un esempio significativo della situazione A è l'evento alluvionale dell'ottobre 2000 in Piemonte. Il fenomeno è stato provocato da una profonda saccatura atlantica, in principio localizzata sulle Isole Britanniche, che si è progressivamente approfondita verso il sud della Francia e la Penisola Iberica (**figura 2.1.22**). La formazione di un marcato promontorio anticiclonico sui Balcani ha bloccato la struttura depressionaria in corrispondenza delle Isole Baleari, determinando una prolungata fase di precipitazioni intense sull'Italia nord-occidentale.

La saccatura atlantica, associata ad una circolazione depressionaria centrata sulle Isole Britanniche, richiamava aria fredda in quota dalle alte latitudini verso il Mediterraneo occidentale, dove favoriva la formazione di minimi secondari di pressione al suolo.

Figura 2.1.19
Situazione A, la profonda saccatura dell'evento alluvionale di ottobre 2000 in Piemonte vista dall'altezza di geopotenziale a 500 hPa alle ore 12 UTC del 13/10/2000

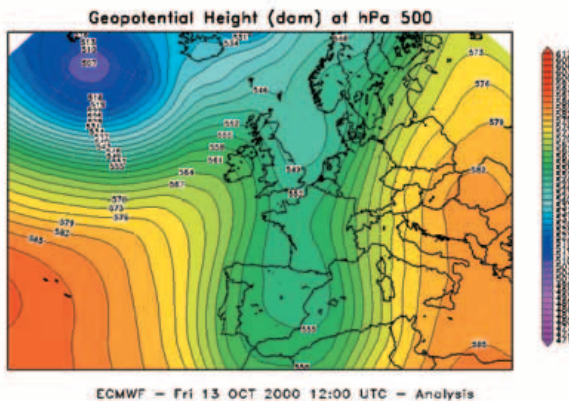


Figura 2.1.20
Situazione B prima fase, anticiclone nordafricano esteso sul Mediterraneo centro-orientale il 07/07/2004 alle ore 00 UTC; nella figura è rappresentata la temperatura a 700 hPa

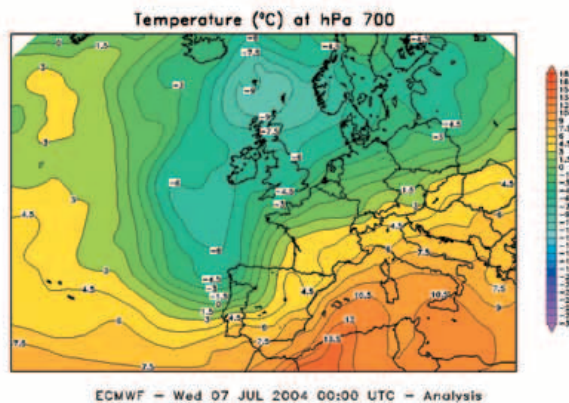
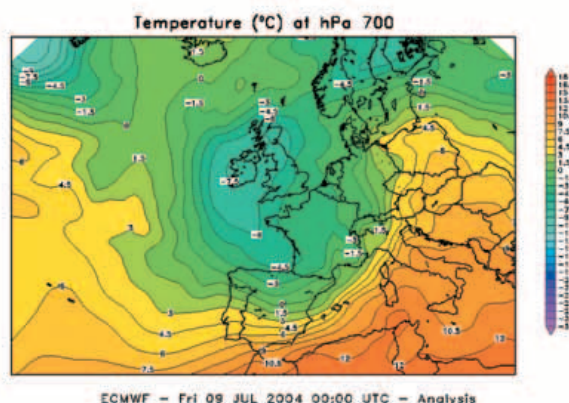


Figura 2.1.21
Situazione B seconda fase, passaggio di un fronte freddo che determina il cedimento dell'anticiclone nordafricano alle ore 00 UTC del 09/07/2004. La variabile è sempre la temperatura a 700 hPa



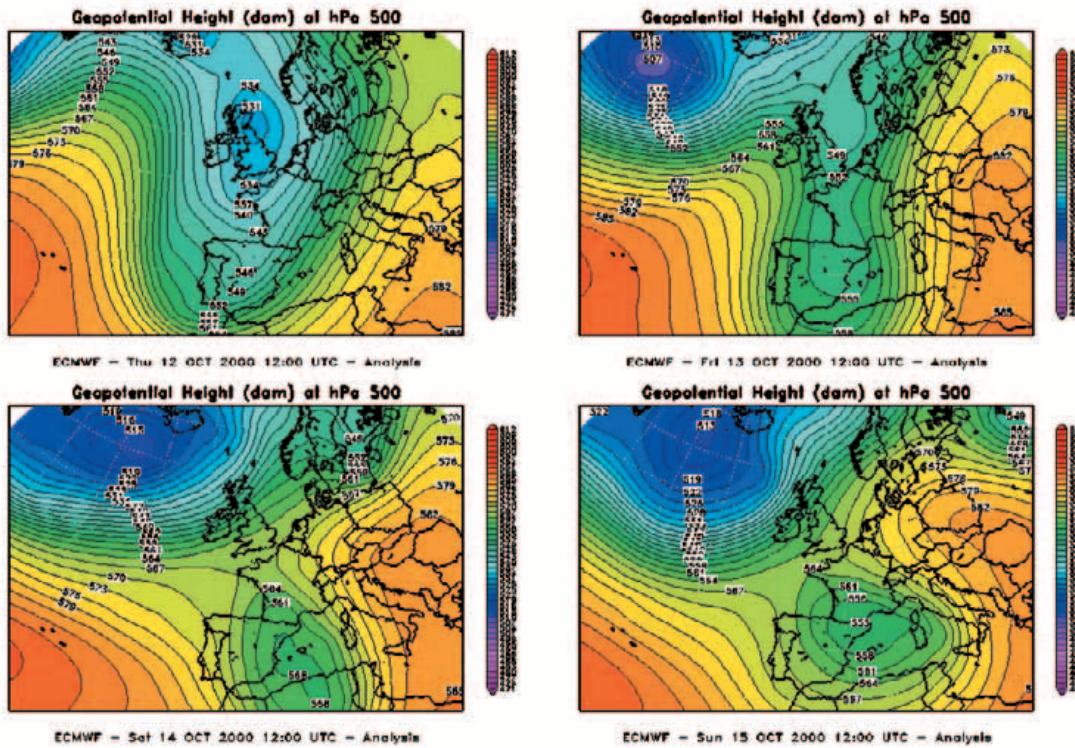


Figura 2.1.22
Evoluzione dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa della profonda saccatura dell'evento alluvionale di ottobre 2000 in Piemonte tra le ore 12 UTC del 12/10/2000 e le ore 12 UTC del 15/10/2000

La situazione di blocco, determinata dalla presenza del promontorio anticiclonico sui Balcani, causa la persistenza della struttura depressionaria ed una contrazione in senso longitudinale della saccatura con aumento del gradiente di pressione e intensificazione del flusso da sud-ovest sul Piemonte. Le intense correnti meridionali convogliavano aria umida ed instabile.

Allo stesso tempo, la rotazione del flusso da est, sud-est nei bassi strati convogliava aria umida anche dal Mar Adriatico verso il limite occidentale della Pianura Padana, con una zona di convergenza di massa sul Piemonte che ha favorito la convezione. I venti che interagivano con la catena montuosa determinavano una risalita delle masse d'aria umida con conseguente intensificazione delle precipitazioni per effetto orografico.

Le temperature superficiali del mare relativamente elevate in quella stagione dell'anno favorivano l'apporto di umidità negli strati bassi dell'atmosfera. Un fattore critico durante l'evento è stata l'elevata quota dello zero termico, intorno ai 3'000 m di altitudine, per cui la precipitazione ha avuto carattere piovoso anche in montagna con un conseguente immediato apporto di precipitazione liquida nelle sezioni montane dei bacini idrici.

Una configurazione meteorologica assimilabile ad una situazione di tipo B viene riscontrata verso la fine della prima decade di luglio 2004.

Per oltre tre giorni, dal 4 all'8 luglio 2004 un promontorio anticiclonico di origine africana è rimasto attivo sul Mediterraneo centro-orientale ed ha fatto affluire aria umida da sud-ovest sul Piemonte in condizioni di stabilità meteorologica, costituendo una struttura di blocco all'avanzata delle circolazioni depressionarie atlantiche (**figura 2.1.20**).

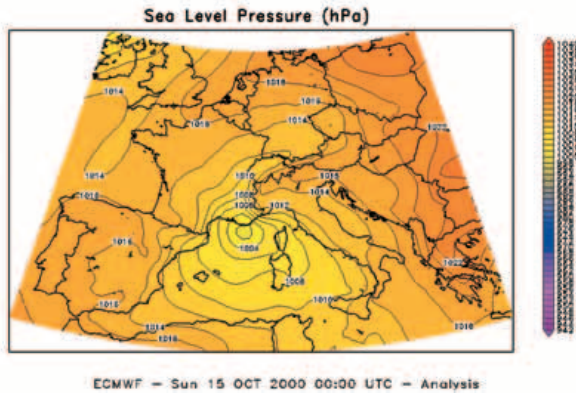
Il cedimento dell'area di alta pressione di matrice africana si è verificato a partire dal tardo pomeriggio del giorno 8 luglio; un afflusso di aria fredda di circa 3-4 °C in 12 ore a 700 hPa (**figura 2.1.21**), sufficiente a determinare condizioni di instabilità in un'atmosfera molto ricca di umidità, ha causato lo sviluppo di precipitazioni intense ed a carattere temporalesco sul Verbano e sulla Valsesia con superamenti delle soglie di rischio pluviometrico e conseguenti situazioni di criticità sul territorio.

Situazioni pericolose a mesoscala

Nell'ambito delle configurazioni a scala sinottica descritte prima, si evidenziano alcune caratteristiche a mesoscala che rendono più severi sul territorio regionale gli eventi di precipitazione intensa.

- Presenza di minimi barici sottovento alle Alpi sulla Pianura Piemontese o sul Golfo Ligure, formati a causa dell'interazione di una depressione con la catena alpina. Un minimo sul Golfo Ligure determina una situazione sfavorevole principalmente per il basso Piemonte; se invece il minimo si trova sulla Pianura Piemontese viene interessata globalmente tutta la regione ed in particolare i rilievi (**figura 2.1.23**).
- La presenza di una saccatura tra la Francia e l'Italia settentrionale con flusso da sud-ovest e la contemporanea formazione di un minimo secondario al suolo in prossimità del Golfo del Leone determina precipitazioni intense soprattutto sul Piemonte settentrionale (Ossola, Valsesia, il Verbano e il Canavese) (**figura 2.1.24**).
- Presenza di depressioni che si formano sottovento ai Pirenei o alla Cordigliera Cantabrica e poi si diri-

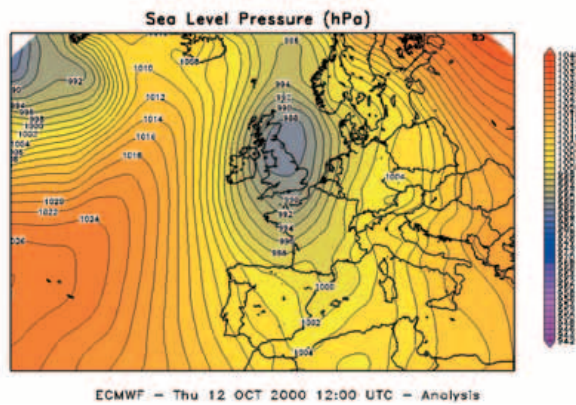
Figura 2.1.23
Stadio finale
nella configurazione
della pressione
al livello del mare
nelle situazioni A e C



gono dalle Isole Baleari verso la Liguria (situazione sfavorevole per il basso Piemonte) o verso la catena alpina occidentale (rimanendo però sempre ad ovest del Piemonte). In quest'ultimo caso un minimo tra la Costa Azzurra e la Provenza convoglia un forte flusso da est sud-est sul Piemonte occidentale con lo sviluppo di intense precipitazioni enfatizzate dalla risalita orografica del flusso (**figura 2.1.23**).

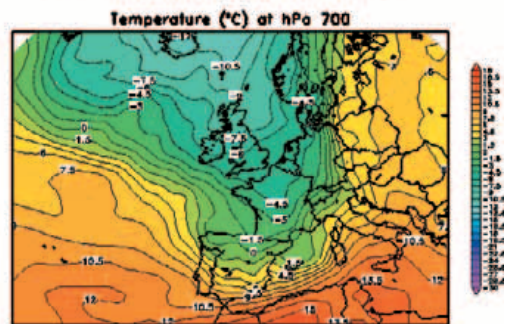
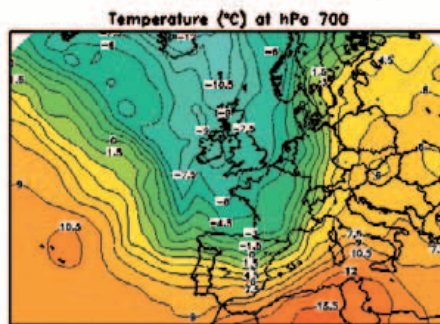
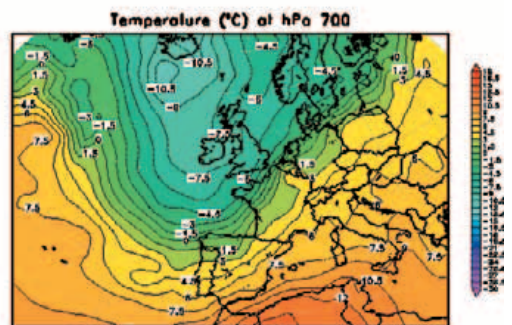
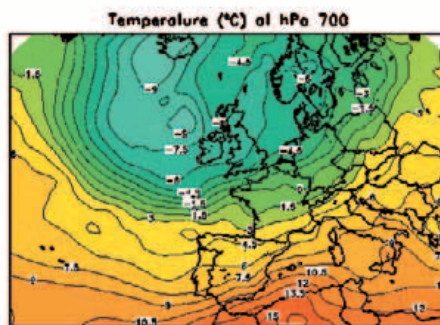
I *temporali frontali e prefrontali* sono innescati da strutture simili alle precedenti, ma caratterizzate da una scala spazio-temporale ridotta. Tra queste occorre aggiungere il caso in cui si verifica il contemporaneo afflusso di aria fredda instabilizzante da est o nord-est nei bassi strati (eventualmente associata ad una saccatura sull'Europa orientale) e di aria umida da ovest o sud-ovest in quota. Particolare attenzione va prestata a tutte le situazioni in cui si ha per due o più giorni un flusso di aria umida da sud o sud-ovest convogliata da un promontorio anticiclonico di origine africana ed in generale quando si ha una situazione preesistente caratterizzata da una forte presenza di umidità (per esempio convogliata da una depressione che ha portato nuvolosità, ma non precipitazioni sul Piemonte). Infatti è sufficiente un successivo afflusso anche modesto di aria fredda o lo sviluppo di una configurazione molto instabile (con temperatura potenziale equivalente in calo con la quota, valori elevati dell'indice di Whiting e del CAPE) per dare luogo allo sviluppo di locali temporali molto intensi.

Figura 2.1.24
Configurazione
della pressione
al livello del mare
nella situazione B



Un esempio di precipitazioni temporalesche intense è quello verificatosi nelle giornate dal 14 al 16 luglio 2001, quando precipitazioni a prevalente carattere temporalesco e di forte intensità hanno interessato il settore settentrionale del Piemonte, associate ad un'irruzione di aria fredda da nord-ovest (**figura 2.1.25**). Le masse d'aria fredda, provenienti dalle Isole Britanniche, sono divenute rapidamente molto instabili a causa dell'elevato contenuto preesistente di umidità e di calore nei bassi strati. Le precipitazioni, in seguito a questa fase di instabilità, hanno interessato in prevalenza il set-

Figura 2.1.25
Evoluzione
della temperatura
a 700 hPa
tra le ore 12 UTC
del 13/07/2001
e le ore 12 UTC
del 16/07/2001



tore settentrionale della regione, in modo intermittente nell'arco di 48 ore: nella giornata di sabato 14, i primi temporali si sono attivati sulla parte occidentale per poi spostarsi verso nord con valori localmente forti, specialmente sul Biellese. Nella giornata di domenica 15 aria fredda, ancora più instabile, ha fatto irruzione da ovest determinando la fase convettiva più intensa con precipitazioni forti sul settore settentrionale e localmente molto forti sul Biellese e Verbano (figure 2.1.26 e 2.1.27). In tarda serata, con lo spostamento dei fenomeni precipitativi verso nord-est, è cessata la fase temporalesca più rilevante sulla nostra regione, lasciando una residua instabilità che nella giornata di lunedì 16 ha determinato al più deboli rovesci sparsi.

2.1.3.2
Nevicata

Le nevicata a bassa quota si originano in inverno sul territorio piemontese nei casi in cui è presente sulle pianure uno strato di aria fredda, spesso isoterma per i primi 1'000-1'500 m, sul quale si inserisce un flusso umido da sud, sud-ovest negli strati superiori, frequentemente associato ad un fronte caldo. L'aria più calda ed umida, di origine atlantica o umidificatasi a causa del transito sul Mediterraneo, si solleva sopra l'aria fredda e forma altostrati e nembrostrati che portano alla precipitazione. Lo strato di aria fredda nei bassi strati può essere preesistente e venire successivamente scalzato dall'afflusso di aria caldo-umida, oppure può essere continuamente alimentato da correnti di aria fredda a bassa quota provenienti da est, nord-est; in tal caso le nevicata risultano più persistenti.

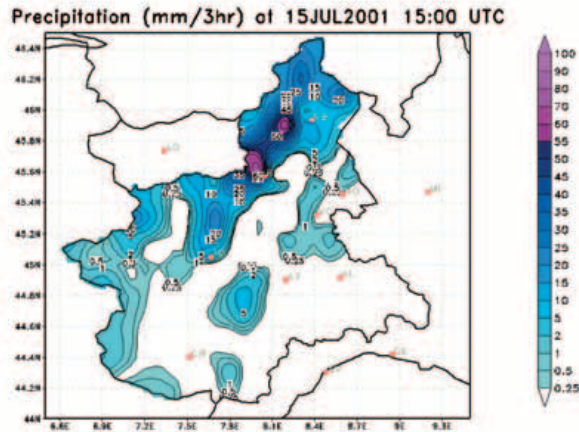


Figura 2.1.26
Precipitazioni cumulate su 3 ore tra le ore 12 e 15 UTC del 15/07/2001, nel periodo di maggiore intensità delle piogge

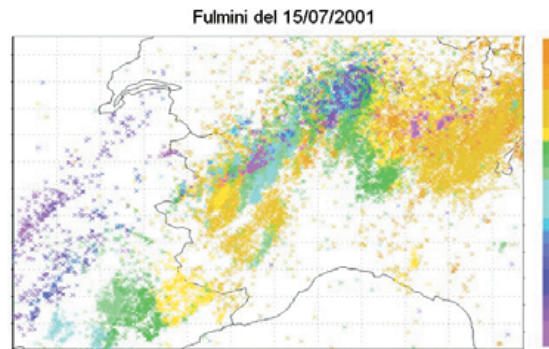
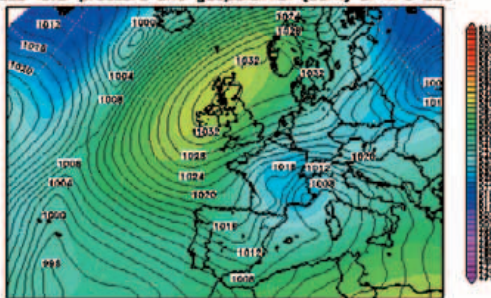


Figura 2.1.27
Fulminazioni rilevate il giorno 15/07/2001

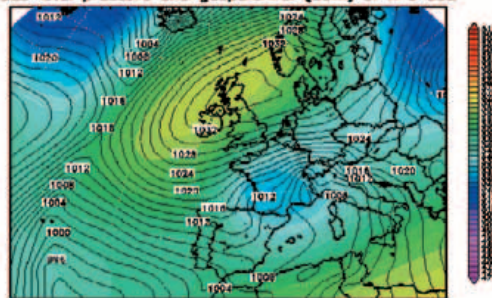
L'evento preso in considerazione come esempio si riferisce alla nevicata sulle zone pianeggianti della regione, avvenuta nei giorni 18-22 febbraio 2004, nel quale si può osservare la successione dei meccanismi di creazione ed alimentazione dello strato di aria più fredda che consente alle precipitazioni nevose di raggiungere il suolo. Il 18 febbraio 2004 rappresenta il punto di partenza

Sea level pressure and geopotential (dam) at hPa 500



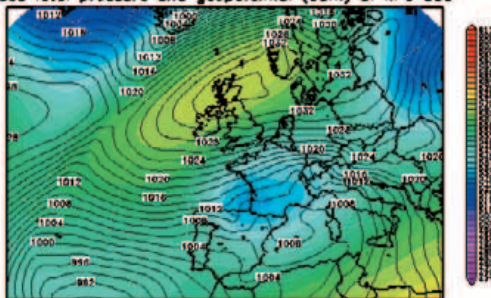
ECMWF - Thu 19 FEB 2004 06:00 UTC - Analysis

Sea level pressure and geopotential (dam) at hPa 500



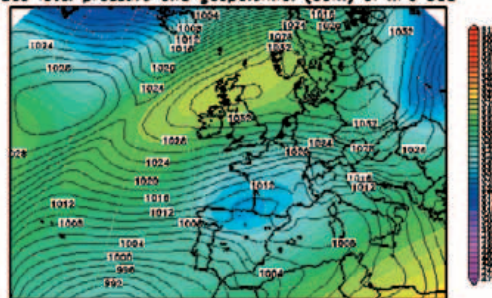
ECMWF - Thu 19 FEB 2004 12:00 UTC - Analysis

Sea level pressure and geopotential (dam) at hPa 500



ECMWF - Thu 19 FEB 2004 18:00 UTC - Analysis

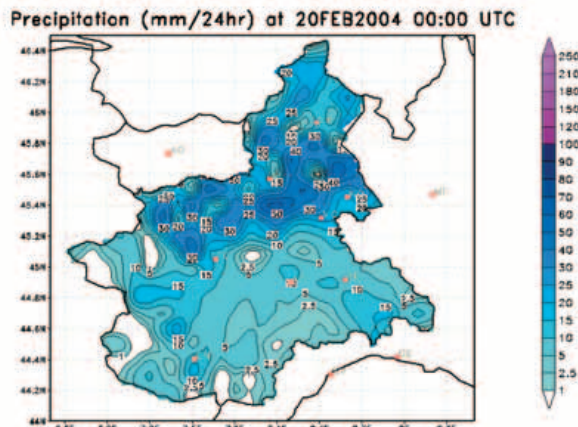
Sea level pressure and geopotential (dam) at hPa 500



ECMWF - Fri 20 FEB 2004 00:00 UTC - Analysis

Figura 2.1.28
Altezza di geopotenziale a 500 hPa e pressione al livello del mare

Figura 2.1.29
Precipitazioni
del giorno 19/02/2004



più appropriato per comprendere la dinamica dell'evento: in tale giorno una saccatura localizzata sull'Europa nordorientale si estende verso sud-ovest congiungendosi con una depressione preesistente sulla Francia, apportando un sensibile calo delle temperature in quota, annuvolamenti e deboli precipitazioni. Non si ha tuttavia ancora un calo dello zero termico che rimane sui 1'000 m, valore già registrato il giorno precedente.

Il giorno 19 febbraio nell'area di bassa pressione si isola una circolazione chiusa depressionaria sulla Francia, che si muove di moto retrogrado verso ovest nel corso della giornata, mentre nei bassi strati si struttura un minimo sulla Costa Azzurra, che induce una circolazione da est che convoglia aria al tempo stesso fredda ed umida sul territorio piemontese (figura 2.1.28).

Conseguentemente il cielo si presenta coperto su tutta la regione, lo zero termico cala fino a 400-500 m, si ha una forte diminuzione delle tempe-

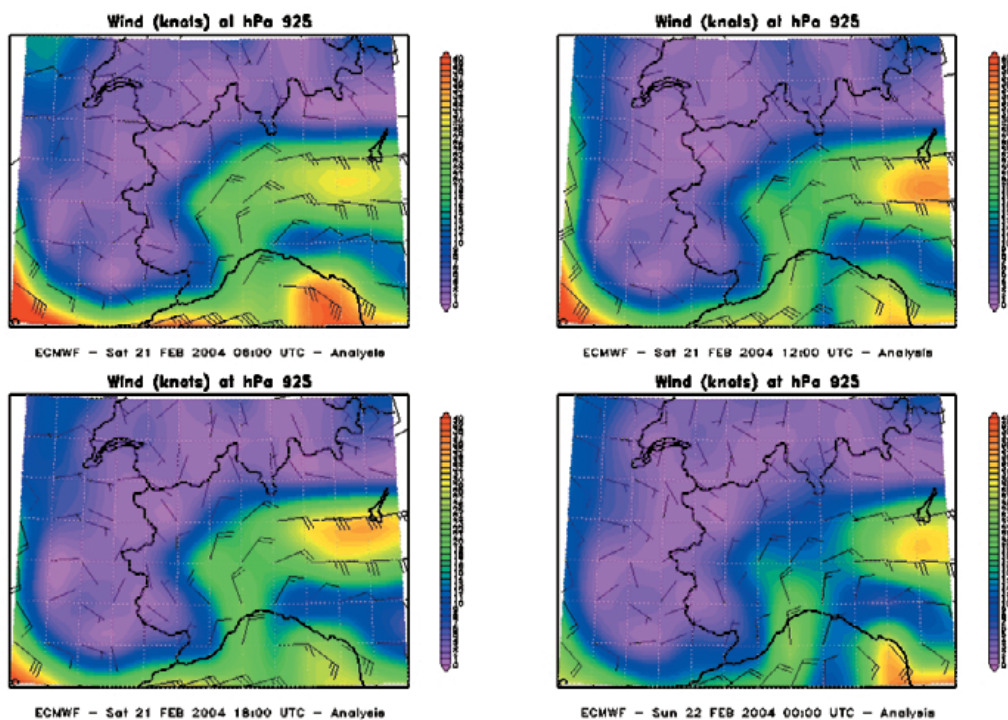
rature, in particolare dei valori massimi e si verificano precipitazioni deboli o moderate, nevose anche in pianura.

Le precipitazioni del giorno 19 febbraio (figura 2.1.29) interessano soprattutto il settore settentrionale della regione in quanto in quota il vento si è mantenuto da sud, sud-est e l'interazione orografica delle masse di aria umida con le Alpi settentrionali ha favorito la condensazione.

Il giorno 20 febbraio, in quota la circolazione depressionaria rimane sostanzialmente stazionaria sul Golfo di Biscaglia. Permane la forte variazione della direzione del vento agli alti e bassi livelli: da sud in quota e da est, nord-est negli strati inferiori. Ancora una giornata con cielo coperto, zero termico sui 500 m, basse temperature (media delle massime sui 2 °C), precipitazioni diffuse, nevose anche a quote prossime alle zone pianeggianti anche se con intensità minore a causa dell'allontanamento verso ovest della struttura depressionaria.

Il giorno successivo la situazione in quota non è variata sensibilmente rispetto alla giornata precedente; tuttavia il continuo afflusso di aria umida dai quadranti meridionali determina un aumento dell'umidità in particolare agli alti livelli. Al livello del mare il minimo si sposta dallo stretto di Gibilterra verso nord-est determinando un calo di pressione anche sul Piemonte, unito ad una forte convergenza in prossimità della catena alpina. La configurazione del vento ai vari livelli sul Piemonte rimane sostanzialmente immutata. In serata però l'intensità del vento dai quadranti orientali si attenua causando un aumento dello zero termico da 500 a 1'000 m (figura 2.1.30).

Figura 2.1.30
Vento del 21/02/2004
ogni 6 ore alla quota
di 925 hPa



Le precipitazioni sono intense (**figura 2.1.31**), raggiungendo i valori più alti di tutto l'evento, con i massimi concentrati sulle Alpi sud-occidentali e cumulando fino a 50 cm di neve sulle pianure cuneesi. In tale giornata la precipitazione nevosa è stata più abbondante anche su Torino (20 cm circa).

Nella notte la depressione si allontana gradualmente verso ovest e l'episodio si esaurisce.

Le neviccate a bassa quota verificatesi in questo esempio sono state originate dal movimento retrogrado verso ovest di una saccatura proveniente dall'Europa orientale; nella prima fase l'effetto si è esplicato soprattutto nella creazione di un cuscinetto di aria fredda nei bassi strati determinato dal vento da est. Successivamente, quando si è strutturata una depressione sull'Europa occidentale, il flusso in quota si è disposto dai quadranti meridionali convogliando aria umida con una conseguente intensificazione delle precipitazioni, rimaste a carattere nevoso anche a quote basse finché il flusso da est ai bassi livelli ha mantenuto una rilevante intensità. La quota neve si è mantenuta su valori prossimi al suolo finché il flusso da sud non ha determinato un sensibile rialzo dei valori di temperatura nei bassi strati.

In altri eventi caratterizzati da neve in pianura la creazione dello strato di aria fredda nei livelli prossimi al suolo è determinata dall'espansione verso l'Europa centrale dell'anticiclone termico russo e le precipitazioni sono causate dal successivo arrivo di una depressione atlantica.

Tuttavia negli ultimi anni l'espansione dell'anticiclone russo è stata abbastanza rara.

Precipitation (mm/24hr) at 22FEB2004 00:00 UTC

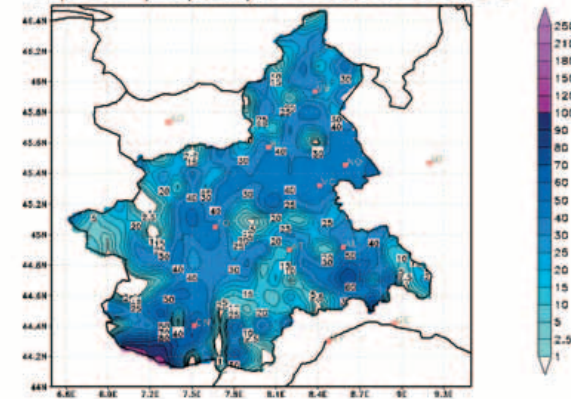


Figura 2.1.31
Precipitazioni
del 21/02/2004

2.1.3.3 Nebbie

Dal punto di vista della situazione meteorologica a grande scala, la condizione tipica per la formazione delle nebbie in Piemonte è costituita dalla presenza di **deboli correnti anticicloniche** da sud-ovest nei bassi strati, con afflusso di aria umida. Usualmente questo si verifica quando una struttura anticiclonica si estende tra l'Africa centro-settentrionale e l'Europa centro-orientale.

La formazione di nebbia si può anche avere con un debole flusso anticiclonico da nord-ovest negli strati superiori (al di sopra di 700 hPa) e correnti da ovest, sud-ovest negli strati inferiori, con deviazione del flusso causata dall'orografia alpina. In questo caso il debole flusso discendente da nord-ovest contribuisce a stabilizzare l'atmosfera.

Questa seconda situazione è frequente quando una struttura anticiclonica è localizzata tra l'Africa nord-occidentale e la Francia.

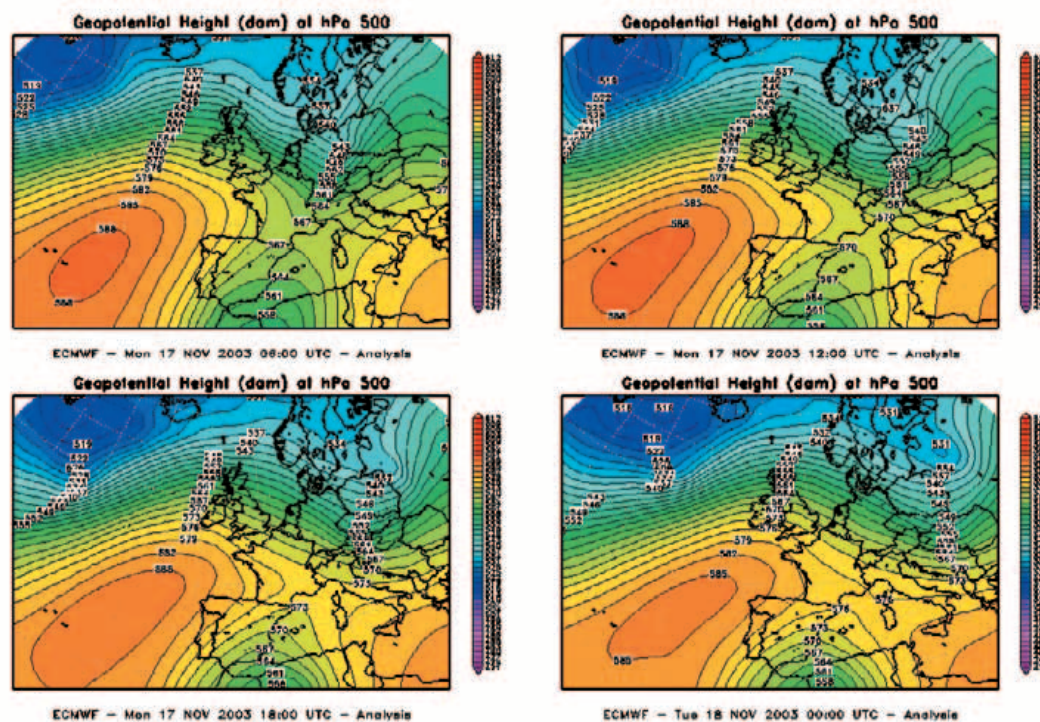


Figura 2.1.32
Altezza di geopotenziale
a 500 hPa
del 17/11/2003

Figura 2.1.33
Radiosondaggio
di Cuneo Levaldigi
alle ore 00 UTC del
18/11/2003

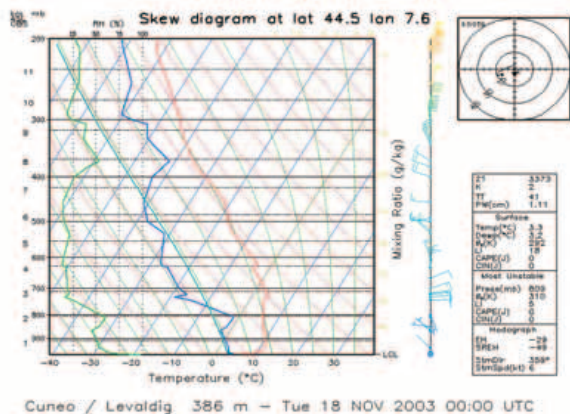


TABELLA 2.1.3
VALORI DEL NUMERO DI ORE CONSECUTIVE DI NEBBIA TRA
IL 18 E IL 20 NOVEMBRE MISURATE DA ALCUNE STAZIONI
DELLA RETE DI RILEVAMENTO REGIONALE

STAZIONE	ORE CONSECUTIVE DI NEBBIA TRA IL 18 ED IL 20 NOVEMBRE
Torino Caselle	33
Vercelli	19.5
Novara Cameri	40.5
Alessandria Lobbì	55
Carmagnola (TO)	41.5
Govone (CN)	17.5
Cuneo Levaldigi	21

Figura 2.1.34
Immagine METEOSAT
nel canale del visibile
alle ore 09 UTC
del 19/11/2003

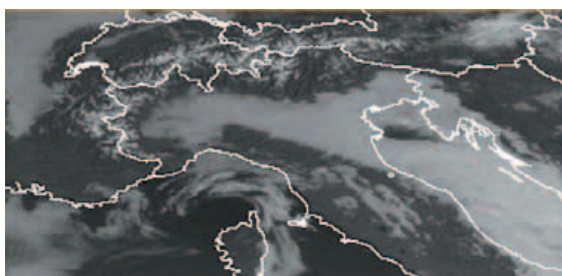


TABELLA 2.1.4 VALORI DI VISIBILITÀ MISURATI DA ALCUNE
STAZIONI DELLA RETE DI RILEVAMENTO REGIONALE

STAZIONE	VISIBILITÀ IL 17/11 ALLE ORE 08:30 UTC
Novara Cameri (NO)	1.7 km
Carmagnola (TO)	0.1 km
Alessandria Lobbì (AL)	0.2 km
Vercelli (VC)	1.4 km
Govone (CN)	0.1 km

La persistenza di fenomeni nebbiosi si può avere anche con circolazione quasi assente a tutte le quote, nel caso in cui i valori massimi di un anticiclone o l'asse di un promontorio siano localizzati sull'Italia.

Come esempio della configurazione meteorologica che determina persistenti fenomeni di nebbia, viene considerato un evento in cui si sono verificati entrambe le tipologie più frequenti in Piemonte, nei giorni 17-20 novembre 2003.

Il 16 novembre 2003, giorno precedente l'inizio dell'evento, il tempo è caratterizzato da condizioni di cielo coperto, precipitazioni diffuse con valori localmente forti sull'Appennino ligure-piemontese nella seconda parte della giornata ed aumento graduale dello zero termico da 1'700 a 2'500 m.

Il 17 novembre la saccatura responsabile delle precipitazioni descritte si porta sulla Penisola Balcanica, l'anticiclone delle Azzorre si espande verso l'Europa centrale congiungendosi con un'area di alta pressione preesistente sul Mediterraneo orientale (**figura 2.1.32**). La rotazione da sud-ovest a nord-ovest dei venti in quota e l'aumento di pressione determinano un sensibile miglioramento del tempo con cielo sereno o poco nuvoloso dalla mattinata. In quota si verifica un calo di umidità, un aumento di temperatura e la rotazione del vento da nord, nord-ovest.

Fino alla mattinata del giorno 17 novembre i sensori di visibilità della rete di Arpa Piemonte evidenziano condizioni di nebbia e foschia sulle zone pianeggianti; le nebbie più dense si sono verificate sul settore meridionale. Nella tabella sottostante sono riportati i valori registrati dai sen-

sori di visibilità in un istante in cui la riduzione è più fitta ed estesa, mentre nelle stazioni in montagna si rileva un'ottima visibilità.

In questa prima fase dell'evento la nebbia si è caratterizzata principalmente come nebbia post-frontale. Questo tipo di nebbie è normalmente a banchi in quanto il rasserenamento può avvenire in maniera irregolare e la nebbia risulta localmente fitta, ma poco estesa e duratura.

Attorno alle 12 UTC la visibilità torna ad essere al di sopra dei 2 km su tutta la regione rimanendo tale fino alle 19 UTC, quando la nebbia si forma nuovamente.

Il giorno 18 novembre l'anticiclone si consolida sull'Europa centro-occidentale; in tale giorno la visibilità rimane sotto il chilometro fino alle 09 UTC circa su quasi tutte le località pianeggianti; alle 20 UTC circa la nebbia riprende a formarsi. Ad Alessandria la nebbia è presente per quasi tutta la giornata.

Nel radiosondaggio di Cuneo Levaldigi delle 00 UTC del 18 novembre notiamo l'inversione termica e l'elevata presenza di umidità nei bassi strati tipiche degli eventi di nebbia (**figura 2.1.33**).

Nella mattinata del 19 novembre l'area di maggiore influenza del promontorio anticiclonico è sulla penisola italiana. È il giorno in cui le nebbie sono più diffuse e persistenti, come si vede nella successiva immagine METEOSAT nella banda del visibile delle ore 09 UTC del 19 novembre (**figura 2.1.34**). Si può osservare l'estensione della nebbia, che interessa quasi tutta la Pianura Padana e buona parte del litorale adriatico. Sulle stazio-

ni visibilometriche di Arpa Piemonte di Torino Caselle, Carmagnola, Govone (CN), Novara Ceneri ed Alessandria la nebbia persiste per quasi tutta la giornata.

Il giorno 20 novembre si ha il cedimento dell'anticiclone per l'azione di una saccatura atlantica in avvicinamento all'Europa centrale; in tarda mattinata in Piemonte la nebbia si dissolve. Nella **tabella 2.1.3** si riporta la durata dell'evento di nebbia. Nella seconda parte dell'evento nebbioso la riduzione di visibilità ha avuto più le caratteristiche di nebbia da irraggiamento.

2.1.3.4 Temperature anomale

Le anomalie positive di temperature sono normalmente determinate dall'espansione verso l'Europa centrale di un promontorio anticiclonico di origine africana che apporta condizioni di caldo umido e, in caso di persistenza per più giorni, valori medi di temperatura al di sopra delle medie stagionali con valori estremi che risultano anche superiori ai dati storici a nostra disposizione.

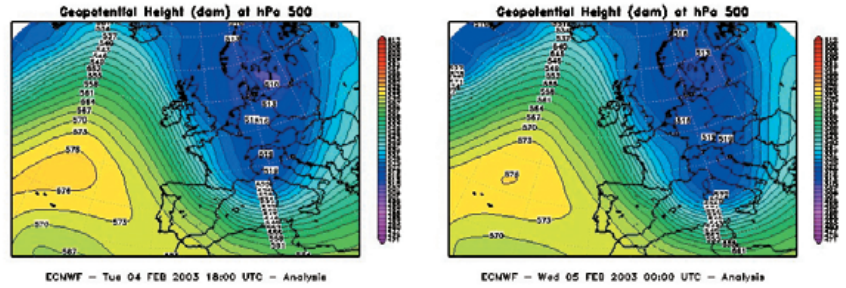
Valori elevati di temperatura massima si verificano anche nei mesi invernali in concomitanza di episodi di *foehn*.

Invece le anomalie termiche negative, persistenti per più giorni, sono associate all'irruzione di aria fredda continentale proveniente dall'Europa orientale; valori bassi nelle temperature minime si verificano anche in concomitanza di rasserenamenti immediatamente successivi al tramonto del sole dopo una giornata caratterizzata da cielo coperto.

2.1.3.5 Vento forte

La situazione tipica da *foehn* sul Piemonte si verifica quando una saccatura di origine atlantica, proveniente dalla Francia centro-orientale, transita verso il medio-alto Adriatico, con formazione di un minimo al suolo sul Golfo di Trieste, mentre sono presenti forti correnti da nord-ovest in quota. Il fronte freddo associato alla saccatura subisce una deformazione (frontolisi) quando interagisce con la catena alpina. In tali condizioni si generano forti gradienti barici e termici tra Pianura Padana ed Alpi nord-occidentali, con innesco del *foehn* prevalentemente sulle valli settentrionali.

Un'altra situazione, rara ma non infrequente, di *foehn* si verifica in caso di forti correnti da ovest in quota, determinate da un forte gradiente barico tra Europa settentrionale e meridionale. In tal caso il fenomeno del *foehn* è prevalente sulle valli occidentali della regione. Normalmente si ha il rapido movimento verso est di una circolazione depressionaria inizialmente presente sull'Europa occidentale ed il *foehn* si instaura quando il minimo si localizza sull'Europa centro-orientale.



L'evento di *foehn* preso in considerazione come esempio va dal 4 al 6 febbraio 2003; si tratta di un evento particolarmente intenso e duraturo con una rotazione del flusso che ha determinato uno sviluppo del *foehn* prima sulle vallate occidentali e poi su quelle settentrionali.

Per l'esame dell'evento è opportuno iniziare dal giorno 3 febbraio 2003, quando una depressione avente il minimo a nord delle Isole Britanniche si estende verso sud, interessando direttamente anche il Piemonte nella seconda parte della giornata. Il vento rilevato nelle stazioni anemometriche di Arpa Piemonte non presenta ancora una configurazione particolarmente rilevante, se si eccettuano alcuni rinforzi sulle Alpi.

Il giorno successivo la struttura depressionaria si espande ulteriormente a sud e nello stesso tempo si sposta verso est; questo comporta una rotazione da ovest a nord-ovest delle correnti in quota. In serata si struttura un minimo secondario sull'alto Adriatico (**figura 2.1.35**).

L'interazione della depressione con la catena alpina determina i due importanti fenomeni tipici che si riscontrano in tali casi, menzionati all'inizio del paragrafo:

- 1) il fronte freddo associato all'area di bassa pressione subisce una deformazione e frontolisi visibile nella mappa che illustra l'evoluzione di temperatura, umidità e vento a 700 hPa (**figura 2.1.36**);

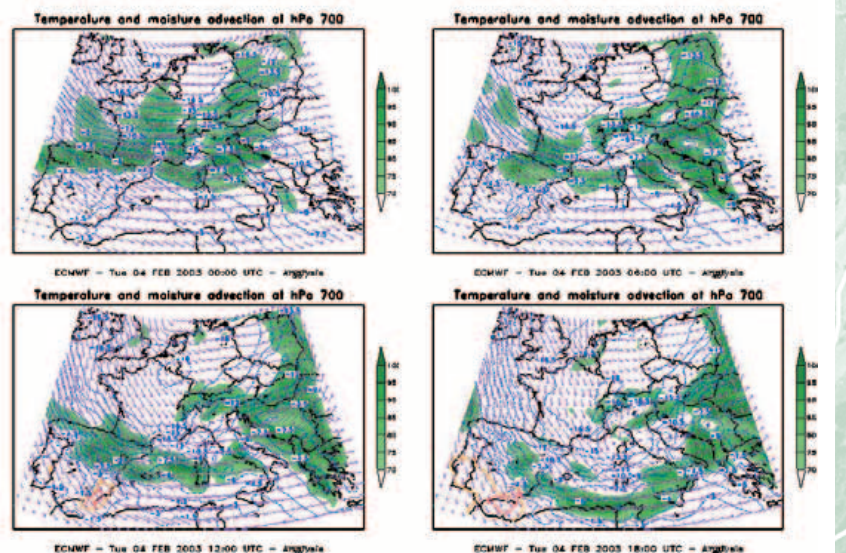


Figura 2.1.35
Altezza di geopotenziale a 500 hPa tra le ore 18 UTC del 04/02/2003 e le ore 00 UTC del 05/02/2003

Figura 2.1.36
Temperatura, umidità relativa e vento a 700 hPa del 04/02/2003

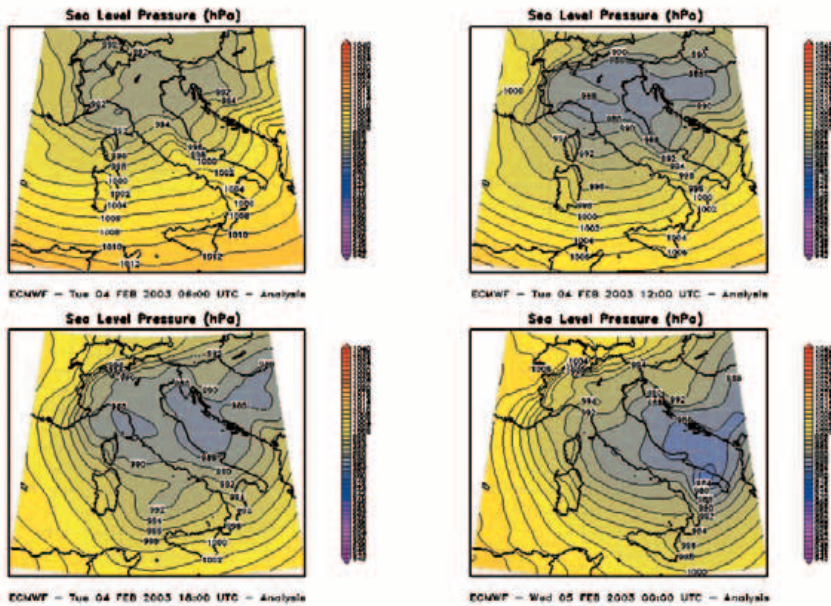


Figura 2.1.37
Pressione al livello
del mare
del 04/02/2003

Figura 2.1.38
Vento del 04/02/2003,
ore 14 UTC

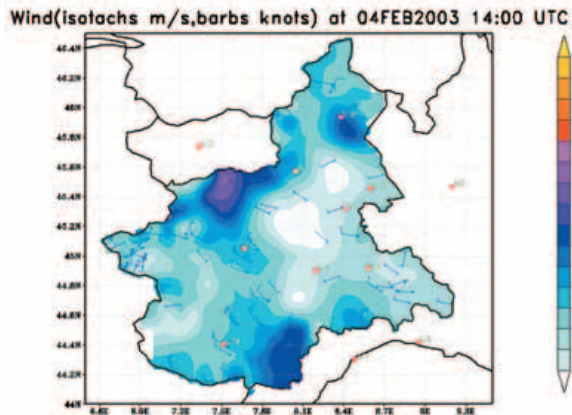
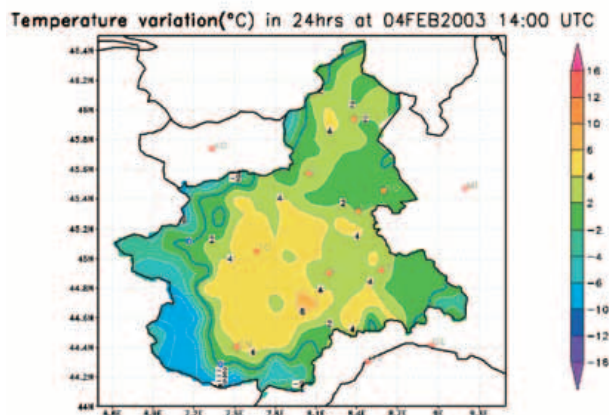


Figura 2.1.39
Variazione di temperatura
tra le ore 14 UTC
del 03/02/2003
e le 14 UTC
del 04/02/2003



2) l'analisi della pressione al livello del mare evidenzia lo spostamento del minimo depressionario verso sud-est fino a localizzarsi sul basso Adriatico in serata (**figura 2.1.37**) e conseguentemente si instaura un forte gradiente barico in prossimità delle Alpi nord-occidentali piemontesi con i valori di pressione più bassi in Val Padana e più alti in Savoia e Provenza; una tale configurazione barica determina un forte richiamo delle masse d'aria dalle Alpi verso la Pianura Padana con lo sviluppo del *foehn*.

A partire dalla tarda mattinata del 4 febbraio il vento comincia ad intensificarsi ed il cielo a rasserenarsi mentre permangono annuvolamenti sui rilievi di confine. Nella **figura 2.1.38** vediamo come una porzione consistente della pianura piemontese viene interessata dalle forti raffiche di vento che determinano un aumento medio di circa 4 °C delle temperature in pianura. (**figura 2.1.39**).

Il giorno 5 febbraio il minimo secondario si sposta verso nord-est, dall'alto Adriatico verso la Repubblica Ceca; tuttavia la pressione al livello del mare denota la persistenza del forte gradiente barico (circa 10 hPa) sulla catena alpina. L'analisi di temperatura, umidità e vento ai livelli 500, 700, 850 e 925 hPa delle 06 UTC del 5 febbraio evidenzia un forte gradiente termico presente ai bassi livelli sulla catena alpina (circa 6 °C a 925 hPa) e la presenza di umidità sui rilievi alpini sopra vento in Francia e Svizzera.

In questa giornata il *foehn* si è manifestato in maniera praticamente ininterrotta per tutta la giornata, in particolare sulle zone montane e pedemontane settentrionali ed occidentali (**figura 2.1.40**); l'umidità relativa è scesa su valori molto bassi (circa 20-30 %) sostanzialmente su tutta la regione (**figura 2.1.41**).

Il 6 febbraio l'ampia area depressionaria tende a spostarsi verso est, portandosi sulla Russia in serata; le correnti tendono a disporsi maggiormente da nord. L'allontanamento verso est del minimo al suolo favorisce l'attenuazione del gradiente barico sulle Alpi occidentali in nottata. In tale giorno il *foehn* continua, anche se con minore intensità rispetto ai due giorni precedenti ed interessa soprattutto i settori centrali ed orientali del Piemonte.

Il 7 febbraio la depressione inizia a perdere energia e vorticità; il gradiente barico sull'Italia nord-occidentale è molto meno marcato e l'andamento della pressione al livello del mare risulta molto più livellato: l'evento si conclude.

2.1.3.6

Accumulo di inquinanti

L'accumulo di inquinanti nel periodo autunnale ed invernale si verifica in situazioni meteorologiche caratterizzate dall'influenza per un tempo prolungato dell'anticiclone delle Azzorre o dell'anticiclone africano sulla nostra regione. La stabilità atmosferica che ne consegue, enfatizzata dall'inversione termica nei bassi strati, usuale nei mesi autunnali ed invernali, favorisce il ristagno delle sostanze inquinanti nelle aree urbane. Tali periodi sono anche caratterizzati da assenza di episodi di *foehn* con vento che arriva al suolo nelle pianure e da eventi di precipitazione assenti o irrilevanti.

In realtà alcune situazioni di *foehn* possono favorire la formazione, nelle zone pianeggianti, di inversioni termiche che impediscono il rimescolamento verticale, in particolare nei casi in cui il vento non arriva al suolo, ma scorre sopra uno strato di aria preesistente. Un caso significativo è quello del 31 gennaio 2000. Nei giorni precedenti una debole onda depressionaria d'origine atlantica ha interessato l'Italia nord-occidentale, favorendo la formazione di un consistente gradiente di temperatura e di pressione a ridosso dell'arco alpino piemontese. La contemporanea espansione dell'anticiclone della Azzorre verso il Mediterraneo occidentale permette l'instaurarsi di un flusso di correnti nordoccidentali sul Piemonte, apportando condizioni di tempo prevalentemente stabile.

Dalla serata del 29 gennaio (figura 2.1.42) si innescano condizioni *foehn* sui rilievi alpini che si estendono nel corso del 30 gennaio a gran parte delle vallate e delle zone di fondovalle occidentali e nord-occidentali della regione, con un conseguente innalzamento delle temperature sulle zone alpine interessate dai venti di caduta (figura 2.1.43).

Nelle zone di pianura i venti di caduta non riescono a scalzare l'aria fredda preesistente e sono portati a scivolare sopra questa, determinandone una compressione ed un compattamento verso il suolo. Gli effetti prevalenti di questa situazione, facilmente riconoscibile dalla lettura dei profili verticali di temperatura registrati dai radiosondaggi, sono rappresentati dalle fitte nebbie e dalle condizioni d'elevata stabilità del *Planetary Boundary Layer*, particolarmente favorevoli all'accumulo di inquinanti (figura 2.1.44). Benché la presenza di venti di caduta si attenui a partire dal pomeriggio del 31 gennaio, si mantengono anche per la giornata del 1 febbraio condizioni di stabilità con inversione al suolo e formazione di nebbie dense sulle pianure.

Solo nel corso della giornata del 2 febbraio, per effetto del consistente peggioramento apportato da una saccatura atlantica in avvicinamento all'arco alpino, si è avuto un significativo cambiamento delle condizioni di stabilità atmosferica.

2.1.4

Le caratteristiche regionali del Piemonte nella modificazione della forzante meteorologica

Il territorio piemontese è inserito in una regione complessa dal punto di vista orografico, con un'ampia area pianeggiante circondata dagli alti ed estesi rilievi delle Alpi a nord e ad ovest, da una catena appenninica molto prossima al mare a sud mentre ad est prosegue verso la pianura lombarda ed emiliana. Esso comprende regioni alpine, soggette ad episodi di precipitazione intensa sia di tipo

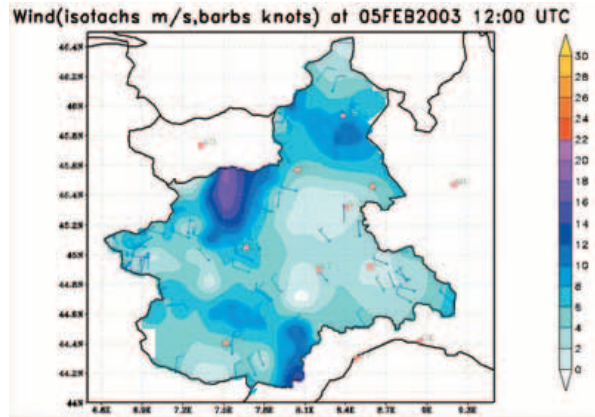


Figura 2.1.40
Vento del 05/02/2003,
ore 12 UTC

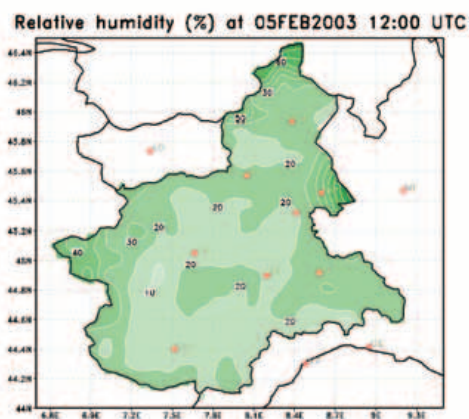


Figura 2.1.41
Umidità relativa
del 05/02/2003,
ore 12 UTC

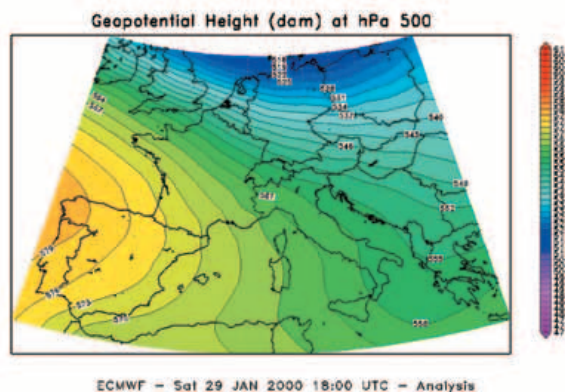


Figura 2.1.42
Analisi dell'altezza
di geopotenziale
a 500 hPa
del 29/01/2000
ore 18 UTC

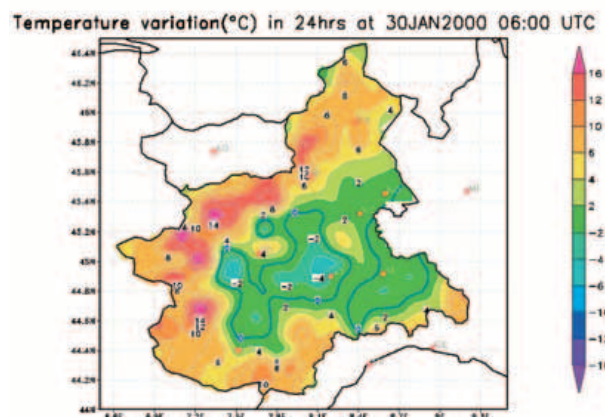


Figura 2.1.43
Variazione
della temperatura
a 2 m tra le 06 UTC
del 29/01/2000
e le ore 06 UTC
del 30/01/2000

Figura 2.1.44
Temperatura
al suolo misurata
il 31/01/2000
alle ore 06 UTC
dove si può rilevare
la differenza
di temperatura
fra le zone di pianura
e quelle montane

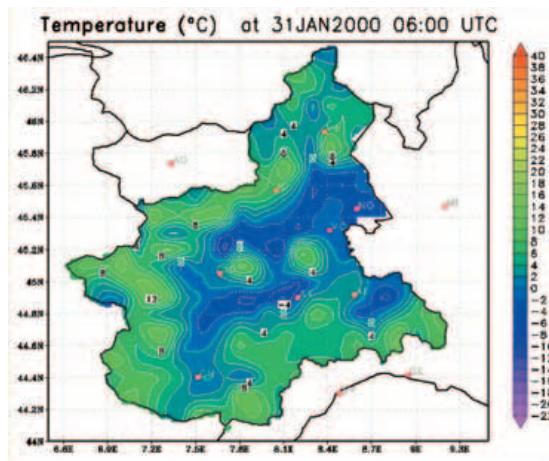


Figura 2.1.45
Precipitazione
media annua 1913-2002
(dati ex Ufficio Idrografico
e Mareografico Nazionale)

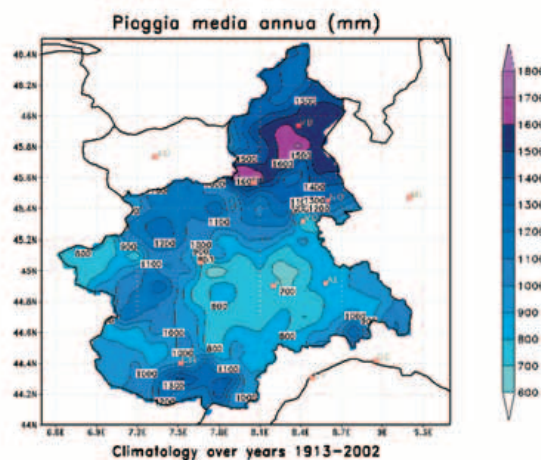
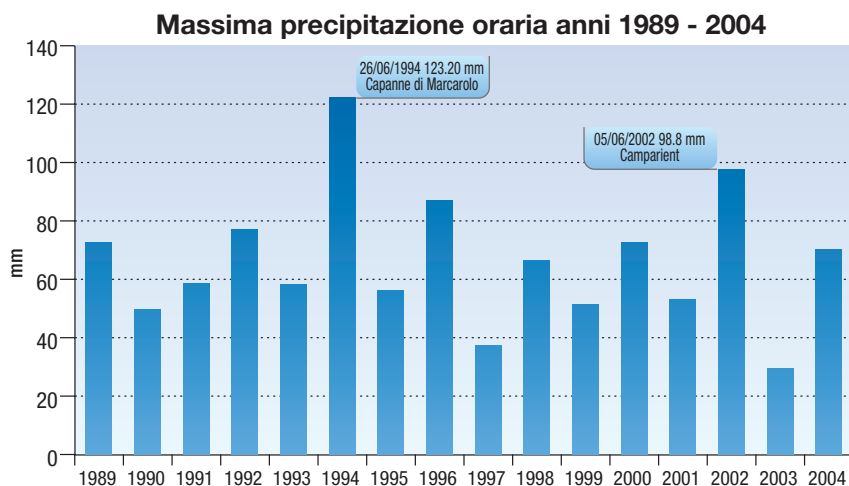


Figura 2.1.46
Precipitazione massima
oraria annuale registrata
dalle stazioni
della rete regionale
meteoidrografica
nel periodo 1989-2004



alluvionale, sia localizzato, con una elevata vulnerabilità del territorio anche a causa della complessa rete idrografica e della forte antropizzazione delle zone di fondovalle; regioni appenninche, che per prime risentono dell'influenza delle perturbazioni atlantiche e dove il contrasto tra la massa d'aria caldo-umida sudoccidentale e le intrusioni fredde da nord-est spesso intensificano i fenomeni, localizzandoli, con un conseguente forte impatto sulla stabilità dei versanti, infine zone di pianura sulle qua-

li transitano sistemi convettivi intensi e le cui condizioni di umidità del suolo sono in grado di alimentare sistemi precipitanti.

L'intera regione è poi soggetta all'influenza del Bacino Mediterraneo, che, pur agendo da mitigatore del clima, costituisce un serbatoio notevole di energia ed umidità che alimenta le perturbazioni e favorisce lo sviluppo di sistemi precipitativi intensi, eventi che possono produrre in pochi giorni più della metà della pioggia media annuale e in una sola ora più della quantità di pioggia media mensile.

A causa della complessità territoriale della regione, i fenomeni meteorologici risultano essere determinati non solamente dalla configurazione barica meteorologica a scala sinottica ed a mesoscala, ma anche dalla dinamica a piccola scala; i flussi perpendicolari all'orografia con la risalita dell'aria lungo i rilievi possono determinare un incremento nell'intensità delle precipitazioni, in particolare nelle situazioni in cui è anche presente la convezione, o creare situazioni termodinamiche di instabilità innescando fenomeni precipitativi.

Un esempio in cui una modifica sia pur minima della direzione del flusso ha determinato una variazione relativamente significativa nella distribuzione delle precipitazioni sul Piemonte è costituito dalle precipitazioni registrate nel giorno 14 ottobre 2000 che rientra all'interno dell'episodio alluvionale dell'ottobre 2000. Chiaramente l'evento è stato principalmente causato da una profonda, ampia e persistente circolazione depressionaria di origine atlantica bloccata nella sua avanzata verso est da un anticiclone di blocco sull'Europa orientale; tuttavia l'esame del vento ai bassi livelli aiuta a comprendere le motivazioni per cui nel corso dell'evento la precipitazione intensa ha interessato maggiormente determinate aree del Piemonte.

Si nota come nella mattinata il vento si sia disposto prevalentemente da est e di conseguenza la pioggia abbia interessato soprattutto il settore occidentale del Piemonte (**figura 2.1.50**) mentre la rotazione da nord-est con intensificazione verificatasi nella seconda parte della giornata abbia contribuito all'estensione delle precipitazioni con valori più elevati in particolare nel cuneese (**figura 2.1.51**).

I rilievi alpini molto elevati determinano condizioni meteorologiche sopravento e sottovento in certi casi molto differenti tra loro: una situazione di nuvolosità con precipitazioni sulle Alpi francesi o svizzere talvolta è limitata alle creste di confine del territorio piemontese, mentre sul resto della regione il tempo è soleggiato con possibile innescamento del *foehn*.

Rispetto al fenomeno del *foehn*, ai fini del suo inte-

ressamento di una particolare vallata, risulta cruciale l'orientamento geografico di quest'ultima dalla cima al fondovalle, che deve essere quanto più possibile coincidente con la direzione di provenienza del vento, in maniera che possa efficacemente incanalarsi lungo la valle ed arrivare alle zone pianeggianti adiacenti, se la sua intensità e persistenza sono sufficienti.

La situazione presa come esempio è l'evento di *foehn* dei giorni 13-14 febbraio 2005; dalla **figura 2.1.52** si nota come alle ore 12 UTC del 13 febbraio il vento forte provenga da ovest, nord-ovest ed interessi tutte le vallate piemontesi con orientamento prevalente ovest-est e precisamente quelle comprese tra il Canavese e la Val Pellice con propagazione a buona parte della pianura.

Tale configurazione del vento è stata correttamente prevista dal modello meteorologico numerico ad area limitata non idrostatico LAMI; nella **figura 2.1.53** è possibile visualizzare la previsione del vento elaborata dalla corsa del modello emessa alle ore 00 UTC del 13 febbraio per l'istante in esame, ai livelli 500, 700, 850 e 950 hPa.

Ventiquattro ore dopo, alle 12 UTC del 14 febbraio il vento si dispone da nord e pertanto la sua intensità risulta massima in prossimità dei rilievi orientati da nord a sud e precisamente in Valle Ossoia e sul Piemonte orientale, mentre si ha una considerevole attenuazione sui rilievi occidentali; invece i rilievi meridionali sono interessati dalla risalita delle masse d'aria con formazione di nubi orografiche (**figura 2.1.54**).

Nella **figura 2.1.55** è riportata la previsione del modello per lo stesso istante: la rotazione da nord del vento è correttamente prevista.

Invece, a causa della minore altezza orografica e della modesta ripidità soprattutto del versante verso la pianura, l'influsso dei rilievi appenninici

Observed precipitation (mm/96hr) 16OCT2000 12:00 UTC

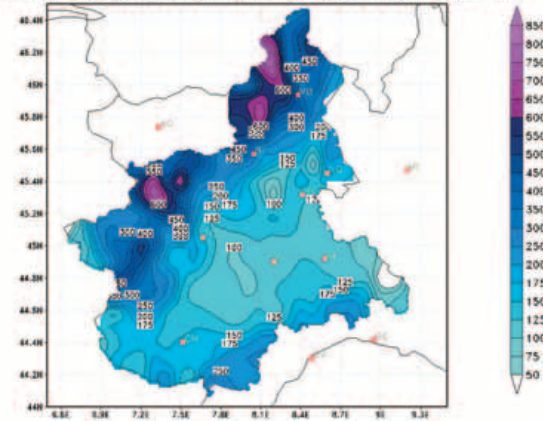


Figura 2.1.47
Precipitazione cumulata in 96 ore dalle 12 UTC del 12/10/2000 alle 12 UTC del 16/10/2000

Prec. (mm/24hr) al 16OCT2000 00:00 GMT

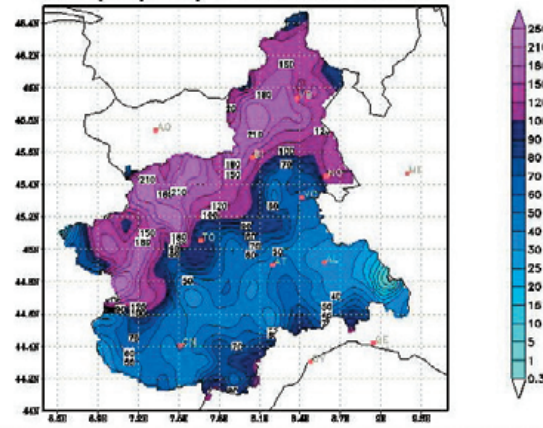


Figura 2.1.48
Precipitazione cumulata in 24 ore dalle 00 UTC del 15/10/2000 alle 00 UTC del 16/10/2000

risulta essere minore; pertanto nelle situazioni in cui in cui si sviluppa un minimo sul Golfo Ligure, con una conseguente circolazione depressionaria nei bassi strati, come quelle evidenziata nella **figura 2.1.56**, le precipitazioni che si sviluppano sulla Liguria frequentemente tendono a propagarsi sul basso astigiano ed alessandrino (**figura 2.1.57**).

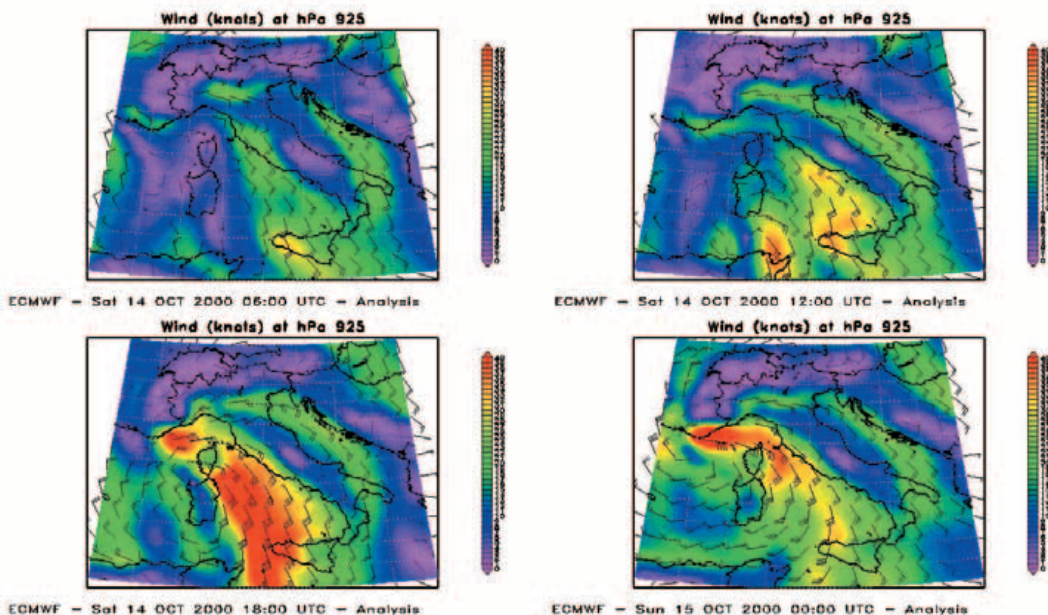


Figura 2.1.49
Evoluzione della velocità del vento a 925 hPa ogni 6 ore, dalle ore 06 UTC del 14/10/2000 alle ore 00 UTC del 15/10/2000

Figura 2.1.50
Precipitazione cumulata
in 12 ore tra
le ore 00 UTC
e le ore 12 UTC
del 14/10/2000

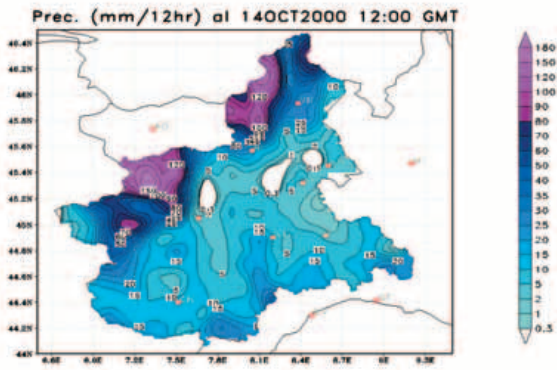


Figura 2.1.51
Precipitazione cumulata
in 12 ore tra
le ore 12 UTC
del 14/10/2000
e le ore 00 UTC del
15/10/2000

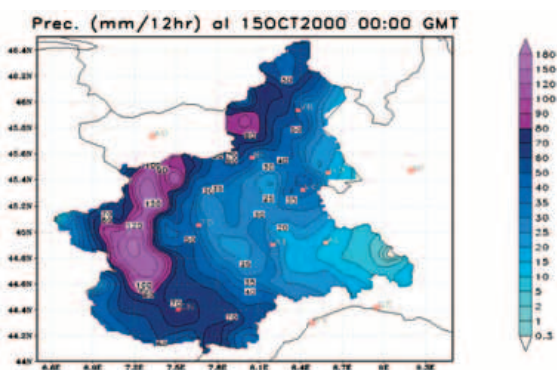
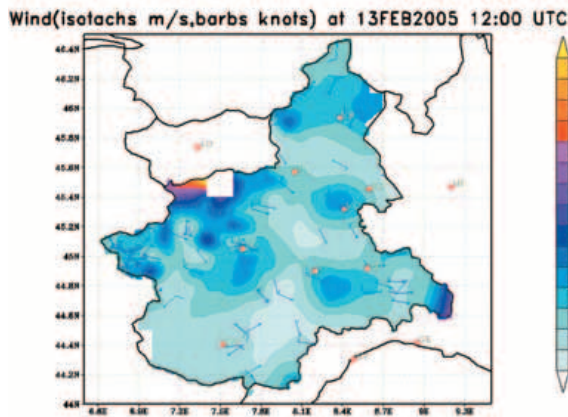


Figura 2.1.52
Vento rilevato
sul territorio piemontese
alle ore 12 UTC
del 13/02/2005



2.1.5 L'impatto regionale del cambiamento climatico globale

Il problema dei cambiamenti climatici è diventato di grande attualità negli ultimi anni a causa della sempre più frequente ricorrenza di fenomeni di un certo rilievo come siccità, ondate di calore, alluvioni o periodi prolungati di freddo intenso. A partire da queste considerazioni il mondo scientifico si è messo in moto per cercare una conferma di un eventuale cambiamento del clima mondiale attuale e le possibili ripercussioni a cui si potrà andare incontro nel prossimo futuro. Nell'ambito degli studi sul cambiamento climatico globale assume una rilevanza strategica poter valutare l'impatto regionale dei diversi scenari che si vanno delineando. La variabilità climatica a scala regionale è un importante tema nella ricerca sul clima, non ancora ampiamente esplorato. Essa

Figura 2.1.54
Vento sul territorio piemontese alle ore 12 UTC
del 14/02/2005

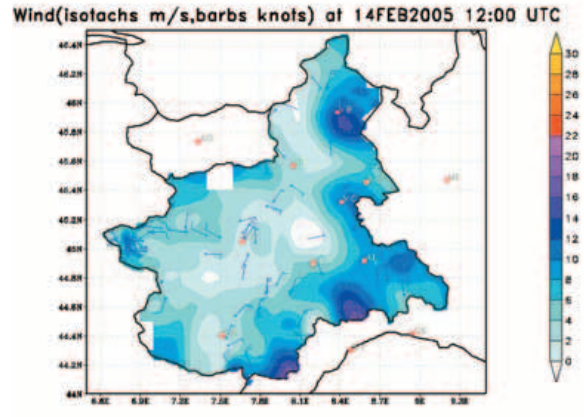
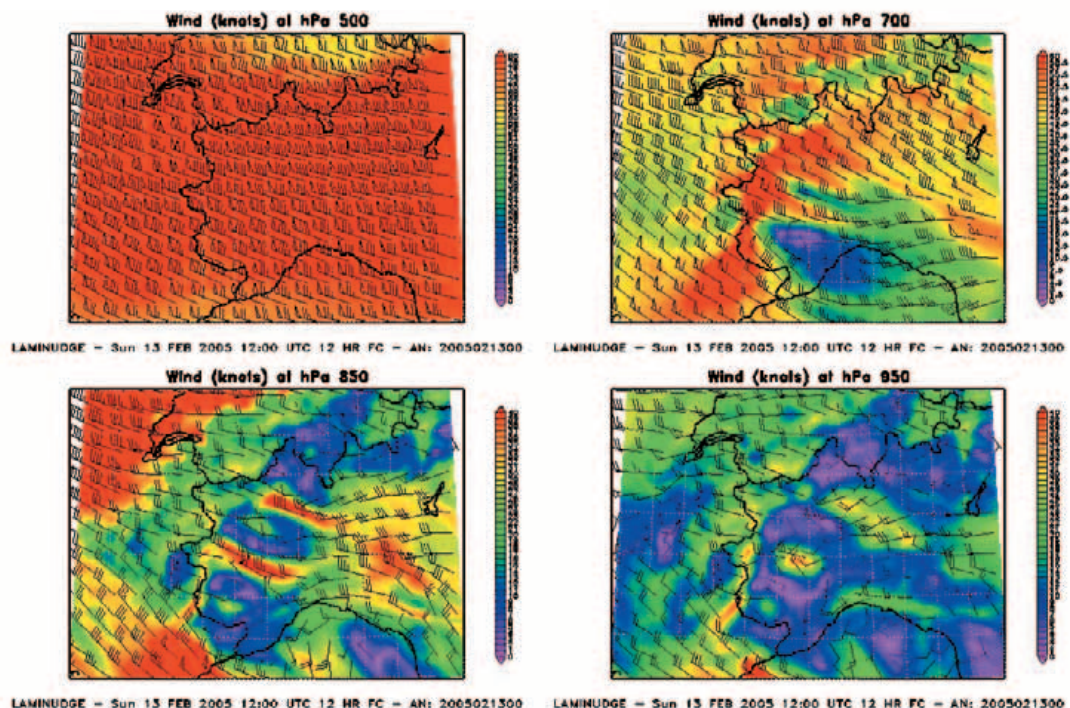


Figura 2.1.53
Previsione del vento
ai livelli 500, 700, 850
e 950 hPa elaborata dal
modello meteorologico
LAMI per le ore 12 UTC
del 13/02/2005



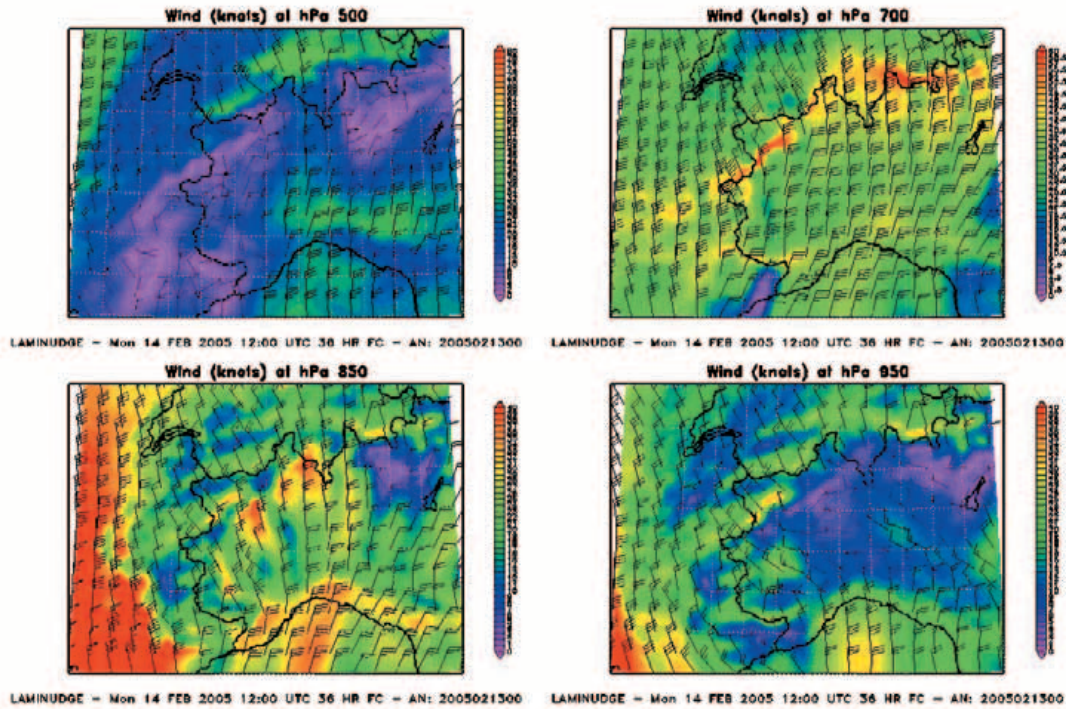


Figura 2.1.55
Previsione del vento ai livelli 500, 700, 850 e 950 hPa elaborata dal modello meteorologico LAMI per le ore 12 UTC del 14/02/2005

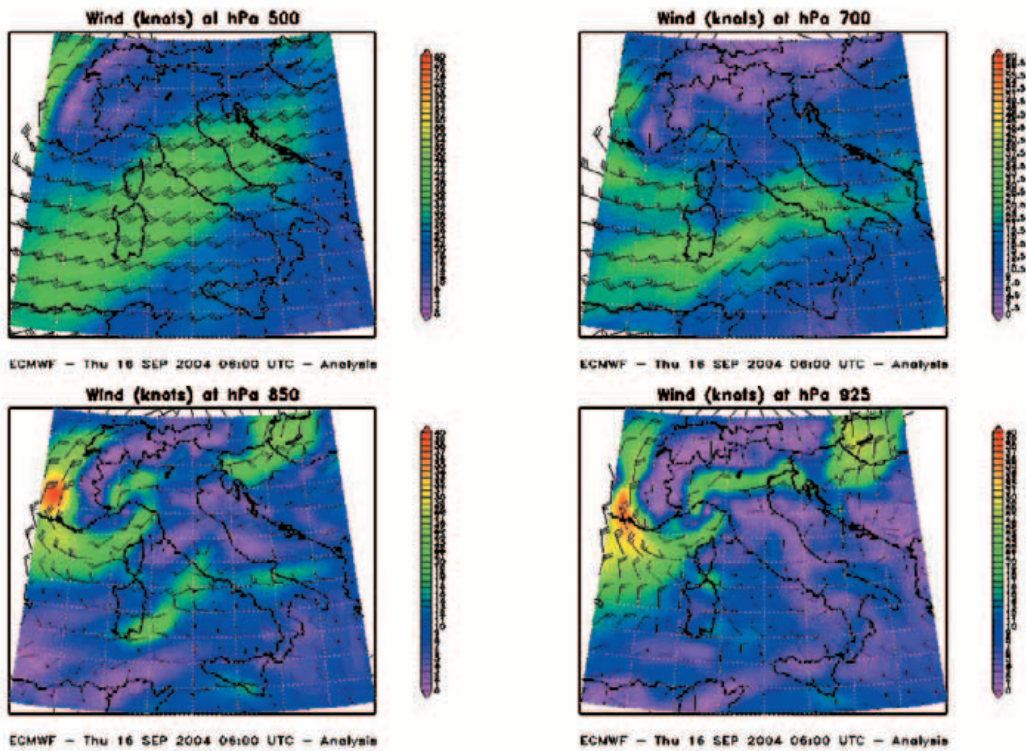


Figura 2.1.56
Analisi del vento ai livelli isobarici di 500, 700, 850 e 925 hPa alle ore 06 UTC del 16/09/2004

Precipitation (mm/24hr) at 16SEP2004 12:00 UTC

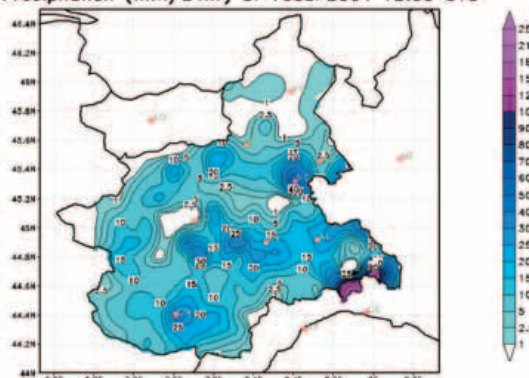


Figura 2.1.57
Precipitazione cumulata su 24 ore tra le 12 UTC del 15/09/2004 e le ore 12 UTC del 16/09/2004

deve tener conto degli elementi di incertezza che la contraddistinguono, sia per orientare le politiche di programmazione e pianificazione a lungo termine sia per comprendere come il concetto stesso di rischio legato a fenomeni naturali possa evolvere. A tal fine è importante analizzare i potenziali effetti del cambiamento climatico globale nelle caratteristiche e nella frequenza delle configurazioni meteorologiche critiche.

Secondo la politica di ricerca stabilita dall'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), le scienze naturali, tecniche e sociali possono fornire

informazioni essenziali per le decisioni su ciò che costituisce "la pericolosa interferenza antropogenica con il sistema climatico". Il rapporto di sintesi del 2001 dell'IPCC stabilisce che tale pericolosità è differente da regione a regione, dipendentemente dalla natura locale e dalle conseguenze degli impatti climatici. Non esiste, infatti una politica unica e migliore da seguire, ma è importante considerare la robustezza delle diverse politiche contro diversi scenari di mondo possibili. La sintesi in questione pone l'accento su quanto i cambiamenti climatici possano dipendere dall'interferenza antropogenica e, allo stesso tempo, quanto la ricerca scientifica sia indispensabile per l'identificazione di un cambiamento climatico in atto e la definizione di possibili scenari futuri.

Nell'ultimo rapporto del gruppo di lavoro 1 dell'IPCC (*Variazioni climatiche osservate e previste*) appare chiaro come negli ultimi cento anni l'emisfero boreale mostri un riscaldamento maggiore rispetto ad ogni altro periodo precedente. In particolare l'ultimo decennio si è dimostrato uno tra i più caldi di sempre. Tale aumento delle temperature è da attribuire, sempre secondo l'IPCC, ad un cambiamento climatico a scala planetaria, le cui cause sono da ricercare nei fattori antropogenici più che in quelli naturali (figure 2.1.58 a, b, c), dovuti ad un costante aumento dell'attività umana.

Conoscere il clima di una regione o di una particolare località è il punto di partenza di una possibile previsione climatologica e consiste nella conoscenza del tempo prevalente che ci si può aspettare sulla data località in un particolare periodo dell'anno. Alla base di ciò deve esserci, quindi, una buona analisi statistica del tempo e del clima passato, che necessita di misure continue di alcune variabili fisiche.

Tali misure assumono diverse forme. Considerando ad esempio la temperatura dell'aria la più immediata tra queste è la sua rilevazione attraverso le misure manuali, meccaniche o automatiche. Le misure dirette dei parametri meteorologici sono però disponibili solo a partire dalla metà del secolo scorso. Per una valida ricostruzione del clima passato si ricorre, quindi, a forme di misura della temperatura derivate da processi naturali, analizzando, per esempio, gli anelli del tronco degli alberi (dendro-climatologia), i coralli, i ghiacciai. Queste ultime stime hanno una varianza intrinseca maggiore rispetto alle misure dirette delle variabili meteorologiche.

Arpa Piemonte si inserisce attivamente in questa operazione di monitoraggio del clima. Essa gestisce, infatti, una complessa banca dati climatologica regionale. Tale archivio è composto da rilievi meteorologici manuali e meccanici

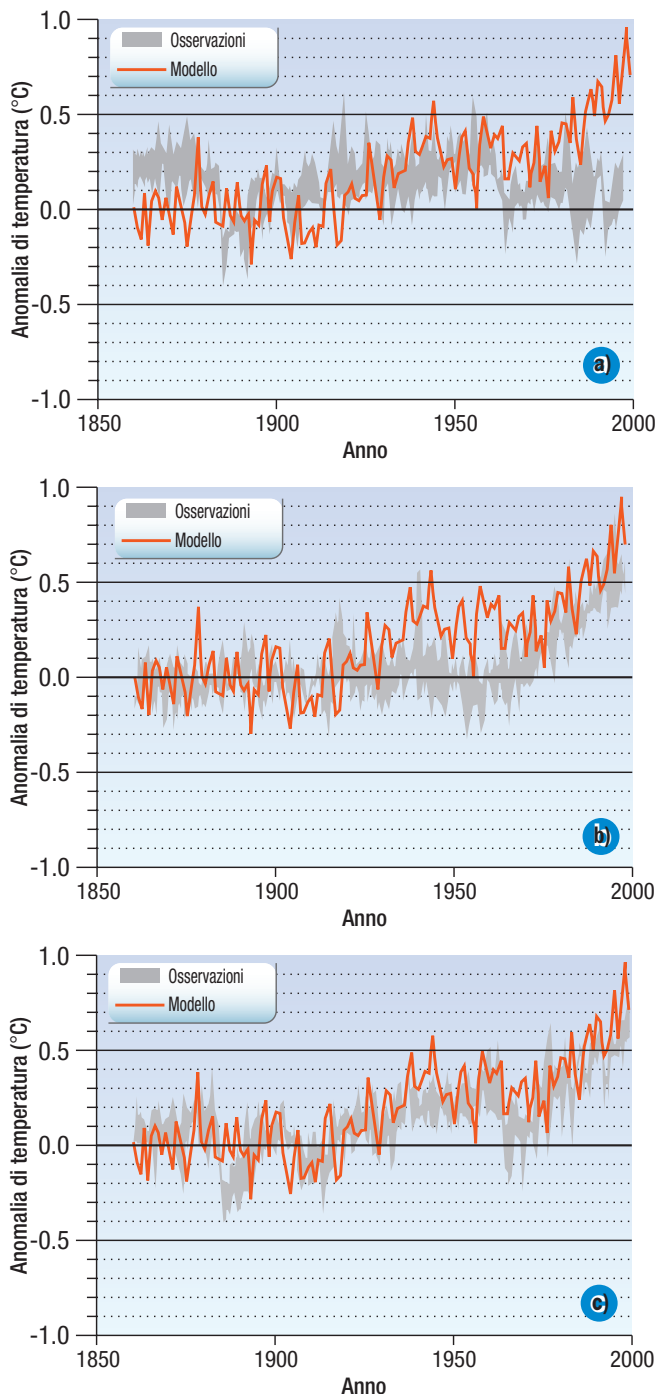


Figura 2.1.58

Confronto tra la variazione della temperatura superficiale della terra osservata (grigio) e simulata (rosso) considerando gli effetti naturali a), gli effetti antropogenici b) ed entrambi i fattori c)

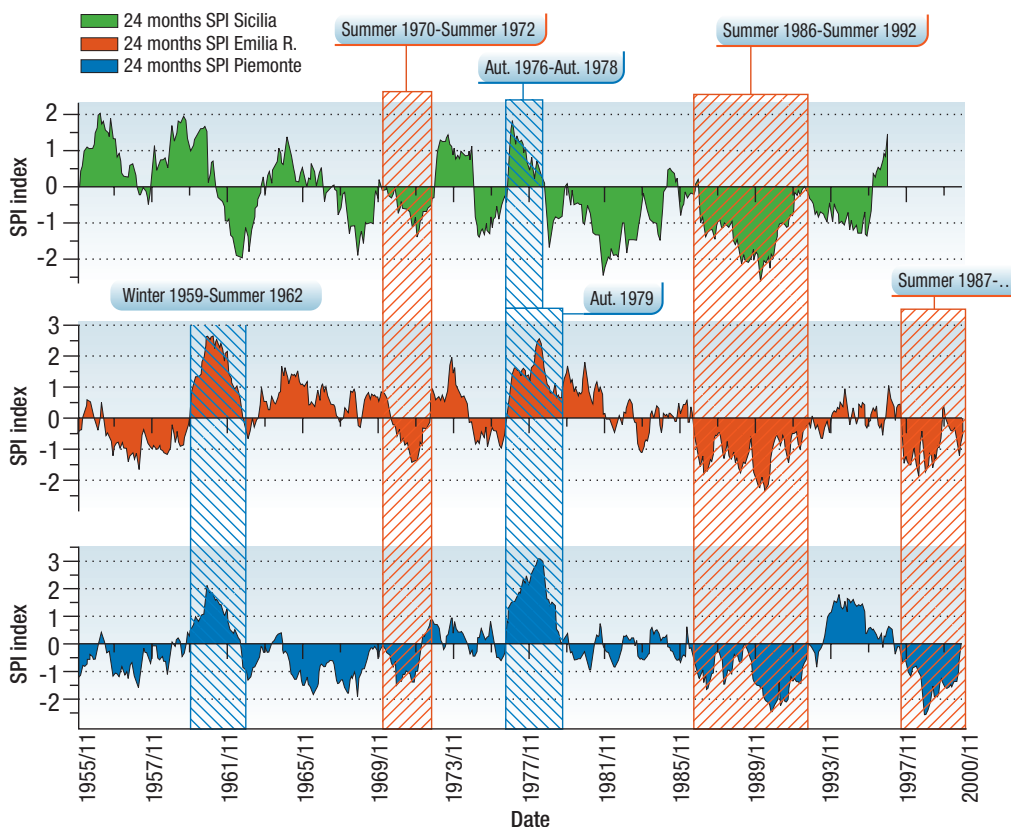


Figura 2.1.59
Confronto delle serie storiche di SPI a 24 mesi calcolate su tre differenti regioni italiane (Piemonte, Emilia Romagna e Sicilia) nel periodo 1955-2000. Sono evidenziati i periodi di anomalie positive e negative (siccità) dell'indice

derivanti dall'ex Servizio Idrografico Nazionale (sez. Torino, Milano, Parma): 273 stazioni hanno fornito in tempi diversi dati pluviometrici (nel periodo 1913-2002), 161 hanno fornito in tempi diversi dati termometrici (nel periodo 1951-2002) e 123 hanno fornito in tempi diversi sia misure di temperatura sia di pioggia. Le serie storiche di dati vengono sottoposte ad una attenta procedura di validazione a posteriori, in modo da garantire la consistenza e la coerenza del dato. Sulla base di tali misure vengono individuati e calcolati indici climatologici utili per un'analisi approfondita dei cambiamenti climatici a livello regionale degli ultimi ottanta anni. In particolare, nell'ambito dei Progetti europei Interreg IIIB MEDOCC – *Sedemed I* e *Sedemed II*, si sono studiati e calcolati gli indicatori che la comunità scientifica internazionale ritiene più adatti per caratterizzare la risposta dei regimi idrometeorologici regionali alla variabilità climatica, ossia lo *Standardized Precipitation Index – SPI* (McKee et al., 1993) e il *Palmer Drought Severity Index – PDSI* (Palmer, 1965). Lo scopo è quello di analizzare le proprietà statistiche (frequenza ed intensità) di eventi estremi (positivi e negativi) nel regime delle precipitazioni e legarli ad eventuali cambiamenti nella climatologia regionale.

L'indice SPI è utilizzato per la valutazione di deficit di pioggia su una serie di dati pluviometrici, in corrispondenza a diversi periodi temporali e svariati regimi climatici; risulta quindi applicabile a

regioni geografiche diverse. Esso si basa su scale temporali che in media hanno cadenza di 3, 6, 12, 24, 48 mesi e permette l'individuazione di una tendenza climatologica mensile. L'indice, calcolato secondo le diverse scale temporali, è comunemente indicato rispettivamente come SPI3, SPI6, SPI12, SPI24, SPI48. L'indice si presenta in forma standardizzata, così è possibile confrontare l'andamento delle precipitazioni per aree diverse, indipendentemente dalla locazione del sito di misura. Per come è costituito, l'indice *tiene memoria* delle precipitazioni passate e si presta al *monitoraggio* di fenomeni siccitosi. Il *range* di valori che l'indice può assumere è compreso tra -2.00 e +2.00. Valori positivi dell'indice si riferiscono ad una situazione di piovosità con entità maggiore del valore della mediana della serie pluviometrica, mentre valori negativi si riferiscono ai casi più siccitosi, aventi valori puntuali di pioggia minori del valore mediano della distribuzione in questione.

L'indice PDSI si basa, invece, su un'equazione di bilancio idrico, espressa in funzione di misure di temperatura, precipitazione e contenuto medio di acqua presente nel terreno (*AWC, available water content*). Infatti per una corretta stima di periodi siccitosi dal punto di vista agricolo, è indispensabile una corretta stima dell'apporto, della perdita e della necessità di acqua da parte di un terreno. Per il calcolo di tale indice è necessaria una stima delle seguenti variabili:

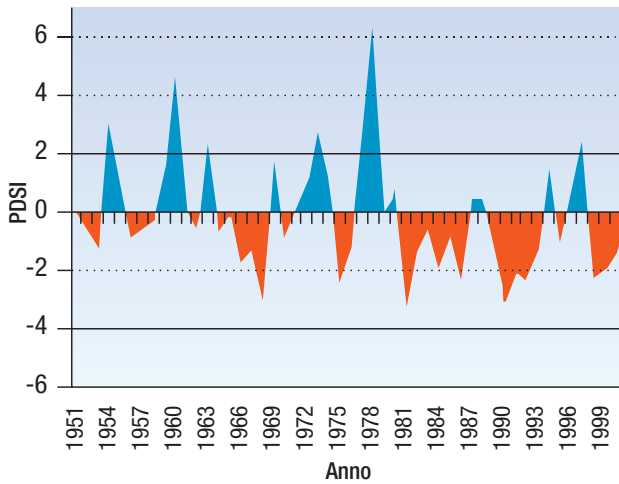


Figura 2.1.60

Applicazione del PDSI mensile alle stazioni del database climatologico di Arpa Piemonte per la valutazione e l'analisi di eventi siccitosi passati in relazione a studi di climatologia. L'area rossa evidenzia i periodi siccitosi. L'uso dell'indice di Palmer è estremamente valido in agricoltura in quanto tiene in conto dell'umidità del terreno

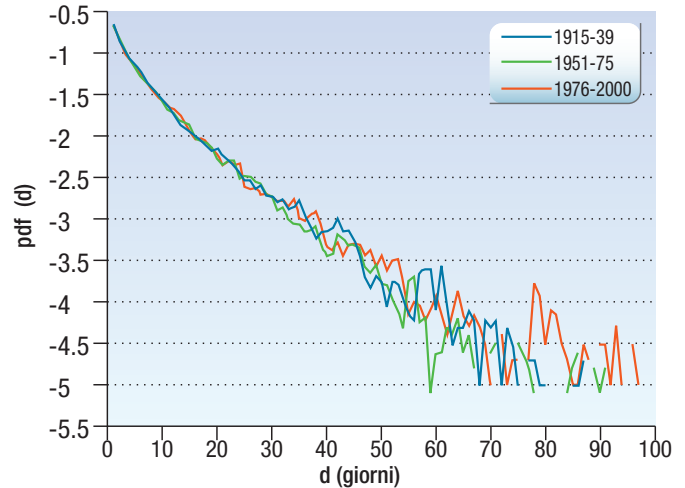


Figura 2.1.61

Distribuzione della durata dei periodi secchi per ogni decade a partire dal 1921 in Piemonte

- 1) precipitazione (apporto);
- 2) evapotraspirazione (domanda);
- 3) *run off*, ovvero la parte di acqua che scorre sulla superficie o nel sottosuolo (perdita);
- 4) perdite e guadagni di umidità da parte del suolo.

È inoltre indispensabile avere una stima dei valori potenziali delle variabili sopra descritte, ovvero dei massimi valori che essi possono assumere. Tale indice costituisce un monito estremamente valido in agricoltura, in quanto tiene conto dell'umidità del terreno.

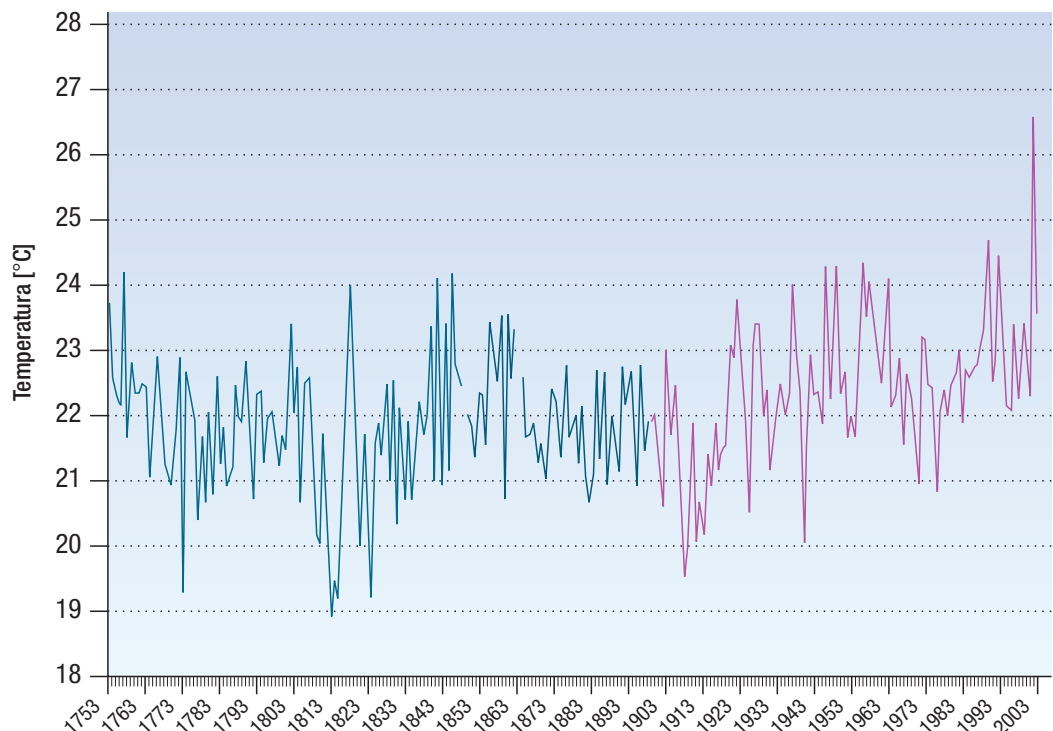
La fondamentale differenza tra i due indici è il fatto che l'SPI considera solo la precipitazione, mentre il

PDSI tiene conto dell'intero bilancio idrologico.

A livello regionale i risultati prodotti dall'analisi di tali indici mettono in evidenza un'alternanza di periodi siccitosi e periodi umidi ed in particolare negli ultimi anni sembra mostrarsi una tendenza verso periodi secchi più prolungati con tempi di ritorno ridotti rispetto al passato (**figura 2.1.59** e **2.1.60**).

Tale ipotesi è avvalorata anche dall'analisi della distribuzione della durata dei periodi secchi, dove per giorno secco è intesa una giornata durante la quale la precipitazione cumulata è inferiore a 1 mm (**figura 2.1.61**).

Figura 2.1.62
Serie storica temporale delle temperature misurate nel capoluogo piemontese Torino. In figura sono evidenziati in violetto i dati degli ultimi cento anni, che mostrano una tendenza positiva



12 month SPI and Nao index

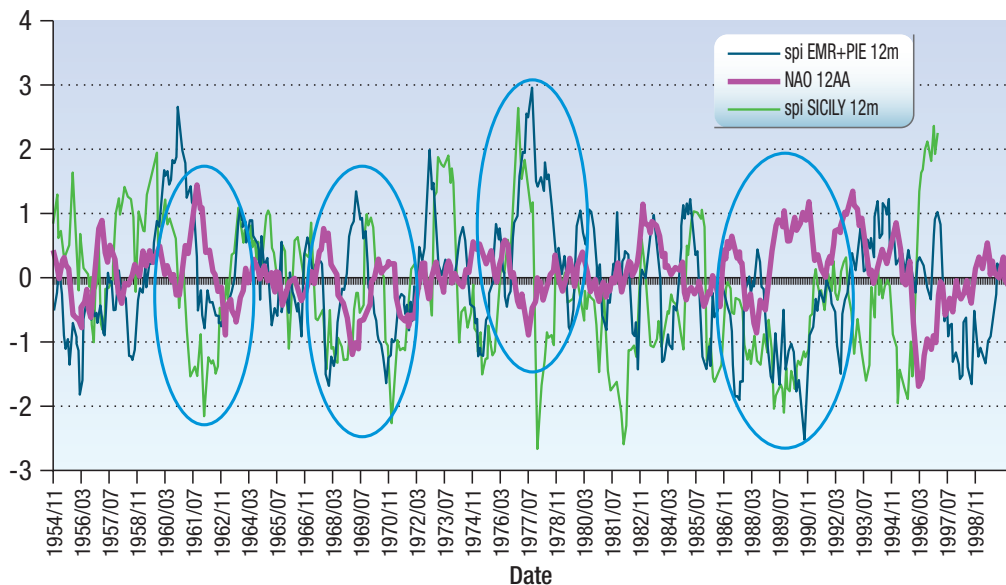


Figura 2.1.63
Variabilità interannuale: confronto tra le serie storiche di SPI a 12 mesi calcolato su Piemonte, Emilia Romagna e Sicilia e la media mobile a 12 membri dell'indice NAO. Un esempio di interazione tra variabilità atmosferica a larga scala ed effetti al suolo a livello locale (regionale)

12 month SPI and EuBLK index

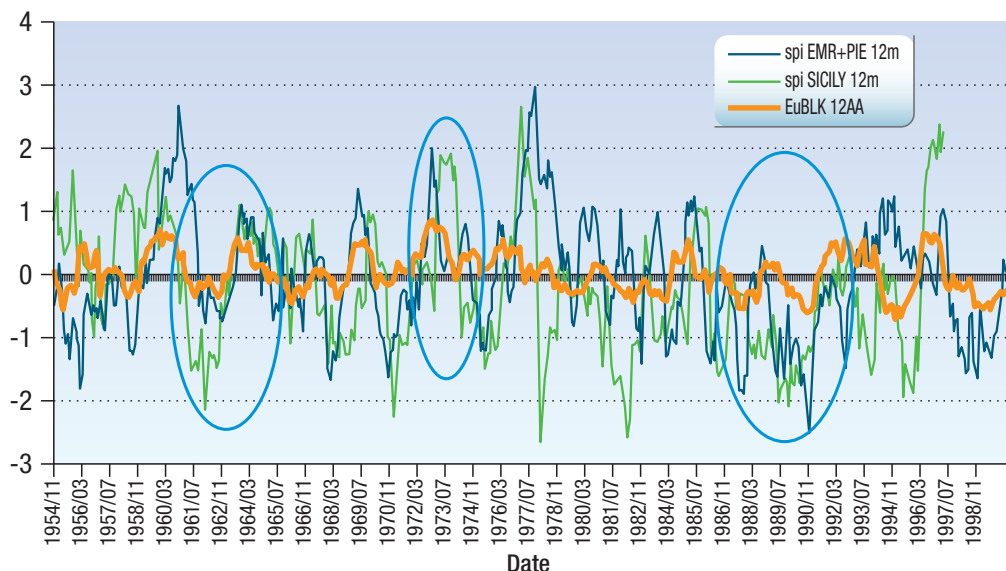


Figura 2.1.64
Variabilità interannuale: confronto tra le serie storiche di SPI a 12 mesi calcolato su Piemonte, Emilia Romagna e Sicilia e la media mobile a 12 membri dell'indice di Blocco Europeo (EuBLK). Un altro esempio di interazione tra variabilità atmosferica a larga scala ed effetti al suolo a livello locale (regionale)

Questo andamento costituisce una ulteriore verifica di quanto affermato dall'IPCC, ma con una valenza regionale, ulteriormente confermato dalla tendenza delle temperature sulla serie storica di Torino (figura 2.1.62).

L'andamento delle temperature nel capoluogo piemontese, segnala infatti una tendenza positiva nelle temperature, soprattutto nell'ultimo secolo, dove l'attività antropogenica ha maggiore influenza.

Per completare lo scenario dell'analisi meteo-climatica regionale, è possibile cercare di correlare gli indici prima descritti con configurazioni meteorologiche a scala sinottica (circa 10'000 km).

I risultati di tale analisi mostrano come la correlazione tra gli indici locali e le figure meteorologiche a scala più ampia possa essere utilizzata come un modello statistico semplificato di previsione di particolari tipologie di eventi meteorologici estremi legati alle anomalie di precipitazione (figure 2.1.63 e 2.1.64).

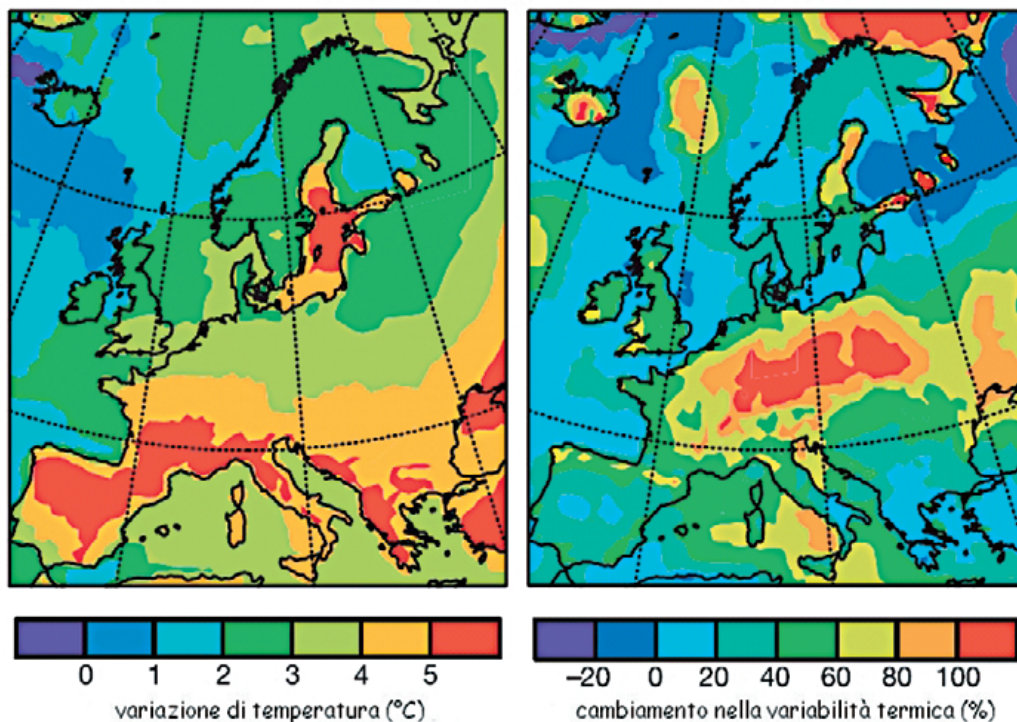
Per studiare gli impatti di un eventuale cambiamento climatico in atto o previsto è necessario, però, non solo studiare il clima passato e presente, ma anche quello futuro.

A tal fine, complessi modelli numerici basati sulle leggi fisiche atmosferiche e di interazione con la superficie terrestre hanno subito un costante e repentino sviluppo negli ultimi anni, favorito proprio dalla sempre più grande attenzione che viene posta verso tale problema e da uno sviluppo delle risorse di calcolo.

Tali modelli si dividono in due gruppi:

- 1) il primo AOGCM (*Atmosphere-Ocean General Circulation Model*) racchiude l'insieme dei modelli che risolvono le complesse leggi fisiche che regolano le circolazioni atmosferiche e marine su punti fissi del globo, comprese le interazioni tra i due sistemi aria oceano;
- 2) il secondo AGCM (*Atmosphere General Circulation Model*) comprende tutti quei modelli numerici che risolvono le stesse leggi fisiche,

Figura 2.1.65
 Variazione
 della temperatura
 e della variabilità
 termica previste
 da un modello
 climatologico regionale
 relative al trimestre
 giugno-luglio-agosto
 e per uno scenario
 dal 2071 al 2100
 che prevede un aumento
 dell'emissione di gas
 serra in atmosfera
 (Schär et al., 2004)



ma solo per la parte atmosferica, mentre quella marina è approssimata.

Entrambi i gruppi rientrano nella categoria più ampia dei GCM (*General Circulation Model*) e sono molto sensibili ai piccoli cambiamenti nelle condizioni iniziali, da ricercarsi nella natura caotica del sistema e che limita la previsione meteorologica a non più di 14 giorni. Nonostante tale natura caotica del sistema, le previsioni a lunghissimo termine e le previsioni climatiche sono possibili grazie a un numero di componenti che mostrano variazioni su scale di tempo più dilatate (stagioni ed anni) come ad esempio l'ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) ovvero la fluttuazione della temperatura superficiale del mare, delle piogge, della circolazione atmosferica, dei moti verticali e della pressione atmosferica sul Pacifico, NAO, ovvero la fluttuazione della pressione tra Islanda e Azzorre, per citare i due fenomeni maggiormente studiati. La scala temporale di tali fluttuazioni è molto vasta.

Al fine di dare scenari di previsione utili per una previsione del clima futuro della Terra, tali modelli vengono così utilizzati modificando le condizioni iniziali del sistema atmosfera-oceano (come la temperatura superficiale del mare o la concentrazione di gas in atmosfera o ancora diversi usi del suolo ecc.). Ciascuna condizione iniziale genera diversi scenari futuri.

I modelli appartenenti a tali categorie (GCM) hanno un limite intrinseco, costituito dall'impossibilità di risolvere la fisica a scale inferiori alla mesoscala (circa 100 km di risoluzione).

Tali scale spaziali sono, tuttavia, importanti per

lo studio del clima di particolari regioni aventi un microclima determinato dalle forzanti regionali e locali che agiscono su scale spaziali di decine di chilometri o anche inferiori.

Come già detto in precedenza, la variabilità climatica a scala regionale è un campo ancora poco esplorato, in particolare sul piano delle previsioni climatiche regionali. La difficoltà maggiore sta nel riportare a scala regionale i risultati dei modelli numerici descritti in precedenza, ovvero risolvere i problemi connessi con la bassa risoluzione dei modelli di circolazione generale. Tale problema è noto come *downscaling*.

Per risolvere tale problema in modo deterministico, negli ultimi anni sono stati messi a punto i cosiddetti modelli RCM (*Regional Climate Model*) o modelli ad area limitata. Essi consistono in modelli numerici che risolvono le complesse equazioni della fisica atmosferica-marina su un dominio limitato e chiuso, non più globale. In pratica essi isolano una parte del globo e, all'interno di tale porzione, aumentano notevolmente la risoluzione spaziale. Per poter funzionare, tali modelli hanno comunque bisogno dei dati provenienti dai GCM descritti in precedenza, in quanto necessitano delle condizioni iniziali e al contorno della porzione di globo analizzata.

Avendo una risoluzione spaziale molto più grande (circa 10-20 km), tali modelli possono simulare il clima regionale a partire dai diversi scenari provenienti dai GCM.

Uno degli obiettivi degli attuali progetti europei sul clima è proprio il confronto tra i diversi scenari climatologici a livello regionale, per individuare

quali sono le conseguenze degli scenari più realistici su particolari regioni (ad esempio l'Arco Alpino e, quindi, la stessa regione del Piemonte). A tal fine è possibile far uso, inoltre, di tutti gli strumenti descritti in precedenza. Ad esempio una corretta visione sul clima passato è fondamentale per ricercare, tra i molteplici scenari provenienti dai GCM e dagli RCM, quelli futuri più realistici. Inoltre è possibile adattare lo studio sugli indici descritto in precedenza ai risultati degli RCM per sperimentare una previsione dell'impatto dei cambiamenti climatici sul clima regionale.

Uno dei lavori svolti mediante l'utilizzo degli RCM è stato di spiegare l'anomala ondata di calore verificatasi durante l'estate del 2003 (Schär *et al.*, 2004). In questo studio si è fatto uso di un modello RCM per simulare il possibile clima futuro europeo, utilizzando uno scenario che prevede un aumento della concentrazione dei gas serra in atmosfera e si è trovato come, a fronte di tale scenario, si vada incontro ad un aumento della variabilità termica anche del 100% con massimi sull'Europa orientale e centrale (quindi anche sul Piemonte) che spiega l'anomala ondata di calore del 2003 (**figura 2.1.65**).

Concludendo, il mondo scientifico dimostra, in questi ultimi anni, una sempre crescente sensibilizzazione verso la tematica del cambiamento del clima su scala regionale. Il motivo è da ricercare nella possibilità di identificare appropriate misure e progetti per l'adozione di corrette politiche di prevenzione ed adattamento a scenari futuri diversi.

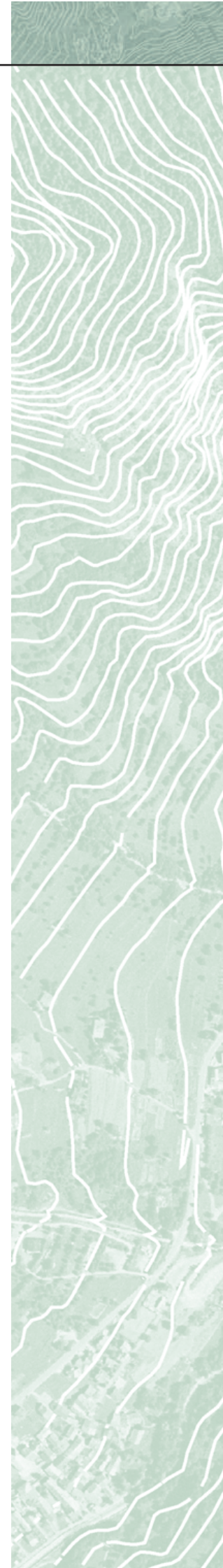
Una testimonianza di ciò è la conclusione alla quale si è giunti al termine del meeting "*Cambiamento climatico nello Spazio Alpino*", conseguenze per la popolazione e l'ambiente svoltosi a Rosenheim (Germania) nel novembre del 2004, nell'ambito del progetto Interreg III B *Spazio Alpino*: "*I cambiamenti climatici sono di fondamentale importanza per lo Spazio Alpino. Essi alterano i paesaggi naturali, portando a nuovi cambiamenti e a rischi naturali, la cui rapidità ed intensità è stata finora sconosciuta*".

L'importanza dei modelli RCM diventa, quindi, centrale in questo contesto, in quanto sono strumenti in grado di fornire scenari futuri verosimili, sulla base dei quali progettare interventi che possano affrontare gli impatti sociali, economici e naturali ai quali le regioni vanno incontro.

Nel corso del meeting di Rosenheim è stata definita una proposta progettuale di ricerca che vede anche il contributo di Arpa Piemonte.

Tale proposta è basata sull'analisi più approfondita degli scenari previsti da diversi RCM su differenti regioni dello Spazio Alpino, utilizzando

tecniche di analisi già sperimentate in precedenza, quali l'utilizzo di indici e l'applicazione delle attuali forme di prevenzione come il Sistema di Allertamento di Arpa Piemonte ai diversi scenari previsti dagli RCM. L'obiettivo è di mettere in luce le modifiche apportabili al sistema basandosi proprio sulla variabilità e sui cambiamenti climatici.



Bibliografia

I lavori contrassegnati da asterisco non sono citati esplicitamente nel testo.

* Bluestein H.B. (1992), *Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes*. Oxford University Press, Oxford.

*Costa G., Colombo S., Zanetti R., D'Ambrosio R., Rosso S., Ponti A. & Segnan N. (1984), *Stato di salute della popolazione a Torino*. Cause di morte nei residenti, anno 1982, USL 1/23, Torino.

*Kalkstein L.S., Jamason P.F., Greene J.S., Libby J. & Robinson L. (1996), *The Philadelphia Hot Weather-Health Watch/Warning System: Development and Application, Summer 1995*. Bulletin of the American Meteorological Society, pp. 1519-28.

*Kalkstein L.S. & Watts J. (2003), *The Development of a Warm Weather Relative Stress Index for Environmental Applications, October 2003*. University of Delaware, Newark.

*Masterson, J.M. & Richardson F.A. (1979), *Humidex, A method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity*. CLI 1-79, Environment Canada, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario, pp. 45.

*Matveev L.T. (1967), *Physics of the atmosphere*. Israel program for scientific translations.

McKee T.B., Doesken N.J. & Kleist J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., pp. 179-184.

*Michelozzi P., Fano V., Forastiere F., Barca A., Kalkstein L.S. & Perucci C.A. (2000), *Weather conditions and elderly mortality in Rome during summer*. Bulletin of the World Meteorological Organization; 49(4), pp. 348-355.

*Morabito M. & Bacci L. (2002), *Gli indici biometeorologici nella valutazione dello stato di benessere dell'uomo*.

Palmer W.C. (1965). *Meteorological Drought*. Research Paper n. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C., pp. 58.

Schär, C., Vidale P.L., Lüthi D., Frei C., Häberli C., Liniger M.A. & Appenzeller C. (2004). *The role of increasing temperature variability for European summer heatwaves*. Nature, vol. 427, pp. 332-336

*Von Handenberg J., Provenzale A., Ronchi C. & Costafrola E. (2005), *Technical report: Analysis of an ensemble of long daily precipitation time series in North-Western Italy – Interreg IIB/MEDOCC Sedemed Project*.