

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI

Corso di Laurea in Fisica – Laurea Specialistica in Fisica

**CLIMATOLOGIA E VARIABILITÀ INTERANNUALE
DELLA NEVE SULL'APPENNINO EMILIANO-ROMAGNOLO**

Laureando:
ANDREA DE BELLIS

Relatore:
Prof. VINCENZO LEVIZZANI

Correlatore:
Dott.ssa VALENTINA PAVAN

Anno Accademico 2008-2009
Sessione II

Indice

Introduzione	Pag. 3
1 – La formazione della precipitazione nevosa	Pag. 7
2 – I dati della Neve	Pag. 10
2.1 Metodi di misurazione	Pag. 10
2.2 Elaborazione dei dati	Pag. 15
2.3 Problemi incontrati	Pag. 16
3 – Climatologia della Neve	Pag. 18
3.1 La neve in Italia	Pag. 19
La neve fresca	Pag. 21
La durata del manto al suolo	Pag. 23
3.2 La neve in Emilia-Romagna	Pag. 29
4 – Gli indici climatici	Pag. 43
4.1 NAO	Pag. 43
4.2 SCA	Pag. 44
4.3 ENSO	Pag. 45
5 – Test di Mann-Kendall	Pag. 47
6 – Analisi dei dati	Pag. 49
6.1 Analisi generale delle serie con i dati della neve nel periodo 1951/2000	Pag. 49
6.2 Analisi delle singole stazioni	Pag. 77
6.3 Gli ultimi anni	Pag. 89
Conclusioni	Pag. 95
Bibliografia	Pag. 101
Appendice	Pag. 102
Ringraziamenti	Pag. 103

Introduzione

La neve è la più comune forma solida di precipitazione delle nostre latitudini. La stagione tipica di questo fenomeno atmosferico è l'inverno, ma la durata della stagione nevosa cresce al crescere della quota, così che sulle zone montuose si ha neve sia negli ultimi mesi dell'autunno, che nei primi mesi della primavera.

La neve in sé rappresenta un importante fenomeno atmosferico, la cui presenza si ripercuote in diversi modi sull'ecosistema e sull'economia umana. Studiare la nevosità di una regione, e come questa sia variata negli anni, o possa variare in futuro comporta quindi importanti conseguenze sulla regione considerata.

La neve, rappresenta per prima cosa un'importante riserva idrica. Tutta l'acqua che precipita in forma solida rimane come intrappolata, e viene rilasciata lentamente mano a mano che il manto si scioglie. Questo garantisce l'alimentazione per le sorgenti fino a tarda primavera e all'inizio dell'estate, là dove le cime sono più elevate. Durante la stagione in cui il suolo è coperto dalla neve però si ha comunque uno scioglimento, che fa sì che parte dell'acqua finisca per essere assorbita dal terreno, ma in modo lento. Quest'acqua finisce poi per alimentare le falde acquifere più profonde e irrigare il terreno in modo continuo e costante così che il suolo riesce ad immagazzinare una quantità d'acqua maggiore di quanta ne immagazzinerebbe se la stessa quantità di precipitazione avvenisse sotto forma di pioggia soltanto.

Sulle Alpi c'è un'ulteriore forma di accumulo della neve: i ghiacciai. In realtà però la neve impiega diversi anni per trasformarsi in ghiaccio, e la neve che ogni anno cade sui ghiacciai delle nostre montagne ha principalmente lo scopo di preservare, durante la stagione estiva il ghiaccio dallo scioglimento. Tutta la neve che non si scioglie durante l'estate inizia il suo lento processo per diventare ghiaccio, schiacciata dal peso della nuova neve. Ogni anno così la neve che cade durante l'inverno può diventare una riserva per i bacini glaciali.

La neve ricopre un ruolo importante anche dal punto di vista geologico.

Durante i periodi perturbati caratterizzati da abbondanti precipitazioni, il presentarsi della precipitazione nevosa a partire da una certa quota, preserva il territorio da diversi tipi di dissesto e riduce il rischio di alluvioni alle quote più basse, poiché una parte dell'acqua che precipita non scende immediatamente verso valle nei fiumi, ma rimane immagazzinata sui monti, e rende meno violente le piene in valle. Le più pericolose piene dei fiumi nel Nord Italia si verificano proprio quando, una volta che l'arco Alpino è già coperto di neve fino alle quote medie, arriva una perturbazione sospinta da correnti miti, che innalza lo zero termico e provoca piogge sulle zone

innevate. In questo modo il manto si scioglie e verso valle arriva una quantità d'acqua molto maggiore di quanta ne sarebbe scesa se non ci fosse stata neve, o se anche la nuova perturbazione avesse portato neve alle quote più alte.

Durante la stagione invernale, nelle zone caratterizzate da climi freddi, la presenza della neve al suolo assume un'ulteriore importanza. La neve ed il ghiaccio sono infatti cattivi conduttori termici. Questo fa sì che la temperatura del suolo coperto da uno strato di neve, sente solo in parte l'influenza della temperatura dell'aria. Durante episodi di gelo la presenza della neve al suolo preserva così il terreno, e quindi anche le radici delle piante da possibili gelate.

Da quanto detto fin qui si comprende bene l'importanza della neve nell'equilibrio della natura, ed è evidente come una variazione della nevosità porti con sé inevitabili cambiamenti in tutti questi equilibri.

Infine la neve riveste un importante ruolo anche per la fauna delle zone montane, la cui esistenza nella stagione fredda può essere determinata proprio dalla presenza di troppa neve o dall'assenza della stessa. Basti pensare che l'abbondante innevamento sulle Alpi nell'inverno 2008/2009 ha portato numerosi esemplari di ungulati a scendere fino ai paesi abitati di fondovalle per trovare cibo. Inoltre nella zona del Parco Nazionale dello Stelvio molti animali sono stati trovati morti perché, a causa dell'abbondante innevamento, non riuscivano più a trovare cibo e, in alcuni casi nemmeno a muoversi.

Quanto si è detto fin qui sulla neve si ripercuote in realtà anche nelle attività umane. Da sempre la presenza della neve durante l'inverno ha condizionato la vita delle popolazioni di montagna, e ne ha condizionato l'economia e l'agricoltura. Ancora oggi, per quanto detto l'abbondanza o la scarsità delle precipitazioni nevose porta conseguenze specialmente nell'approvvigionamento idrico.

Anche l'economia e la vita quotidiana, durante la stagione invernale, possono essere influenzate dalla neve. Tante volte infatti il traffico rimane bloccato, specie sulle grandi vie di comunicazione che attraversano i valichi alpini ed Appenninici, ma anche nelle città del Nord le neviccate creano problemi, sia alla circolazione urbana, sia al traffico aereo e ferroviario.

È interessante allora capire quanto la neve sia frequente in una data regione anche per l'influenza che ha su queste attività, e risulta altrettanto importante conoscerne la variabilità per avere idea di eventuali scenari futuri diversi dall'attuale.

Negli ultimi decenni infine la neve ha assunto anche un importante aspetto economico, in connessione col turismo invernale e le pratiche degli sport ad esso connessi (sci...). Chi lavora in questo settore è quindi interessato a conoscere la nevosità di una determinata zona, ed è interessato pure alla variabilità della neve, per evitare di costruire impianti là dove la neve non cade in maniera

abbondante.

Come ogni altra variabile meteorologica la neve presenta sia variabilità spaziale che temporale, ed è un indice importante dei cambiamenti climatici in atto, poiché è soggetta sia alle variazioni di temperatura che alle variazioni nei regimi precipitativi. Studiare quindi la variabilità interannuale e la variabilità a lungo termine della nevosità comporta uno studio simile anche su temperature e precipitazioni, valutando eventuali relazioni con cambi nella frequenza del verificarsi dei diversi regimi o con cambiamenti climatici di larga scala. Un calo della nevosità infatti può essere indice sia di un calo della precipitazione invernale sia di un aumento delle temperature nella stessa stagione, oppure ancora di una combinazione di entrambi gli effetti. A loro volta cambiamenti nell'intensità e distribuzione delle precipitazioni possono essere legati a variazioni nelle frequenze di incidenza di diversi regimi a loro volta favoriti dal verificarsi di anomalie nella circolazione a larga scala a livello planetario. D'altra parte una variazione nelle temperature può essere sia dovuta a cambiamenti nelle incidenze dei regimi di tempo, che a variazioni legate a cambiamenti nelle forzanti globali atmosferiche o negli scambi energetici fra le varie componenti del sistema climatico globale.

Nella presente tesi, dunque, si è presa in considerazione la possibilità che la variabilità di larga scala abbia un impatto rilevante nella variabilità climatica locale, e in particolare su quella della neve. Per studiare tale legame ci si è focalizzati nel possibile legame fra gli indici climatici legati alla neve e quelli che rappresentano la variabilità temporale di due modi di variabilità di larga scala: l'Oscillazione Nord Atlantica (NAO) e il Pattern Scandinavo (SCA). La scelta è stata legata al fatto che questi due modi di variabilità in letteratura sono stati individuati essere i più rilevanti per il clima dell'Emilia Romagna (Pavan et al., 2008; Quadrelli et al., 2000).

Lo studio sulla variabilità della neve sarà interessante per vedere se la variabilità degli ultimi decenni ha dei precedenti negli anni precedenti, oppure mostra qualcosa che ancora non si era registrato, quantomeno in tempi storici. Sarà poi interessante cercare la ragione dei cambiamenti che vengono individuati attraverso i dati.

Partendo da queste considerazioni, il seguente lavoro si propone di studiare la climatologia della neve sull'Appennino Emiliano Romagnolo, di capire cioè quali sono i valori medi di altezza e durata del manto nevoso, in un determinato periodo di tempo (si è scelto il periodo 1961/90).

Si propone inoltre di studiare la variabilità della neve, sia sul breve periodo, sia sul lungo termine, per cercare eventuali trend.

Infine si cercherà di capire quali sono le principali variabili atmosferiche e le situazioni

meteorologiche a larga scala che più hanno peso nel determinare la nevosità sul nostro territorio.

Questo permetterà di avere idea innanzitutto della complessità del sistema climatico, dove ogni variabile è influenzata da una molteplicità di fattori diversi. L'analisi dei trend della neve e delle loro correlazioni con altre serie di dati permetterà invece di individuare dov'è che si possono cercare le ragioni dei mutamenti nella nevosità sul territorio, così da poter capire se stiamo andando verso stagioni sempre meno nevose, oppure verso cambiamenti meno significativi.

Il primo capitolo di questo lavoro è un capitolo in cui si dà un'idea di quali siano i processi che portano alla formazione della precipitazione nevosa all'interno delle nubi. Nel secondo capitolo si descriverà il metodo di osservazione, rilevazione e trasmissione dei dati dalle stazioni meteorologiche all'istituto idrografico, sia nei tempi storici che ai giorni nostri. Si passerà quindi a descrivere i metodi utilizzati per elaborare i dati utilizzati in questa tesi, e i problemi incontrati.

Il terzo capitolo descrive la climatologia della neve, cioè quali sono i fattori che, sia a livello locale che sulla larga scala, ne influenzano la presenza al suolo, e si indicheranno anche i valori medi di altezza del manto e durata del manto. La prima parte di questo capitolo riguarderà la neve sull'intero territorio nazionale, utilizzando i dati del servizio idrogeologico nazionale, riferiti al periodo 1921/1960. La seconda parte del capitolo riguarderà invece la neve sulla regione Emilia-Romagna, nel periodo 1961/1990, utilizzando i dati appositamente elaborati per questo lavoro, e conservati presso le sedi di Bologna e Parma dell'ARPA regionale.

I capitoli 4 e 5 descrivono gli indici climatici e il test di Mann-Kendall, utilizzati poi nell'analisi dati.

L'ultimo capitolo infine è il capitolo dedicato all'analisi dei dati, sia a livello regionale, che sulle due sub regioni (Emilia e Romagna). Si analizzeranno i vari periodi di variabilità della neve, i trend nel cinquantennio 1951/2000, le correlazioni con temperature, precipitazioni e con gli indici NAO, SCA ed ENSO.

1. La formazione della precipitazione nevosa

Le idrometeore si formano all'interno delle nubi grazie alla condensazione del vapore quando viene raggiunta la quota di condensazione. Vari processi di diffusione del vapore verso le goccioline già formate e di collisione tra le gocce (processo di collisione-coalescenza) portano all'accrescimento delle gocce stesse che, aumentando in dimensioni e quindi massa, iniziano a precipitare come gocce di pioggia. Anche se a tutte le latitudini le nubi si possono estendere a quote superiori al livello dello zero termico, ciò si verifica più comunemente anche per le nubi più basse negli extra-tropici e nelle aree polari, soprattutto in inverno. Questo fatto comporta la formazione in nube dei cristalli di ghiaccio, che sono alla base della precipitazione nevosa, ma anche della grandine e, per le precipitazioni alle nostre latitudini, pure della pioggia attraverso il meccanismo di formazione della nube mista ed i processi del ghiaccio in nube (Bergeron-Findeisen) (Rogers and Yau 1989).

I cristalli di ghiaccio si formano inizialmente in tre diversi modi: 1) per congelamento di una gocciolina di acqua, 2) per deposizione di vapore su una particella di aerosol, il nucleo di ghiacciamento, oppure 3) per formazione spontanea del cristallo dal vapore puro. Comunque, come per la formazione delle goccioline d'acqua la fisica del fenomeno si suddivide in due processi fondamentali; ghiacciamento omogeneo (in cui è coinvolta soltanto la sostanza acqua) oppure ghiacciamento eterogeneo, cioè con il coinvolgimento di altre sostanze o particelle che forniscono un supporto alle gocce e ai cristalli.

I processi di accrescimento successivi alla nucleazione e/o ghiacciamento iniziale coinvolgono principalmente la crescita per diffusione di vapore e la coalescenza, dovuta alla collisione con altri cristalli.

Il ghiacciamento omogeneo di una gocciolina di acqua pura può avvenire soltanto quando l'organizzazione delle molecole dell'acqua, che si muovono secondo leggi stocastiche, arriva a formare una struttura stabile, simile a quella del ghiaccio, che funge così da nucleo di ghiacciamento. Tutto questo dipende dal livello di energia libera superficiale all'interfaccia cristallo/liquido, che viene raggiunto intorno ai -40°C . In realtà però il ghiacciamento in nube inizia a temperature ben più alte, anche se fino ai -20°C è assai comune la presenza di acqua nelle nubi. Ciò che permette al ghiaccio di comparire a temperature più elevate di -20°C , e che permette la comparsa del ghiaccio appena sotto allo zero sulla superficie terrestre è la nucleazione eterogenea.

Anche la deposizione omogenea, che accade quando le molecole di vapore formano un

embrione stabile di ghiaccio a causa di collisioni casuali, risulta poco comune in atmosfera. Infatti richiede sovrassaturazioni estremamente elevate, che non sono normalmente presenti in atmosfera, se non alle quote di formazione dei cirri.

In una nube i cristalli di ghiaccio iniziano a comparire in numero apprezzabile alla temperatura di circa -15°C , a conferma dell'importanza della nucleazione eterogenea. Questo fenomeno vede coinvolte numerose particelle che forniscono una superficie sulla quale le molecole d'acqua possono legarsi tra loro e formare aggregati. La probabilità che tale nucleazione avvenga, dipende non solo dalle condizioni di sovrassaturazione e sovraraffreddamento dell'atmosfera, ma anche dalla composizione fisico-chimica del nucleo di ghiacciamento implicato. Se questo ha un reticolo cristallino simile a quello del ghiaccio, la nucleazione sarà notevolmente favorita.

Anche in questo caso esistono molteplici processi che portano alla formazione di particelle ghiacciate. Innanzitutto si può verificare, su nuclei opportuni, il passaggio diretto dalla fase vapore alla fase ghiaccio. I nuclei di ghiacciamento possono poi agire in tre diversi modi:

1. si comportano da centri di condensazione e poi di ghiacciamento,
2. provocano ghiacciamento istantaneo se giungono a contatto con goccioline sovraraffreddate,
3. causano il ghiacciamento se vengono immersi in una goccia.

Tutti questi fenomeni avvengono all'interno delle nubi senza che si conosca tuttora l'importanza relativa dei vari effetti, e si tende così a parlare in modo generico di "nucleazione del ghiaccio", senza specificare quale fenomeno l'ha causata.

I nuclei di ghiacciamento sono particelle di aerosol di varia natura, alcuni batteri derivanti dal materiale vegetale in decomposizione, materiale meteorico, ma la più importante categoria di nucleanti naturali è sicuramente rappresentata dai silicati.

Una volta che i cristalli si sono formati iniziano diversi processi che ne favoriscono la crescita in numero e dimensione. Nel primo caso si parla di produzione secondaria, dovuta alla rottura di cristalli di ghiaccio e alla rottura di gocce in fase di ghiacciamento.

La crescita dimensionale dei cristalli è, invece, dovuta innanzitutto alla diffusione. I primi cristalli che si formano si trovano infatti in un ambiente in cui la pressione di vapore è uguale o poco maggiore della pressione di vapore all'equilibrio sull'acqua.

Una nube satura d'acqua è quindi sovrassatura rispetto al ghiaccio. Finché quindi ci sono gocce disponibili ad evaporare per mantenere questi valori di sovrassaturazione, l'ambiente in nube risulterà favorevole per la crescita diffusiva e per deposizione dei cristalli di ghiaccio.

Un altro fattore di crescita è la crescita per accrescimento, cioè per cattura di altre particelle, che nel nostro caso sono le goccioline sopraffuse che ghiacciano al contatto con i cristalli ghiacciati.

Infine esiste il processo di aggregazione tra cristalli di ghiaccio che porta alla formazione dei fiocchi di neve veri e propri.

Le situazioni meteorologiche che tipicamente portano alle neviccate sulla nostra regione sono principalmente di due tipi. La prima vede la presenza di una perturbazione atlantica che entra in sede Mediterranea da Nord-Ovest. Questa situazione porta abbondanti neviccate, specie sul crinale Appenninico, ma anche su tutto l'arco Alpino. La temperatura della massa d'aria associata a tale perturbazione determinerà la quota fino a cui la precipitazione risulterà nevosa. Quando l'aria è di origine artica la neve può scendere fino in pianura.

La seconda situazione vede invece il richiamo di correnti fredde da Nord-Est, con la formazione di un minimo depressionario sull'Adriatico. Questa situazione favorisce neviccate anche a quote molto basse, a causa delle basse temperature delle masse d'aria continentale che arrivano sull'Italia, ma l'intensità di tali precipitazioni è minore che nel caso delle perturbazioni atlantiche.

2. I dati della neve

2.1 Metodi di misurazione

L'altezza della neve è misurata presso le stazioni meteorologiche poste sul territorio regionale. Queste stazioni sono generalmente dotate anche di strumenti per misurare temperatura e precipitazione.

Nelle stazioni manuali i dati sono misurati ad una certa ora fissata del giorno, generalmente le 9 del mattino, e poi trascritti nelle apposite tabelle fornite ad ogni operatore dall'ufficio idrografico (**Fig. 2.1**). In tali tabelle sono raccolti i valori massimi e minimi giornalieri di temperatura, i valori di precipitazione cumulata nelle 24 ore precedenti, e l'altezza del manto nevoso all'ora dell'osservazione. Spesso è indicato lo stato del cielo alla medesima ora e la presenza di precipitazioni o di eventi meteorologici rilevanti nel corso della giornata.

Lo strumento tradizionale di misurazione per la neve consiste di una semplice asta metrica (**Fig. 2.2**) su cui l'osservatore misura l'altezza del manto in centimetri. Queste stazioni devono essere poste in uno spazio pianeggiante, su erba, lontano da edifici e alberi, per quanto possibile, in modo che le variabili meteorologiche vengano misurate il più possibile senza influenze dell'ambiente circostante. È chiaro che anche l'asta metrica deve essere posta su una base erbosa piana, il più lontano possibile da tutto ciò che può influenzare l'accumulo e lo scioglimento naturale del manto nevoso, ad es. corpi che proiettare un'ombra.

Questo metodo di misurazione e di raccolta dei dati era in uso nell'ex Istituto Idrografico, ma è stato via via sostituito dall'utilizzo di stazioni automatiche, non più presidiate dall'osservatore.

Le considerazioni appena fatte ci fanno capire immediatamente come sia delicato trattare i dati di neve. Infatti il modo in cui tali dati sono raccolti ci impone immediatamente di escludere l'ipotesi di fare considerazioni sulla neve fresca. Questo dato non è ricavabile dai dati dell'altezza giornaliera, poiché la differenza dell'altezza della neve nei due giorni successivi è la somma di diversi processi: accumulo di neve fresca, scioglimento, compattazione della neve dovuta al suo peso, trasporto dovuto al vento....

Inoltre, siccome la densità della neve dipende dalla temperatura a cui avviene la precipitazione, non è detto che un certo accumulo corrisponda sempre alla stessa quantità di precipitazione liquida. Per valutare l'abbondanza delle nevicate potrebbe essere quindi più significativo il dato che ci dà l'equivalente in acqua delle precipitazioni nevose.

Sugli annali meteorologici, nelle tabelle che raccolgono i dati della precipitazione giornaliera è indicato, tramite un asterisco posto accanto al dato in mm di precipitazione, quando in un

108

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI

SERVIZIO IDROGRAFICO - SEZIONE AUTONOMA DI BOLOGNA

Bacino del fiume Reno

Stazione Termo Pluviometrica di

Anno 1985 Mese Gennaio

Campigna

Giorni	Ora della Osservazione	Stato della atmosfera	DIREZIONE del vento	TEMPERATURA		Ora in cui è avvenuta e durata del fenomeno	PRECIPITAZIONE ATMOSFERICA			Altezza in cm. della neve sul suolo	Osservazioni
				Massimo	Minimo		Quantità di pioggia e neve fusa				
1	2	3	4	5	6	7	litri	decilitri	Parti dell'asta	11	12
1		nebuloso	mar	5.5	7	di pomeriggio	0	3	6	52	
2		nebuloso	mar	2	7.5	di mattina			4	42	assodato
3		variabile	mar	4	9					42	
4		sereno	mar	2	10					42	
5		nebuloso	mar	3	10.5	di mattina	1	4	7	58	
6		nebuloso	mar	9	12	di mattina		2	7	60	
7		variabile	sul	11	16	di mattina		1		61	assodato
8		nebuloso	sul	11	17	di mattina	0	5	6	60	
9		nebuloso	sul mar	11	13	di mattina	1	5	6	77	
10		variabile	al mar	11	12.5	giorno intero		3	2	81	
11		sereno	mar	4	13					70	
12		sereno	mar	2	11					69	
13		nebuloso	mar	1.5	11					65	
14		nebuloso	sul	7	6.5	giorno intero	1	1	2	60	
15		nebuloso	sul	0	6	di mattina	1	4	6	68	
16		nebuloso	sul	2	2.5	di mattina	1	2	4	77	
17		nebuloso	al mar	0	3	giorno intero	2	1	2	86	
18		nebuloso	al mar	0.5	4					86	
19		variabile	al mar	1	2.5					80	assodato
20		nebuloso	sul	1.5	2.5					72	diminuito
21		nebuloso	sul	2.5	0	di pomeriggio		7	4	65	
22		nebuloso	sul	5.5	0.5	di mattina	2	1		49	
23		variabile	sul	7.5	5					15	
24		nebuloso	sul	8.5	4	di mattina		1	1	15	
25		sereno	mar	5.5	3					16	
26		nebuloso	al mar	1.5	3	di mattina		2	5	8	
27		variabile	al mar	4.5	1	di mattina	6	4	4	6	
28		sereno	sul mar	5	2					5	
29		sereno	mar	6.5	4					4	
30		sereno	mar	0.5	4.5					3	
31		sereno	al mar	8	0.5					3	

L'OSSERVATORE

Fig. 2.1 Foglio di raccolta dei dati meteorologici quotidiani relativo alla stazione di Campigna e al mese di Gennaio 1985. Nella penultima colonna i dati di altezza del manto nevoso al suolo.

determinato giorno la precipitazione è stata anche solo parzialmente nevosa. Anche qui però sorgono presto dei problemi. Poiché molti giorni sono giorni di precipitazione mista, oppure si è verificato il passaggio da precipitazione solida a liquida o viceversa, risulta impossibile sapere quanta della precipitazione indicata nel dato raccolto per quel giorno sia effettivamente caduta come neve.

In questo lavoro si valuteranno quindi soltanto i dati riguardanti l'altezza media al suolo del manto, e quelli relativi alla durata del manto stesso.



Fig. 2.2 *Asta metrica, strumento tradizionalmente utilizzato per la misura dell'altezza del manto nevoso al suolo.*

Dagli anni novanta alcune stazioni sono state automatizzate. Talvolta lo strumento per misurare la neve, se presente è stato sostituito da uno automatico. Tale strumento consta ora di un'asta collocata su una superficie piana ed erbosa, al cui termine è posto un emettitore e un rilevatore di onde a ultrasuoni. (**Fig. 2.3 e 2.4**).

Il rilevatore misura il tempo impiegato dall'onda a compiere il percorso di andata e ritorno, che è funzione della distanza percorsa, e riesce così a restituire il dato di altezza della neve. Questo nuovo tipo di strumenti presenta però nuovi problemi. Il problema principale è che non riconosce se quello che misura è effettivamente neve o qualcosa d'altro. Spesso infatti l'accumulo di foglie in autunno può dare false misure, e così pure l'erba, se non è tenuta bassa.

Questo implica la necessità di un processo di validazione dei dati, che consiste in un'analisi "a posteriori" delle osservazioni raccolte, confrontando più stazioni vicine, di cui si conosce la climatologia, per riconoscere e correggere, nei limiti del possibile, eventuali dati raccolti in modo errato.

Le immagini seguenti (**Fig. 2.3 e 2.4**) mostrano la stazione meteorologica di Ligonchio, ed è possibile così osservare alcune delle caratteristiche descritte. Nella prima immagine è possibile osservare il cerchi di erba rasata sottostante allo strumento automatico per la misura dell'altezza della neve. Da questa immagine è facile capire come l'erba possa effettivamente alterare le misure dell'altezza del manto. La seconda immagine, scattata nella stagione invernale, mette in luce un fatto importante: la stazione rileva soltanto la neve presente in prossimità dello strumento. Non è detto quindi che quando la stazione di una determinata località non rileva più neve questa sia effettivamente assente nella località.



Fig. 2.3 *Stazione meteorologica di Ligonchio durante la stagione senza neve.*



Fig. 2.4 *Stazione meteorologica di Ligonchio durante la stagione invernale.*

2.2 Elaborazione dei dati

Il lavoro compiuto sui dati per questa tesi è partito dalla scelta delle stazioni da analizzare. I criteri che hanno guidato la scelta delle stazioni, una volta che si è scelta un'area di riferimento (la parte centrale dell'Appennino Tosco-Emiliano), sono stati la consistenza dei dati nel tempo, e la significatività delle precipitazioni nevose nella stazione scelta.

Per ogni stazione considerata i dati sono stati raccolti direttamente dalle tabelle degli osservatori, per poi digitalizzarli. Per le stazioni della provincia di Bologna (Lizzano, Monteacuto Vallese, e le dighe di Brasimone e Suviana, Sasso Marconi e Riola di Vergato), i dati erano già stati digitalizzati precedentemente. Su questi dati è stato comunque fatto un controllo di consistenza e un confronto tra le stazioni per vedere se c'erano eventuali errori o dati mancanti. Questo ha portato a digitalizzare nuovamente tutta la serie di Monteacuto Vallese, che presentava numerosi errori di trascrizione dei dati.

I dati di precipitazione e temperatura erano già stati precedentemente digitalizzati, e salvati in file di testo, che riportavano solo il dato giornaliero.

Dai dati di precipitazione sono stati ottenuti i valori cumulati mensili per ogni anno utilizzando un codice FORTRAN in grado di leggere nei file i valori giornalieri. I dati mancanti sono sostituiti nel file di testo dal valore 3267.6. Il codice, leggendo tale valore, non somma il dato di quel giorno. Inoltre conta per ogni mese il numero di dati mancanti, e se questi superano il 20% del totale indica come mancante anche il dato mensile. In alcuni casi gli osservatori, quando un evento precipitativo dura per più giorni, invece di indicare quotidianamente la pioggia cumulata nelle 24 ore precedenti, indicano solo il valore cumulato totale nell'ultimo giorno in cui si è avuta pioggia. In questo caso i file di testo riportano il valore -777.7 in tutti i giorni in cui si è avuta pioggia, mentre il dato relativo al giorno successivo a questo valore è il dato di precipitazione cumulata nell'intero periodo. Il codice FORTRAN utilizzato è stato pensato per poter trattare correttamente anche questi casi.

Anche per i dati di temperatura, da cui si sono ottenuti i valori medi delle minime e delle massime per ogni mese, si è utilizzato un analogo codice FORTRAN, con lo stesso metodo di elaborazione per i dati mancanti.

Tutti i dati sono stati digitalizzati in tabelle e fogli in formato Excel, in modo che risultasse subito comodo operare su di essi per calcolare l'altezza media mensile del manto e il numero medio di giorni con presenza di manto.

Sempre grazie all'utilizzo dei codici FORTRAN appena citati, sono stati tabulati i dati del periodo 1950/2000 delle temperature minime e massime per 53 stazioni, e delle precipitazioni per 149 stazioni, le cui serie storiche sono omogenee. Questo è stato fatto allo scopo di calcolare la

media climatica delle temperature e delle precipitazioni invernali (per la stagione che va da Dicembre a Marzo e per la stagione che va da Ottobre ad Aprile), con cui si sono poi realizzate le mappe regionali usate in questa tesi.

Tutte le mappe relative alla regione Emilia-Romagna sono state realizzate utilizzando il software SURFER 8.

2.3 Problemi incontrati

Il principale problema incontrato nella digitalizzazione e nell'elaborazione dei dati è stato quello dei dati mancanti.

Infatti molte volte il dato della neve mancava, nonostante fossero presenti tutti gli altri dati. Altre volte per malfunzionamento della stazione tutti i dati mancavano, anche per interi mesi.

Nel primo caso il dato può essere recuperato in qualche modo guardando all'andamento della neve nei giorni precedenti e successivi, e guardando alla temperatura e alle condizioni meteorologiche di quei giorni. Così ad esempio, se le temperature sono basse e la neve è presente nei giorni precedenti e seguenti a quelli mancanti, allora con buona probabilità era presente anche nel giorno del dato mancante. Questo genere di ricostruzione ci permette di completare bene i dati riguardanti la presenza di neve al suolo. Più complicato invece è completare i dati di altezza media.

Infatti solo buchi di uno o due giorni possono essere chiusi senza andare ad alterare troppo le medie.

Nel caso invece dei periodi di malfunzionamento della stazione, purtroppo i dati sono del tutto irrecuperabili. In questo caso non si è nemmeno calcolato il valore annuale di altezza media e di giorni con neve per gli anni con mesi mancanti, poiché tali valori annuali sarebbero stati sbagliati, e avrebbero alterato anche i valori medi e i trend successivamente calcolati.

Un altro problema da segnalare riguarda gli operatori che invece che indicare l'altezza della neve al suolo, indicano l'altezza di neve fresca. In questo caso però diversi operatori indicano quale è l'ultimo giorno con presenza di manto al suolo. Per questi mesi così solo il dato di altezza media risulta inutilizzabile.

Altri problemi sono sorti nelle diverse elaborazioni e analisi eseguite, tra cui il principale è stato quello di individuare per ogni tipo di analisi un periodo comune per tutte le serie, che fosse statisticamente significativo e con pochi dati mancanti. Questo ha costretto a scartare per le elaborazioni che coinvolgono tutte le stazioni considerate tutti gli anni precedenti al 1950 e successivi al 2005. Siccome però le serie di Monte Cimone e Polinago hanno una copertura ancora minore, la climatologia della neve è stata elaborata per il periodo 1961/90, che è coperto da tutte le

stazioni considerate. Questo periodo è inoltre stato scelto dal WMO (Weather Meteorological Organization) come periodo di riferimento climatologico. Si è infatti scelto un periodo trentennale perché possa tenere conto della variabilità decadale delle variabili meteorologiche, e si è deciso di utilizzare sempre questo periodo per poter confrontare direttamente tutti i dati e gli studi sul clima.

Lo stesso problema è sorto anche per la climatologia delle precipitazioni e delle temperature, elaborate anch'esse nel periodo 1961/90, per coerenza con i dati della neve.

Durante l'analisi dei dati sono sorti altri problemi di consistenza, e in alcuni casi si sono scartate le serie in cui mancavano più del 20% dei dati. Questo, come si vedrà, ha comportato la possibilità di svolgere alcuni tipi di analisi soltanto su certe serie.

3. Climatologia della neve

La neve è un fenomeno atmosferico tipico dei climi più freddi, anche se, alle alte quote, la precipitazione nasce come precipitazione nevosa anche alle latitudini medio-basse.

Sono molteplici i fattori che influenzano la climatologia della neve e quelli che ne permettono l'accumulo e la conservazione al suolo dopo la sua precipitazione.

Il primo fattore che determina se la precipitazione al suolo risulterà nevosa è la temperatura media della parte bassa della troposfera. È quindi importante valutare, durante un evento precipitativo, l'altezza dello zero termico, cioè la quota in libera atmosfera a cui la temperatura scende sotto 0°C. Se questa quota risulta prossima al suolo allora la precipitazione sarà nevosa.

Proprio per questo la neve è un fenomeno tipico della stagione fredda, via via più probabile salendo di quota e aumentando la latitudine.

Possiamo così ipotizzare che, stagionalmente, l'accumulo di neve e la durata del manto al suolo ricalchino questi andamenti. In realtà però per studiare una climatologia della neve in una data zona bisogna considerare, oltre alla temperatura, anche la quantità di precipitazioni nella stagione considerata. Così abbiamo alcuni versanti delle catene montuose che, per l'abbondanza delle precipitazioni invernali, risultano più nevosi di altri, anche se caratterizzati da quote più basse. È questo ad esempio il caso delle prealpi orientali, più esposte alle correnti umide da Sud-Ovest, foriere di abbondanti precipitazioni, che ricevono mediamente più neve delle Alpi Atesine, ben più elevate e più fredde, ma con un clima più secco.

Anche l'orografia gioca un ruolo importante sulla nevosità. Innanzitutto l'orografia influenza notevolmente la piovosità per due motivi diversi:

- i versanti esposti alle correnti umide si comportano come una barriera che ne ostacola l'avanzamento. L'aria è forzata a risalire il versante della montagna, e questo porta alla condensazione del vapore acqueo in essa contenuto, e quindi alla formazione di nubi e di precipitazioni abbondanti. I versanti sottovento invece ricevono molta meno pioggia perché, superata la montagna, l'aria ha già perso buona parte del vapore che conteneva inizialmente;
- la precipitazione si forma alle quote più alte dell'atmosfera, all'interno delle nubi. Durante la caduta le gocce sono soggette all'evaporazione, specie una volta uscite dalla nube stessa, poiché incontrano un ambiente che non è più saturo di vapore. Quindi lo stesso processo precipitativo porta accumuli al suolo maggiori alle quote più alte.

Ma l'orografia influenza notevolmente anche la durata al suolo del manto. Infatti località poste in fondo valle, risultano più fredde, specie di notte, di località di crinale o di versante, a causa dei

fenomeni di inversione termica. Anche l'esposizione ai raggi solari cambia a seconda della posizione: i versanti esposti a sud ricevono molta più energia solare dei fondovalle, che a loro volta ne ricevono di più dei versanti esposti a Nord, che spesso possono rimanere in ombra fino all'inizio della primavera. È chiaro quindi che queste importanti differenze possono influire molto sui cicli di gelo e rigelo del manto, e sulla sua durata e altezza media.

Nelle località più elevate entra in gioco un ulteriore fattore: il vento e la possibilità di movimenti del manto. La neve infatti, nel corso della sua deposizione e, in misura minore, una volta caduta, è soggetta a movimenti dovuti al vento, che può provocare anche notevoli accumuli, e alla gravità che nei versanti più ripidi ne provoca la lenta discesa verso valle, discesa che, in concomitanza con altri fattori meteorologici, può essere associata anche a valanghe.

In questa sezione si illustrerà la climatologia della neve dapprima sul territorio nazionale, e poi sul territorio emiliano romagnolo, basandosi sui dati appositamente raccolti ed elaborati per questa tesi. Parlando di climatologia della neve si intende la descrizione di quelle che sono le condizioni medie, in un dato periodo di tempo, di tale variabile meteorologica in ogni località. Principalmente si parlerà di durata e altezza media del manto al suolo, ma anche di quantità media di neve fresca caduta nell'anno.

3.1 La neve in Italia

In Italia la neve è un fenomeno comune e normale su tutto il territorio nazionale, in quanto tutte le regioni presentano elevazioni montuose che possono giungere vicino ai 2000 m.

È chiaro però che ogni regione avrà un'entità e una durata diversa di tali precipitazioni.

La neve si fa vedere con una certa regolarità, nei mesi invernali, fino alle quote più basse, e non è raro avere neviccate anche abbondanti sulle pianure del Nord, le coste adriatiche e le zone interne del centro.

Le zone in cui risulta più interessante lo studio della neve sono però le zone Alpine e Appenniniche.

Osservando una mappa dell'altezza della neve si scopre come le isonife (le linee che congiungono i punti caratterizzati da uguali valori di altezza della neve fresca nell'anno) ricalchino fondamentalmente l'orografia dei rilievi: la dove le montagne sono più elevate, è maggiore la nevosità.

Alcune tabelle relative al quarantennio 1921-60, e le mappe climatologiche relative allo stesso periodo, tratte dalla pubblicazione dell'ex Istituto Idrografico e Mareografico Nazionale del 1973, aiutano a focalizzare le principali differenze tra le principali macroaree montuose dell'Italia.

È da notare che questa è l'ultima pubblicazione climatologia ufficiale a livello nazionale per quanto riguarda lo studio della neve.

Le tabelle di seguito (**Tab. 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4**) raccolgono i dati medi annuali di altezza della neve fresca e durata del manto nevoso per le varie fasce altimetriche di Alpi e Appennini, nel periodo 1921-60.

I dati sottostanti mostrano alcune importanti differenze, che si andranno a considerare tenendo presente, oltre alla mappa della nevosità, anche quella delle precipitazioni e delle temperature (**Fig. 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4** rispettivamente).

Altitudine	Alpi Occidentali	Alpi Centrali	Alpi Orientali
200	34	34	27
400	49	46	46
600	72	72	64
800	133	91	83
1000	149	147	112
1200	196	254	140
1400	270	330	190
1600	355	384	258
1800	410	471	380
2000	460	571	385
2200	529	631	500
2400	639	-	510
2600	734	-	538

Tab. 3.1 Altezza neve fresca nelle Alpi, quarantennio 1921-1960

Altitudine	App. Settentrionale	App. Centrale
200	65	35
400	89	68
600	113	103
800	142	120
1000	173	143
1200	243	183
1400	-	210

Tab. 3.2 Altezza neve fresca negli Appennini, quarantennio 1921-1960

Altitudine	Alpi Occidentali	Alpi Centrali	Alpi Orientali
200	32	16	17
400	44	25	32
600	51	42	43
800	62	58	55
1000	70	86	75
1200	99	120	97
1400	118	147	115
1600	141	162	137
1800	166	182	161
2000	186	204	180
2200	210	213	210
2400	218	-	-
2600	224	-	223

Tab. 3.3 *Durata del manto nelle Alpi, quarantennio 1921-1960*

Altitudine	App. Settentrionale	App. Centrale
200	21	9
400	31	15
600	41	24
800	49	32
1000	64	41
1200	90	64
1400	115	77
2125	-	174

Tab. 3.4 *Durata del manto negli Appennini, quarantennio 1921-1960*

La neve fresca

La **Fig. 3.1** riporta la distribuzione media annua della neve fresca a livello nazionale nel periodo 1921-60. Le **Fig. 3.3** e **Fig. 3.4** riportano rispettivamente i valori annui di precipitazione e temperature medie, sempre nello stesso periodo. A queste due ultime figure si farà più volte riferimento nel testo per confrontare la nevosità delle varie zone italiane con le altre variabili meteorologiche che la caratterizzano.

Con questo termine si intende la quantità di neve, in centimetri, che si accumula al suolo durante un evento precipitativo. I dati di neve fresca considerati in questa pubblicazione, raccolti in stazioni manuali, sono però la differenza dell'altezza del manto tra le osservazioni di due giorni successivi. Come già menzionato nel capitolo precedente questo dato non è del tutto rappresentativo della quantità di neve caduta.

La distribuzione planimetrica della neve fresca ricalca molto bene l'altimetria del territorio, e solo in parte la distribuzione delle precipitazioni. Osservando infatti l'arco alpino, si vede come, mentre i settori Orientale e Centrale ricevono la maggior quantità di pioggia nell'anno, le nevicate

risultano più abbondanti nel settore Centrale e Occidentale. La minor nevosità del settore Orientale si spiega così nella minor continentalità di questa zona, molto più vicina al mare, che porta, specie nelle Prealpi, a temperature medie più elevate. Inoltre un altro importante fattore che caratterizza la nevosità di quella zona è la sua esposizione alle correnti di scirocco. Tali correnti sono legate alla presenza di perturbazioni sul mar Tirreno. Questa condizione meteorologica è la più favorevole per le nevicite sull'arco Alpino. Le correnti sciroccali portano aria mite e umida, e quindi abbondanti precipitazioni specie sui settori centrali e orientali delle Alpi, causando però una salita delle temperature, e quindi un aumento dello zero termico sulle zone più esposte. Le Alpi Orientali ricevono quindi, in tali condizioni, meno neve che gli altri settori.

Rimanendo nelle Alpi Orientali si nota come la parte più settentrionale dell'Alto Adige non risulta più nevosa delle prealpi venete, pur essendo notevolmente più fredda. Questo perché la stagione invernale è particolarmente povera di precipitazioni nelle valli Altoatesine più settentrionali, a causa dello spessore e dell'altezza della catena alpina in questo punto, che fa sì che le perturbazioni scarichino le precipitazioni sui settori più meridionali.

I dati relativi alle quote oltre i 2400 metri richiedono considerazioni a parte. Innanzitutto le stazioni sopra questa quota sono sensibilmente meno numerose che nelle altre fasce altimetriche. Questo fa sì che il campione sia statisticamente meno significativo. Inoltre l'altezza della neve fresca dipende anche dalla densità della neve che precipita. Le basse temperature favoriscono precipitazioni nevose con densità minore. A parità di quantità di precipitazione in mm d'acqua, densità minore implica maggior altezza del manto. Questo contribuisce in parte a rendere il valore di neve fresca alle quote più alte maggiore che a quote inferiori.

Passando all'arco Appenninico le principali differenze da notare sono sui due versanti Tirrenico e Adriatico. Il versante Adriatico risulta più nevoso già a partire dal litorale, e questo sia per il minor effetto mitigatore del Mare Adriatico, che essendo più piccolo e meno profondo del Tirreno risulta anche più freddo, e sia per l'esposizione di questo versante verso Nord-Est, da dove provengono le correnti fredde continentali, principali apportatrici di nevicite sull'Appennino.

Altre differenze importanti si notano tra i settori Settentrionale e Centrale del versante Adriatico. Il versante settentrionale risulta più nevoso, almeno fino ai 1400 metri, a causa della maggior continentalità di questa zona, aperta sulla Pianura Padana, ma anche a causa della latitudine maggiore, che garantisce temperature invernali più basse e una maggior durata della stagione invernale stessa.

Infine è importante un confronto tra Alpi e Appennini. La neve fresca risulta infatti maggiore su questi ultimi, specie nella loro parte Settentrionale. Ciò è dovuto al diverso regime pluviometrico delle due catene montuose: mentre sugli Appennini la stagione fredda è anche quella caratterizzata

da precipitazioni abbondanti, sulle Alpi la stagione fredda è caratterizzata in media da precipitazioni più scarse.

La durata del manto al suolo

La **Fig. 3.2** riporta la distribuzione media annua della durata del manto nevoso, nello stesso periodo

Prima di tutto è bene ricordare che questo valore non indica il numero di giorni nell'anno in cui il suolo risulta completamente coperto da neve, ma il numero di giorni in cui al suolo, in prossimità della stazione di rilevamento, è presente neve.

La durata del manto è legata all'entità e abbondanza delle precipitazioni nevose e alla loro frequenza, nonché alla temperatura. Bisogna però dire che ai fini della persistenza del manto nevoso è proprio l'abbondanza delle precipitazioni a risultare più determinante, rispetto alla frequenza. Infatti uno strato di neve composto da molti piccoli strati dati da neviccate successive, si scioglie più velocemente che uno strato di pari altezza dato da una sola nevicata.

Un altro fattore determinante per la durata del manto è la densità della neve al suolo. Più la neve è densa e compressa e più tempo ci metterà a sciogliersi al giungere della primavera. Per questo risultano importanti le neviccate autunnali, che, nelle località più fredde, formano il primo strato di neve su cui s'accumuleranno le neviccate successive, andando a comprimere tale strato iniziale. Per questo motivo la copertura nevosa risulta più duratura dove la quantità massima di neve cade nella stagione autunnale piuttosto che nelle località dove le precipitazioni nevose sono più abbondanti in primavera.

Anche il vento è determinante, come già sottolineato, nel caratterizzare la durata del manto al suolo. Questo risulterà tanto più vero quanto più saliamo con la quota, dove si è più esposti alle correnti.

La mappa e le tabelle con i dati relativi alla durata del manto nevoso mettono in luce la dipendenza di tale variabile dalla quota e dalla continentalità del clima. Così ancora una volta notiamo sull'Appennino settentrionale il manto nevoso è più duraturo che sull'Appennino Centrale, mentre sulle Prealpi ha durata minore che nelle zone alpine più interne. La durata del manto è però anche in relazione stretta con la quantità di neve fresca caduta, come mostrano gli alti valori delle Alpi Centrali. Anche per quanto riguarda la durata del manto il versante Adriatico risulta più favorevole alla neve che quello Tirrenico, per le considerazioni già fatte.

Infine è bene ricordare che sulla durata del manto influisce anche l'esposizione: i versanti esposti a Nord presentano un manto più persistente che i versanti esposti a Sud, a parità di quota. La

differenza tra i versanti della Valtellina, la principale valle alpina con andamento E-O, mette in luce proprio questo aspetto.

Questi dati climatologici sono, come detto, relativi al quarantennio 1921-60. Ci si può aspettare che le cose siano cambiate negli ultimi anni, col mutare delle condizioni meteorologiche tipiche della stagione invernale. Non di rado infatti, nei recenti inverni, si è assistito a lunghi periodi di scarso innevamento sulle Alpi Occidentali, e ad abbondanti precipitazioni nevose sull'Appennino Centrale.

Infine è da ricordare l'ultimo inverno, il 2008/2009, che ha visto eccezionali precipitazioni nevose su tutto l'arco Alpino ed Appenninico.

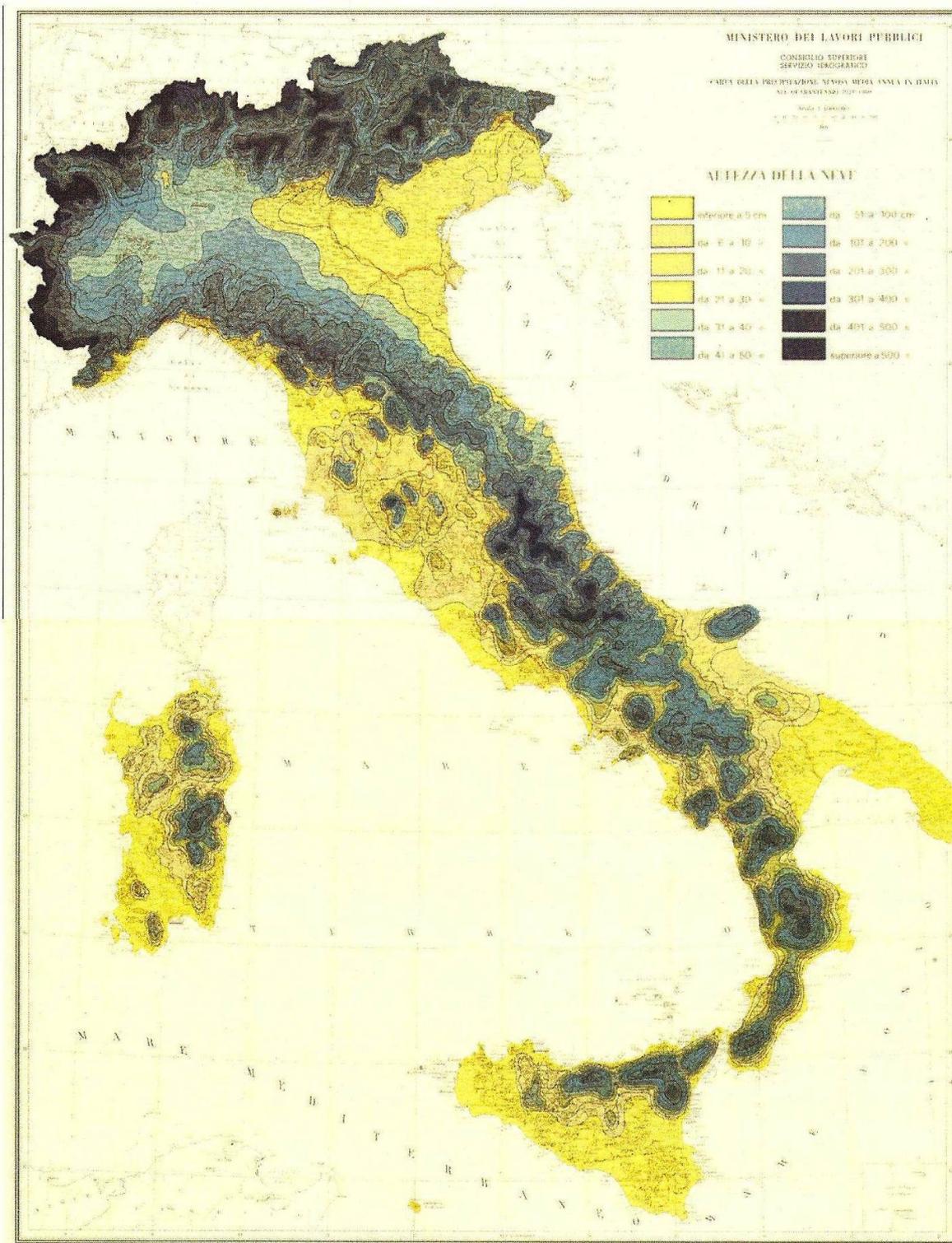


Fig. 3.1 *Mappa della precipitazione nevosa media annua nel periodo 1921-1960*

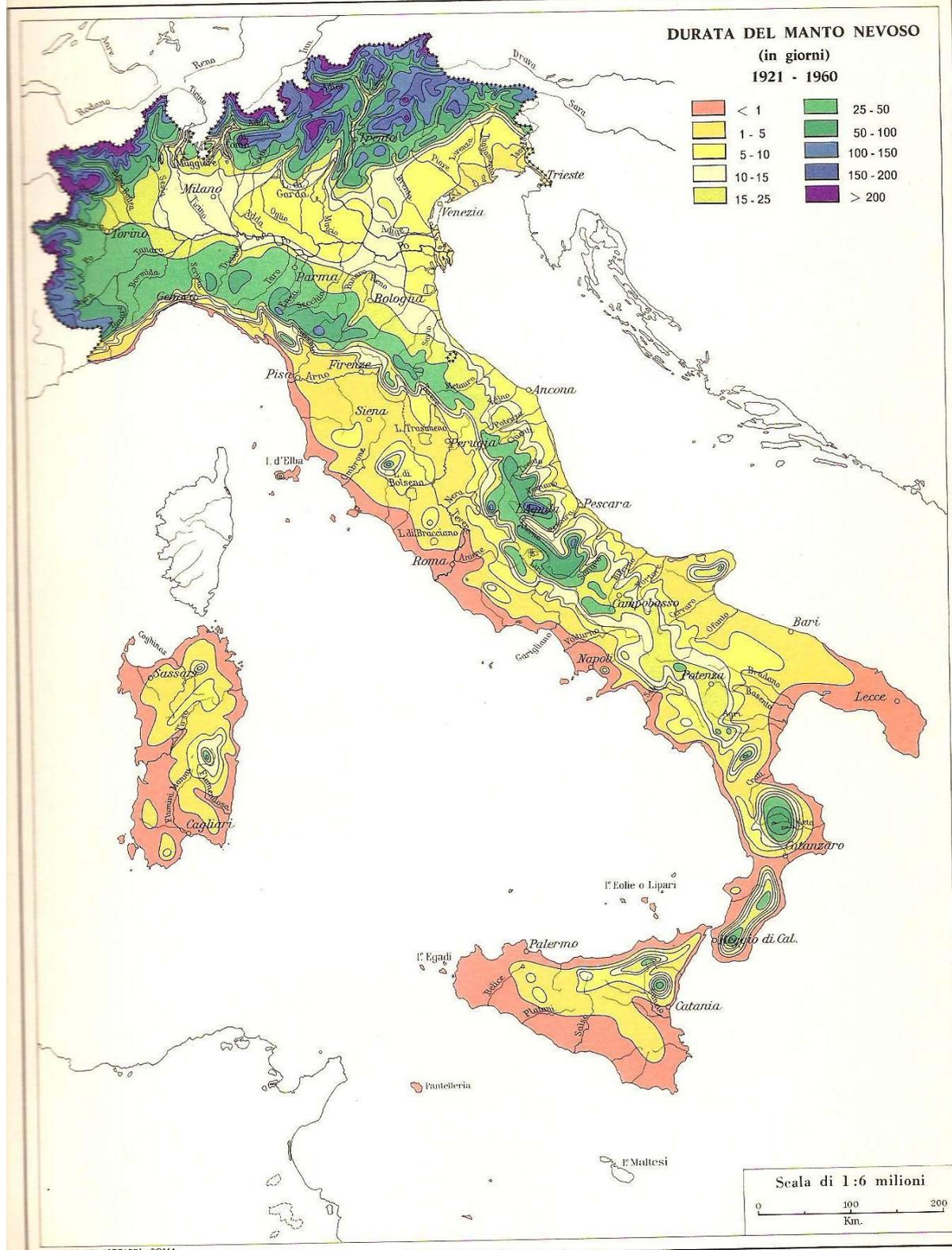


Fig. 3.2 Mappa durata del manto nevoso nel periodo 1921-1960



Fig. 3.3 Mappa della precipitazione media annua nel periodo 1921-1960

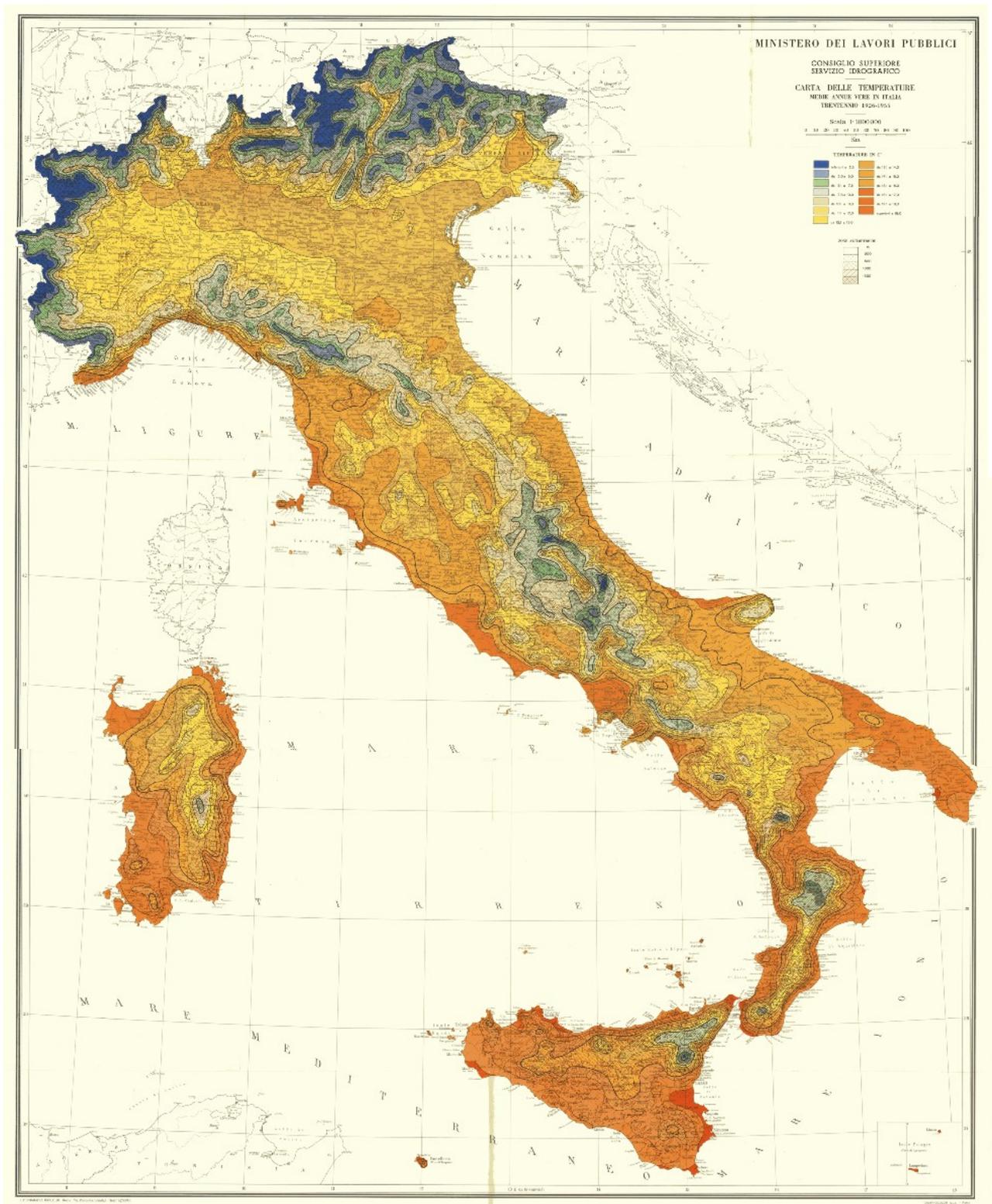


Fig. 3.4 *Mappa della temperatura media annua nel periodo 1921-1960*

3.2 La neve in Emilia Romagna

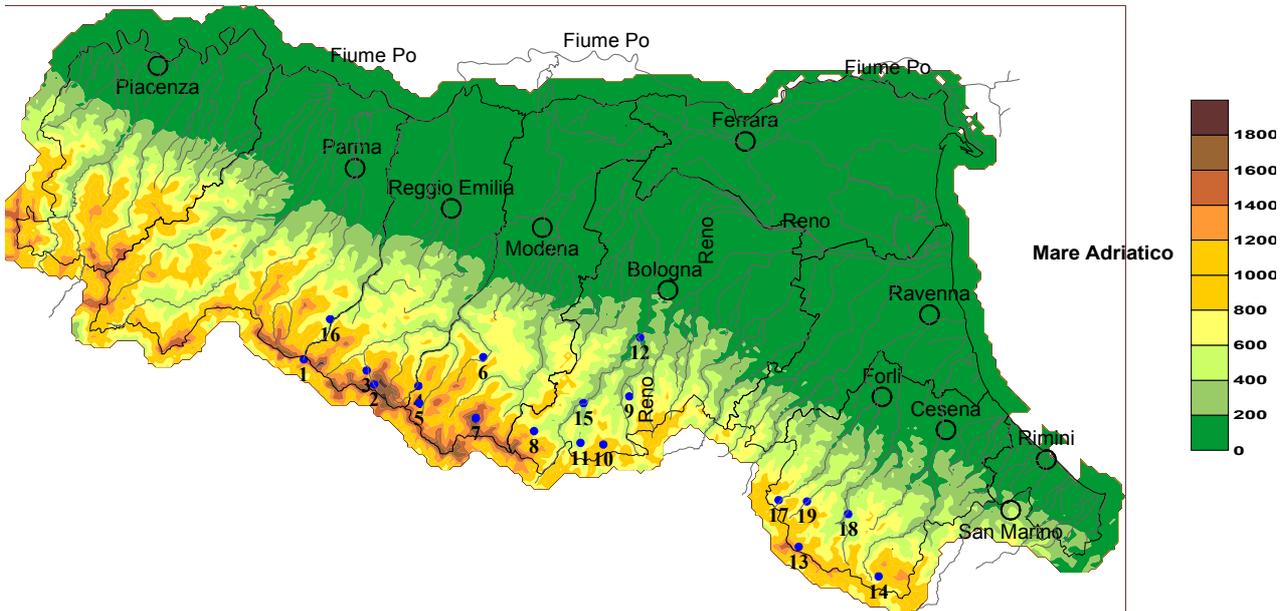


Fig. 3.5 *Mappa delle stazioni considerate*

La **Fig. 3.5** presenta la distribuzione delle stazioni locali nel territorio regionale dell'Emilia-Romagna, sulle quali è stato basato il presente studio climatologico. La **Tab. 3.5** invece presenta un elenco delle stazioni con le loro principali caratteristiche di anagrafia geografica.

Come si può ben vedere dalla mappa le stazioni scelte coprono una zona dell'Appennino Settentrionale compresa tra il fiume Enza e il fiume Savio. Si tratta quindi della parte centrale dell'Appennino Emiliano, e della parte più settentrionale dell'Appennino Romagnolo. Inoltre si vede come 12 stazioni su 19 sono allineate sullo spartiacque. Questa considerazione è importante perché proprio sullo spartiacque si trovano i principali rilievi dell'Appennino, e quindi proprio qui si trovano le località più nevose. Le due stazioni di Polinago (6) nel Modenese e Montecatino Vallese (9) nel Bolognese, così come Selvanizza (16) nel Reggiano e Premilcuore (19) nel Forlivese trovandosi nella fascia collinare lontano dai rilievi più alti, ci permettono invece di avere un'idea di come sia, mediamente, la copertura nevosa in questa parte dei rilievi della regione, che ne rappresentano poi la parte maggiore in termini di superficie.

Le stazioni di Riola di Vergato (15) e Santa Sofia (18) sono rappresentative delle valli appenniniche, lontano dalla pianura. Infine alcune indicazioni possono derivare dall'analisi dei dati della stazione di Sasso Marconi (12), la meno elevata del gruppo, che si trova in valle del Reno, vicino al suo sbocco in pianura. La nevosità di quest'ultima stazione non è tanto diversa da quella

della zona pedecollinare della regione Emilia-Romagna, e permette così di avere un'idea della nevosità a quote basse.

La scelta delle stazioni è stata dettata, oltre che dalla loro localizzazione geografica (si sono scelte stazioni dove la copertura nevosa nel corso dell'anno fosse significativa), dalla qualità delle serie. Questo ha portato a scartare numerose stazioni, anche poste a quote elevate, caratterizzate da bassa qualità dei dati per la maggior parte in termini di continuità della rilevazione del dato relativo alla neve.

Nome Stazione	UTMX	UTMY	Quota	Codice Identificativo	Bacino	Numero in Mappa
Paduli Diga	590825	4911110	1151	5831	Enza	1
Ozola Diga	609309	4904453	1220	2945	Secchia	2
Ligonchio	607336	4908160	900	8254	Secchia	3
Fontanaluccia Diga	620921	4904064	745	5891	Secchia	4
Piandelagotti	621169	4899528	1219	8255	Secchia	5
Polinago	637963	4911696	754	5849	Secchia	6
Monte Cimone AM	636031	4895586	2165	5869	Panaro	7
Lizzano in Belvedere	651294	4892150	640	5662	Reno	8
Monteacuto Vallese	676304	4901309	660	5633	Reno	9
Diga del Brasimone	669507	4888588	846	5648	Reno	10
Diga del Suviana	663509	4889032	500	5650	Reno	11
Sasso Marconi	679142	4916908	105	4799	Reno	12
Campigna	720812	4861546	1068	8286	Fiumi Uniti	13
Verghereto	741792	4853713	798	8287	Savio	14
Riola di Vergato	664280	4899547	256	8264	Reno	15
Selvanizza Centrale	597749	4921719	474	5776	Enza	16
San Benedetto in Alpe	715547	4873893	585	8283	Fiumi Uniti	17
Santa Sofia	733791	4870219	290	4797	Fiumi Uniti	18
Premilcuore	722976	4873541	452	5603	Fiumi Uniti	19

Tab. 3.5 *Elenco delle stazioni meteorologiche utilizzate per le elaborazioni dei dati della neve*

Di seguito si riportano le tabelle (**Tab 3.6** e **3.7**) che riassumono per ogni stazione le caratteristiche geografiche e i dati medi relativi alla neve calcolati per il periodo in cui la stazione ha registrato dati. Le tabelle **3.8** e **3.9** riportano inoltre i dati di temperatura media, sia massima che minima, mensile e annuale, e i dati di precipitazione cumulata, per le varie stazioni. I dati di temperatura delle stazioni di Monteacuto Vallese (9), Lizzano in Belvedere (8) e della Diga del Brasimone (10), Riola di Vergato (15), Sasso Marconi (12), Selvanizza (16), Santa Sofia (18), San Benedetto in Alpe (17) e Premilcuore (19), mancano. Nelle tabelle sottostanti il numero mensile di giorni con neve al suolo è stato normalizzato a 30. Questo permette un confronto più diretto tra i dati di ogni mese.

Stazione	a	s	o	n	d	g	f	m	a	m	g	l	Anno	Dm	Oa
Brasimone	0,0	0,0	0,0	3,0	10,9	13,3	13,4	8,2	1,4	0,0	0,0	0,0	50,7	46,2	50,7
Campigna	0,0	0,0	0,1	4,4	12,4	15,8	14,9	13,4	3,2	0,1	0,0	0,0	64,9	57,1	64,8
Fontanaluccia	0,0	0,0	0,2	3,0	10,6	14,9	12,9	8,3	1,0	0,0	0,0	0,0	51,3	47,1	51,3
Ligonchio	0,0	0,0	0,1	4,2	11,8	17,9	16,6	13,8	2,5	0,0	0,0	0,0	67,4	60,6	67,4
Lizzano	0,0	0,0	0,0	2,0	7,6	11,6	10,4	6,1	0,7	0,0	0,0	0,0	38,7	36,0	38,7
M.te Cimone	0,0	0,8	4,5	20,8	29,4	28,8	30,0	30,0	29,5	25,9	6,0	0,1	207,9	119,3	174,3
Monteacuto V.	0,0	0,0	0,0	2,2	6,4	9,4	7,2	4,0	0,4	0,0	0,0	0,0	29,9	27,3	29,9
Ozola	0,0	0,0	0,7	7,4	18,8	24,7	26,2	25,3	20,1	7,8	1,6	0,0	133,6	95,7	124,0
Paduli	0,0	0,0	0,4	6,4	17,7	23,0	25,8	25,1	18,5	1,5	0,0	0,0	119,2	92,2	117,6
Piandelagotti	0,0	0,0	0,6	6,0	15,8	21,1	23,0	19,2	9,4	0,5	0,0	0,0	96,2	79,5	95,6
Polinago	0,0	0,0	0,0	3,3	10,5	15,5	11,1	7,8	1,7	0,0	0,0	0,0	50,4	45,4	50,4
Premilcuore	0,0	0,0	0,0	1,7	6,6	8,1	6,5	3,2	0,3	0,0	0,0	0,0	26,7	24,7	26,7
Riola di Vergato	0,0	0,0	0,0	1,2	3,5	6,1	3,0	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	14,9	13,6	14,9
San Benedetto in Alpe	0,0	0,0	0,0	1,5	5,5	6,2	5,4	2,0	0,2	0,0	0,0	0,0	20,9	19,2	20,9
Santa Sofia	0,0	0,0	0,0	1,4	6,8	9,2	4,5	2,2	0,2	0,0	0,0	0,0	24,6	22,9	24,6
Sasso Marconi	0,0	0,0	0,0	1,0	4,0	6,9	2,9	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0	14,9	16,0
Selvanizza	0,0	0,0	0,0	1,4	6,4	11,5	6,9	4,2	0,1	0,0	0,0	0,0	30,9	29,4	30,9
Suviana	0,0	0,0	0,0	1,7	6,0	9,7	8,9	4,8	0,4	0,0	0,0	0,0	31,8	29,6	31,8
Verghereto	0,0	0,0	0,0	2,8	9,1	9,4	8,7	5,2	1,3	0,0	0,0	0,0	36,7	32,6	36,7

Tab. 3.6 Numero di giorni di manto mensili e per le stazioni considerate. Le ultime colonne sono i dati annuali e relativi al periodo Dicembre-Marzo e Ottobre-Aprile. I dati sono relativi al periodo 1961/1990

Stazione	a	s	o	n	d	g	f	m	a	m	g	l	Anno	Dm	Oa
Brasimone	0,0	0,0	0,0	1,7	6,8	11,1	9,4	5,9	0,4	0,0	0,0	0,0	2,9	7,3	5,0
Campigna	0,0	0,0	0,0	3,0	10,6	16,3	15,3	13,8	1,2	0,0	0,0	0,0	5,0	14,0	8,6
Fontanaluccia	0,0	0,0	0,0	2,2	6,7	11,2	10,8	5,6	0,3	0,0	0,0	0,0	3,1	8,6	5,3
Ligonchio	0,0	0,0	0,0	3,2	8,0	14,4	16,6	12,2	0,9	0,0	0,0	0,0	4,6	12,8	7,9
Lizzano	0,0	0,0	0,0	1,7	4,9	9,9	8,3	4,4	0,2	0,0	0,0	0,0	2,4	6,9	4,2
M.te Cimone	0,0	0,1	1,4	12,2	43,7	84,6	128,5	160,3	138,5	56,0	5,7	0,0	52,6	104,3	81,3
Monteacuto V.	0,0	0,0	0,0	1,7	4,1	6,9	4,7	1,9	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6	4,4	2,8
Ozola	0,0	0,0	0,1	7,1	23,6	42,0	58,1	67,6	30,2	8,1	0,8	0,0	19,8	47,8	32,7
Paduli	0,0	0,0	0,1	4,9	20,7	39,3	57,2	54,2	19,2	0,7	0,0	0,0	16,4	42,8	27,9
Piandelagotti	0,0	0,0	0,1	3,2	12,5	25,1	27,3	25,7	4,4	0,1	0,0	0,0	8,2	22,6	14,0
Polinago	0,0	0,0	0,0	2,2	6,6	9,5	7,2	5,2	0,5	0,0	0,0	0,0	2,6	7,1	4,5
Premilcuore	0,0	0,0	0,0	1,4	4,6	6,3	3,4	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	4,0	2,5
Riola di Vergato	0,0	0,0	0,0	0,5	1,8	3,6	1,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,9	1,2
San Benedetto in Alpe	0,0	0,0	0,0	1,2	4,2	4,4	3,3	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	1,2	3,2	2,0
Santa Sofia	0,0	0,0	0,0	0,9	4,2	6,0	1,9	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	3,3	2,0
Sasso Marconi	0,0	0,0	0,0	0,3	1,4	3,2	1,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,5	0,9
Selvanizza	0,0	0,0	0,0	0,4	3,8	8,4	6,2	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	5,1	3,0
Suviana	0,0	0,0	0,0	1,0	4,4	6,4	5,8	2,2	0,1	0,0	0,0	0,0	1,7	4,7	2,8
Verghereto	0,0	0,0	0,0	1,4	6,4	6,5	6,7	3,8	0,3	0,0	0,0	0,0	2,1	5,8	3,6

Tab. 3.7 Altezza media del manto mensile per le stazioni considerate. Le ultime colonne sono i dati annuali e relativi al periodo Dicembre-Marzo e Ottobre-Aprile. I dati sono relativi al periodo 1961/1990

Questi dati permettono di vedere come è distribuita la copertura nevosa nella parte centrale del versante settentrionale dell'Appennino tosco-emiliano. I dati riguardano diverse località, poste a quote diverse, in situazioni orografiche diverse (alcune in valle, altre in quota) e in posizioni geografiche diverse. Le **Fig. 3.6, 3.7, 3.8, e 3.9** mostrano le mappe delle temperature e delle precipitazioni regionali.

Ora si cercherà di verificare l'influenza dei fattori già ampiamente descritti in precedenza sulla climatologia della neve di queste stazioni. Innanzitutto si vede che il primo fattore che influenza la neve è la quota. Al crescere della quota cresce sia il numero di giorni con neve, che l'altezza media del manto. Questo perché la quota influenza sia le temperature che la quantità di precipitazioni: quote più elevate significano temperature più basse, quindi maggiore probabilità di avere precipitazione nevosa, e una maggior permanenza di questa al suolo. Quote più elevate risultano però essere anche più piovose, e questo significa che quando si verificano precipitazioni nevose, queste risultano più abbondanti che alle quote sottostanti.

Oltre ai dati di durata del manto e di altezza media di ogni singolo mese, con la quota cambia anche il mese che presenta più giorni di neve e quello di massima altezza del manto. Mentre sul Monte Cimone (7) Marzo è il mese con la massima altezza, via via che scendiamo di quota, il mese più nevoso diventa Febbraio. Sotto i 900 metri di quota Febbraio e Gennaio presentano pressappoco gli stessi valori, mentre in tutte le stazioni sotto gli 800 metri il mese più nevoso è Gennaio. La stazione di Verghereto (14) mostra invece altezze medie simili in tutti e tre i mesi più freddi. È interessante notare come nelle stazioni di San Benedetto in Alpe, Premilcuore e Santa Sofia risulti più nevoso (in termini di altezza media del manto) il mese di Dicembre rispetto a Febbraio, che risulta invece il secondo mese più nevoso nelle stazioni emiliane.

Il motivo di questo andamento deve essere cercato nel clima di ogni località. Il massimo di neve al suolo in Marzo per il Monte Cimone (7) si spiega con il clima freddo di questa località, con temperature medie sotto zero sia nei valori minimi che nei massimi fino a Marzo. Questo permette alla neve di accumularsi per tutti i mesi invernali, finché l'aumento delle temperature in primavera non ne favorisce uno scioglimento più rapido. Inoltre è da notare che il Monte Cimone è l'unica stazione che presenta nevicate significative nei mesi autunnali, e valori di altezza del manto significativi fino a Giugno.

Scendendo di quota il clima si fa meno freddo, e la stagione invernale diventa più corta. Così il mese con più neve diventa Febbraio, e Gennaio nelle stazioni alle quote più basse.

Interessante è notare anche la differenza tra stazioni poste circa alla stessa quota. Questo ci permette di focalizzare l'attenzione su altri fattori che abbiamo detto influenzare la neve, come le diverse localizzazioni orografiche.

Confrontando le stazioni di Piandelagotti (5) e Ozola (2), poste entrambe a poco più di 1200 metri, si osservano notevoli differenze dell'altezza media del manto. Ozola (2) presenta un massimo d'altezza del manto in Febbraio, con 50,5 cm, mentre Piandelagotti ne ha 26,1. Anche il numero di giorni di permanenza del manto è sensibilmente inferiore a Piandelagotti (5) (31 in meno in un anno). Queste differenze sono dovute a due fattori derivanti dalla localizzazione delle stazioni. Ozola (2) è infatti situata in valle, circondata da monti che sfiorano i 2000 metri. Piandelagotti (5) si trova invece in costa, e con esposizione verso Sud. Questo fa di Ozola una località più fredda, come si può vedere anche dalla tabella 3.8, che permette così una maggior durata del manto nevoso. Ozola è anche più piovosa di Piandelagotti, così che le nevicate vi risulteranno più copiose.

Un altro importante fattore è l'esposizione solare. L'influenza di questo fattore si nota bene nei mesi primaverili, dove le differenze nei giorni di permanenza e nell'altezza del manto tra le due località si accentuano. In questi mesi il sole è più alto e cede al suolo più energia di quanto faccia in inverno.

Anche per le stazioni di Fontanaluccia (4), Polinago (6) e Brasimone (10) possiamo fare simili considerazioni, osservando però differenze meno significative che nel caso precedente, se non che la quantità di neve che cade al Brasimone (10) è più elevata di quella che cade a Polinago (6), posto pressoché alla stessa quota. Riguardo a Polinago si può osservare che la quantità di neve al suolo risulta pari a quella mediamente presente a Lizzano in Belvedere (8), nonostante questa ultima località sia situata ad una quota inferiore. Questo può spiegarsi a causa della maggior piovosità di Lizzano (5662), ma molto probabilmente anche a causa delle diverse esposizioni delle due località.

Ancora interessante è il confronto tra Montecatino Vallese (9) e Lizzano in Belvedere (8), entrambe nell'Appennino Bolognese, e a quote simili. Lizzano risulta avere circa 10 giorni di manto in più, e una maggior altezza media del manto. Le ragioni di questa differenza possono essere ancora cercate nell'orografia, ma non più nella differenza valle-crinale, essendo entrambe due stazioni non di valle. Piuttosto è da considerare l'esposizione diversa delle due località, che vede Lizzano con esposizione verso Nord, mentre Montecatino, trovandosi su un colle, è pienamente esposto. Questo può spiegare perché le principali differenze tra le due località sono nei mesi invernali (particolarmente Gennaio e Febbraio), e ancora perché il mese più nevoso a Montecatino sia Gennaio e non Febbraio. Anche nel confronto tra queste due stazioni influisce certamente la diversità di precipitazioni nelle due località. Lizzano infatti ha precipitazioni più abbondanti che Montecatino, anche in virtù della sua vicinanza alle vette più elevate e allo spartiacque. Infine notiamo come la nevosità di Montecatino sia simile a quella del Lago di Suviana (11), che si trova 150 metri di quota più in basso.

Osservando le tabelle 3.8 e 3.9, che contengono i dati di temperatura e precipitazione media e

mensile delle varie località, si può avere riscontro di quanto detto finora. In particolare si vede bene come le temperature minime e massime invernali siano minori nelle località di valle (Ozola (2), Lago Paduli (1) e Fontanaluccia (4)), rispetto alle località di costa o di crinale poste a quote simili. Inoltre le mappe in **Fig. 3.8** e **3.9** mostrano come le temperature calino, oltre che con la quota, anche allontanandosi dal mare, e questo sia sulla pianura che sulla montagna.

Dai dati di pioggia risulta evidente come la vicinanza allo spartiacque e la quota siano fattori determinanti per precipitazioni abbondanti. Le mappe delle precipitazioni in **Fig. 3.6** e **3.7** evidenziano precipitazioni invernali più abbondanti sul settore occidentale della regione, un netto aumento della piovosità al crescere della quota e all'avvicinarsi al crinale appenninico.

Tornando ai dati della neve, i valori delle ultime due colonne nelle **Tab. 3.6** e **3.7** mostrano i dati di numero di giorni di manto e altezza media relativi alla sola stagione invernale. La prima colonna in particolare è relativa ai mesi prettamente invernali (Dicembre, Gennaio, Febbraio e Marzo), mentre la seconda considera anche i mesi dell'autunno (Ottobre e Novembre) e Aprile.

È interessante notare come la differenza tra numero di giorni di manto nel periodo Ottobre-Aprile e nel periodo Dicembre-Marzo, cala con la quota, evidenziando una maggior lunghezza della stagione invernale alle alte quote. Questo dato rappresenta il numero di giorni di neve fuori dalla stagione invernale. È interessante notare che le stazioni poste in quota, come Piandelagotti (5) e Campigna (13) presentano un minor numero di giorni con neve fuori dalla stagione invernale rispetto alle stazioni poste nella stessa fascia altimetrica, ma in località di valle. Questo si può spiegare con la maggior esposizione ai raggi solari di queste località. Per le stazioni nella fascia altimetrica 700/800 metri non si apprezzano differenze significative nel numero di giorni di neve fuori dalla stagione invernale. La stazione di Sasso Marconi (12) indica un solo giorno di neve al suolo al di fuori dei mesi invernali.

Confrontando le stazioni di Riola di Vergato (15) e Sasso Marconi, entrambe nella valle del Reno, non si notano differenze significative, nonostante Riola sia collocata più in alto (256 metri contro i 105 di Sasso) e in posizione più interna rispetto alla pianura. Questo è indice di una certa uniformità climatica di questo fondovalle.

Infine si nota un certo salto superando i 1000 metri di quota. La differenza di nevosità tra Ligonchio (3) e Lago Paduli (1), la cui differenza di quota è di 200 metri, risulta infatti maggiore rispetto a quella che si rileva ad esempio tra Ligonchio e Fontanaluccia (4) o Lizzano (8). Sembra quindi che la nevosità sul nostro Appennino aumenti sensibilmente oltre ai 1000/1100 metri di quota rispetto alle quote inferiori. Questo aumento risulta però meno evidente nella parte Romagnola.

Passando ad osservare più attentamente i dati relativi alle stazioni della Romagna si osserva

come questa regione risulti meno nevosa, a parità di quota, dell'Emilia.

La stazione di Campigna (13), posta a 1068 metri di quota registra mediamente 64,9 giorni di neve in un anno, dato confrontabile con quello della stazione di Ligonchio (3), che si trova a 900 metri. Il dato di Campigna risulta poi decisamente lontano da quello registrato dalla stazione di Lago Paduli, posta a 1151 metri slm (119,2 giorni di neve). Inoltre la stazione di Campigna, pur essendo come detto oltre ai 1000 metri di quota, vede Gennaio come mese più nevoso, con un'altezza media del manto di 16,3 cm.

La stazione di Verghereto (14) (798 metri slm) registra 36,7 giorni di neve, come Lizzano in Belvedere (8), che si trova però a 640 metri. Le stazioni di Polinago (6) e Fontanaluccia (4), che si trovano a quote non distanti da quella della stazione di Verghereto, registrano rispettivamente 50,4 e 51,3 giorni di neve, mostrando così un maggior innevamento rispetto alla stazione di Verghereto. L'altezza media del manto a Verghereto pure è minore delle stazioni già citate, e nel mese di Gennaio è confrontabile con quello registrato al Suviana.

Le stazioni di Premilcuore (19) e San Benedetto in Alpe (17), mostrano pure esse valori di neve minori di quelli registrati nella zona emiliana. Premilcuore, a 452 metri slm, registra 26,7 giorni di neve, mentre San Benedetto ne registra 20,9, e si trova a 585 metri. Le stazioni Emiliane che si trovano tra i 400 e i 600 metri di quota presentano invece mediamente più di 30 giorni di neve. È interessante notare anche come San Benedetto, pur trovandosi più in alto di Premilcuore, presenti meno neve, nonostante precipitazioni invernali più abbondanti. Anche Santa Sofia (18), a 290 metri, presenta più giorni di neve che San Benedetto, per la precisione 24,6. anche osservando i dati dell'altezza del manto si nota come Santa Sofia sia più nevosa di San Benedetto nel mese di Gennaio, mentre presenta gli stessi valori medi nel periodo Dicembre-Marzo e nel periodo Ottobre-Aprile. Queste differenze sono motivate da differenti microclimi. Santa Sofia si trova infatti in fondovalle, e quindi in una zona probabilmente molto fredda nei mesi invernali.

Quest'ultima stazione si trova ad una quota simile a quella di Riola di Vergato, nella valle del Reno, ma risulta decisamente più nevosa, visto che i giorni con neve a Riola sono 14,9, a conferma del microclima invernale di Santa Sofia.

Questa differenza nella climatologia della neve tra Emilia e Romagna può essere spiegata dalla diversa distanza dal mare. L'Emilia, più lontana dal mare, ne sente meno l'influenza, rispetto alla Romagna. Questo favorisce inverni più freddi sull'Emilia, anche sulla pianura, come si può osservare dalle mappe. Inoltre anche le precipitazioni invernali risultano più abbondanti sull'Emilia che sulla Romagna. È infine da ricordare che la zona orientale della regione risulta maggiormente esposta alle correnti meridionali. Conseguentemente durante le fasi perturbate si avrà qui una quota

dello zero termico mediamente più elevata che sulla parte occidentale della regione. Si vedrà di seguito in questa tesi che la precipitazione e la nevosità sono correlate con la variabilità climatica a larga scala. In particolare sono l'Oscillazione Nord Atlantica (NAO) ed il Pattern Scandinavo (SCA) ad influenzare maggiormente il clima nella zona Mediterranea. Uno studio sulle precipitazioni sull'Emilia-Romagna ha evidenziato come il primo di questi modi di variabilità sia maggiormente correlato con le precipitazioni invernali su tutto il territorio. Il secondo modo di variabilità non presenta invece correlazioni significative sulla Romagna. Il motivo di ciò è proprio dato dalle caratteristiche del Pattern Scandinavo che, durante le fasi positive dell'indice che lo rappresenta, favorisce episodi perturbati sulla nostra regione, ma con la presenza di correnti miti Sud-Orientali, che provocano quindi un innalzamento della quota della neve sulla Romagna.

Si potrebbe ora verificare se queste stazioni hanno valori che rientrano nella tabella 4, relativa alla durata del manto nevoso media nell'Appennino Settentrionale per il quarantennio 1921-1960.

Partendo dalle stazioni poste più in alto, tralasciando il Monte Cimone a causa della mancanza di un riferimento per quote oltre ai 1400 metri in tale periodo, vediamo subito che Ozola (1220 m; 116,9 gg) e Lago Paduli (1139 m; 110,4) presentano una durata del manto sensibilmente maggiore di quella indicata per la quota 1200 m (90 gg). Piandelagotti (1209 m) invece ha una durata leggermente inferiore: 86,9 giorni.

Ligonchio, che si trova a più di 900 metri, presenta un valore di 56,2 giorni, che è a metà strada tra i valori calcolati per le quote di 800 e 1000 metri.

Le stazioni poste intorno agli 800 metri di quota presentano valori vicini a quello di riferimento, che è di 49 giorni: Fontanaluccia ne ha 50,6 gg, Polinago 46,3 gg, e il Lago di Brasiamone 48,2 gg.

Lizzano (37,8 gg) e Monteacuto (28,6 gg) presentano entrambe valori più bassi del riferimento per i 600 metri di quota (41 gg). Infine anche il lago Suviana presenta un valore piuttosto basso, pari a 28,5 giorni, che risulta minore del riferimento per i 400 metri di quota, mentre questa località si trova a 500 m.

Per le stazioni della Romagna si osserva che Campigna mostra valori confrontabili con i valori di riferimento per i 1000 metri di quota. La stazione di Verghereto mostra invece valori decisamente più bassi di quelli di riferimento per l'Appennino settentrionale (49 gg), e vicini però a quelli relativi all'Appennino Centrale (32 gg). Anche San Benedetto in Alpe (20,9 giorni) è in linea con il valore relativo all'Appennino centrale. Si potrebbe quindi pensare che la Romagna sia già una zona di transizione tra due diversi tipi di clima invernale.

Questo confronto mette in evidenza come le climatologie relative ai periodi 1921-60 e 1961-90 siano confrontabili. Le differenze tra i valori delle due climatologie riscontrate in alcune località

emiliane sono riconducibili al particolare microclima di queste località. Le differenze riscontrate nelle località romagnole sono invece dovute ad un diverso tipo di clima che caratterizza questa zona, rendendola più simile (climatologicamente) all'Appennino Centrale che all'Appennino Settentrionale.

Le figure in conclusione a questo capitolo riportano la distribuzione delle precipitazioni sul territorio regionale nel periodo Dicembre-Marzo (**Fig. 3.6**) e Ottobre-Aprile (**Fig. 3.7**), i valori medi delle temperature giornaliere (**Fig. 3.8** nel periodo Dicembre-Marzo e **Fig. 3.9** nel periodo Ottobre-Aprile), i valori del numero di giorni con presenza al suolo del manto nevoso (**Fig. 3.10**) e altezza media del manto nevoso stesso (**Fig. 3.11**) nella sola stagione Dicembre-Marzo. Tutte queste mappe si riferiscono al periodo 1961-90. Per costruire la mappa di precipitazione sono state utilizzate 149 stazioni, per costruire quella delle temperature 53.

Le conclusioni che si sono tratte nel capitolo sulla climatologia della neve sul territorio nazionale, si possono trarre anche sul territorio regionale, e ancora una volta si può osservare dalle mappe in **Fig. 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10** e **3.11** come la mappa della nevosità coincida oltre che con quella dell'orografia, anche con quella delle precipitazioni invernali e delle temperature invernali.

Si può quindi qui ribadire che la neve è influenzata dal regime pluviometrico invernale e dalle temperature medie invernali. È ancora influenzata dalla quota e dalla continentalità del clima. Nella regione Emilia Romagna quindi la neve risulta mediamente più abbondante avanzando da Est verso Ovest (allontanandosi quindi dal mare), e avanzando dalla pianura verso il crinale (quota più elevata e maggiore piovosità). Si è vista essere determinante anche la disposizione orografica delle località. A parità di tutte le altre condizioni risultano più favorevoli alla permanenza al suolo della neve le località poste in fondovalle rispetto a quelle poste in quota.

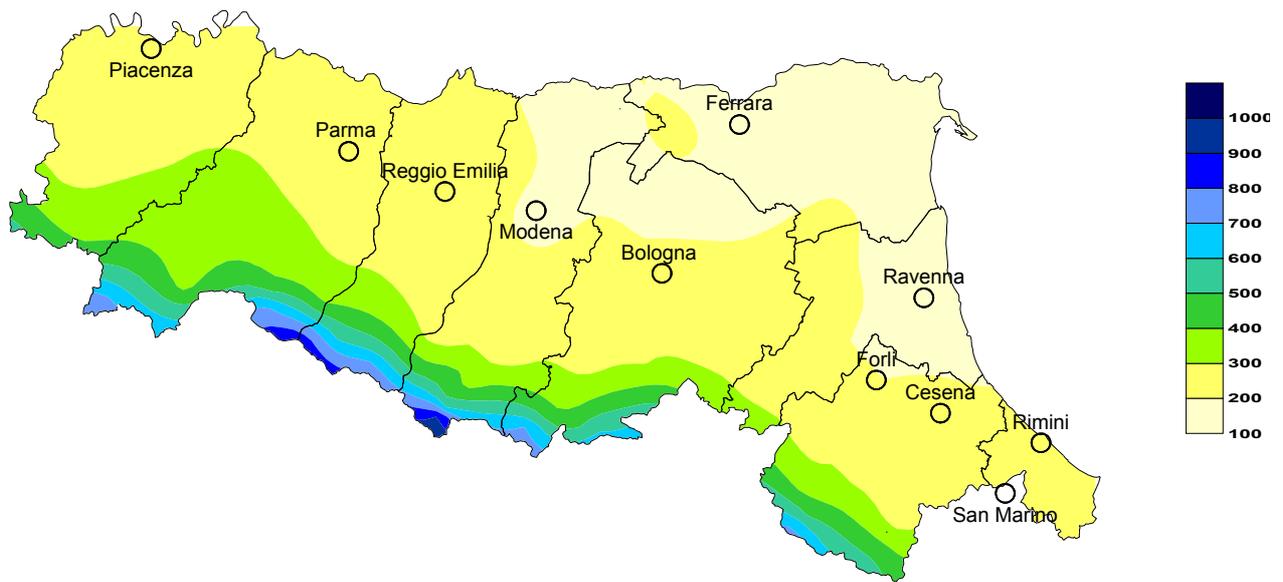


Fig. 3.6 *Mappa delle precipitazioni regionali nei mesi Dicembre-Marzo*

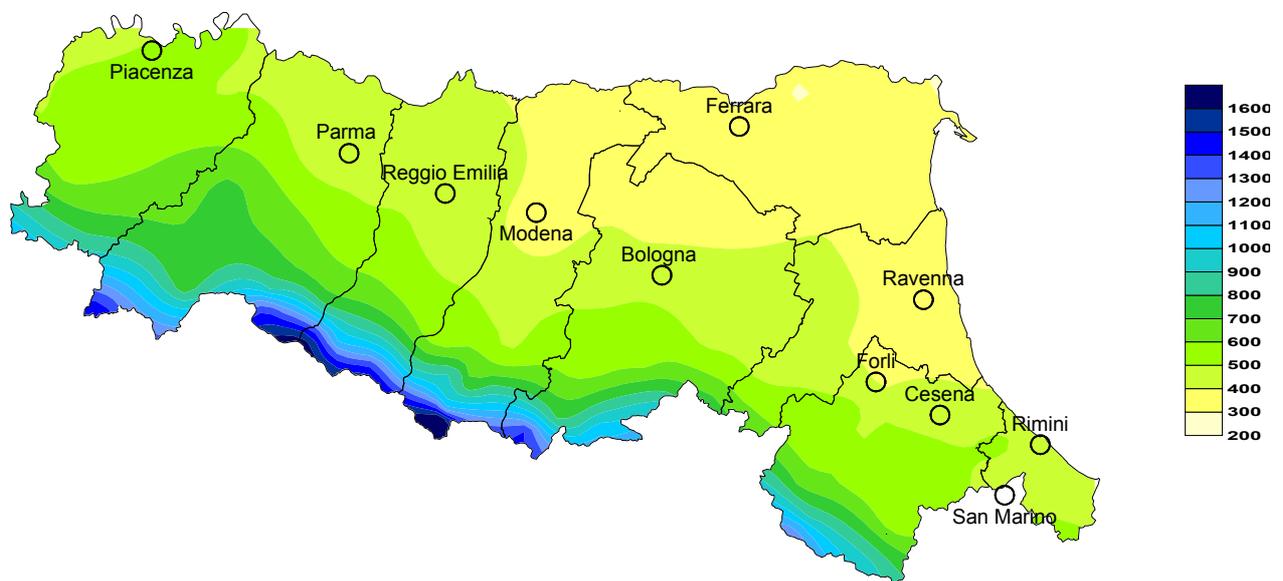


Fig. 3.7 *Mappa delle precipitazioni regionali nei mesi Ottobre-Aprile*

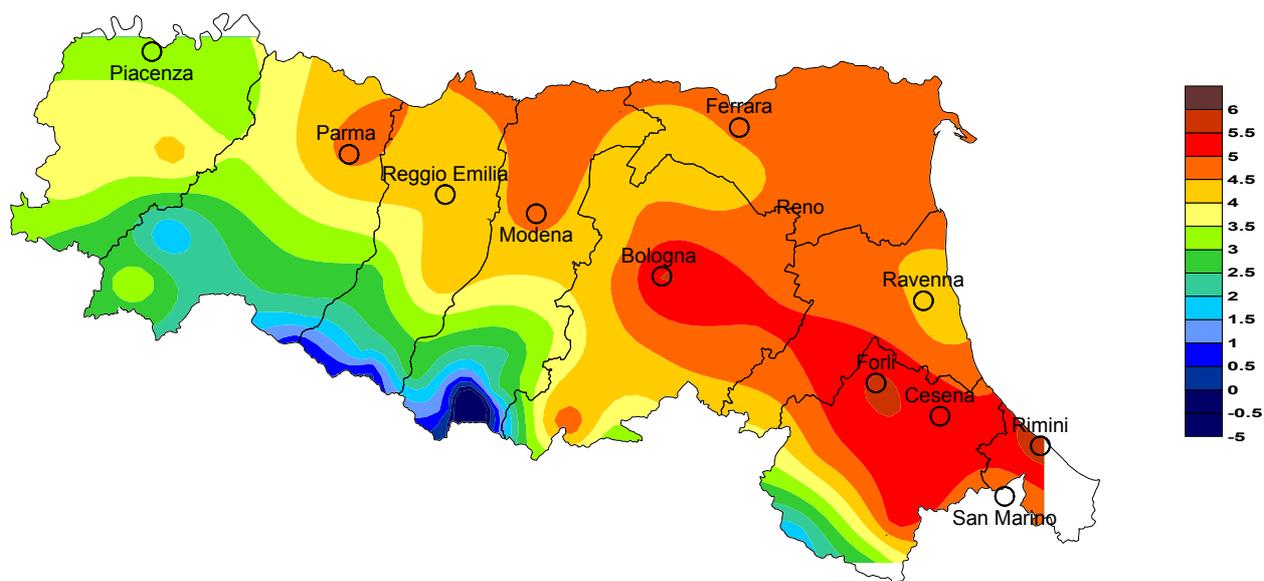


Fig. 3.8 *Mappa delle temperature medie regionali nei mesi Dicembre-Marzo*

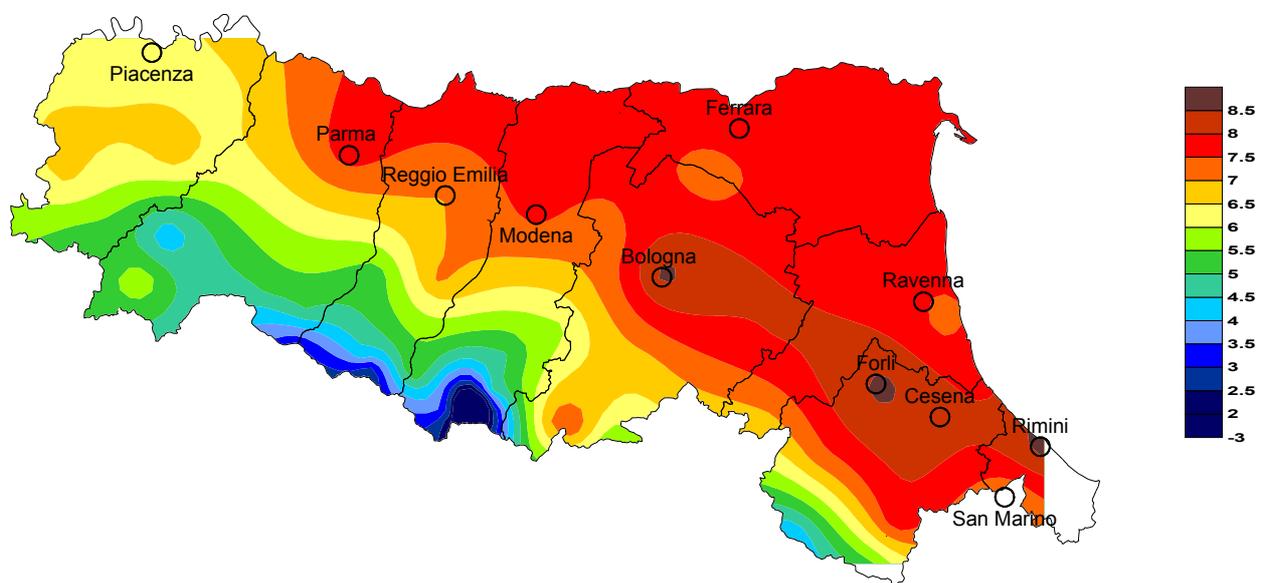


Fig. 3.9 *Mappa delle temperature medie regionali nei mesi Ottobre-Aprile*

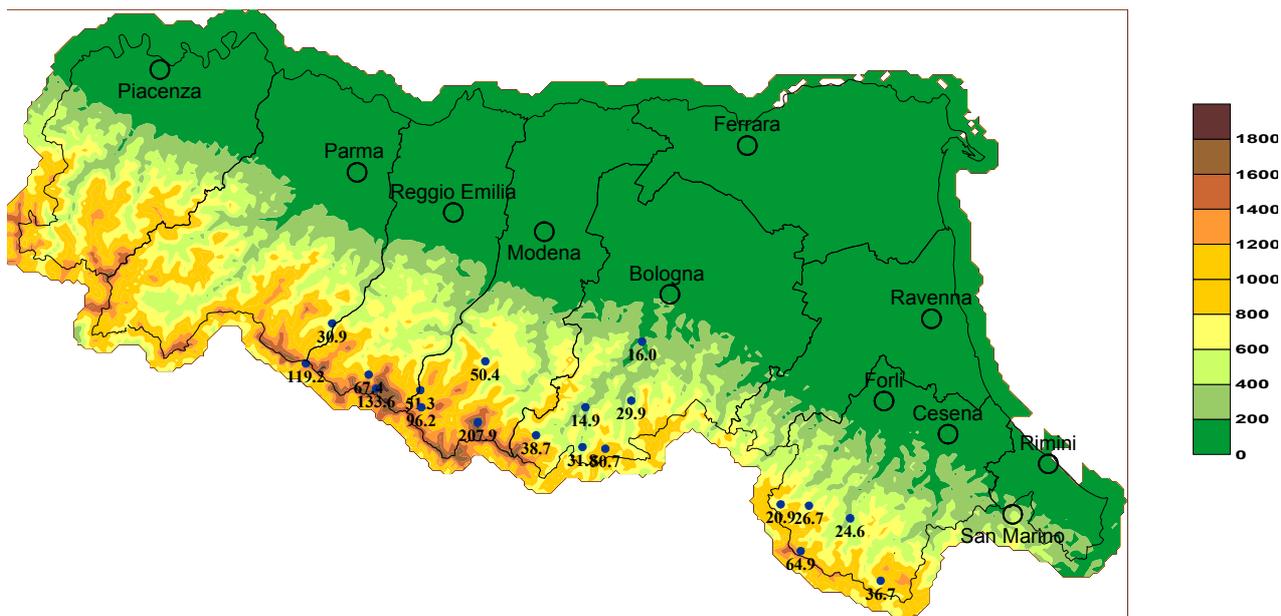


Fig. 3.10 *Mappa del numero di giorni annuali con neve al suolo per le singole stazioni*

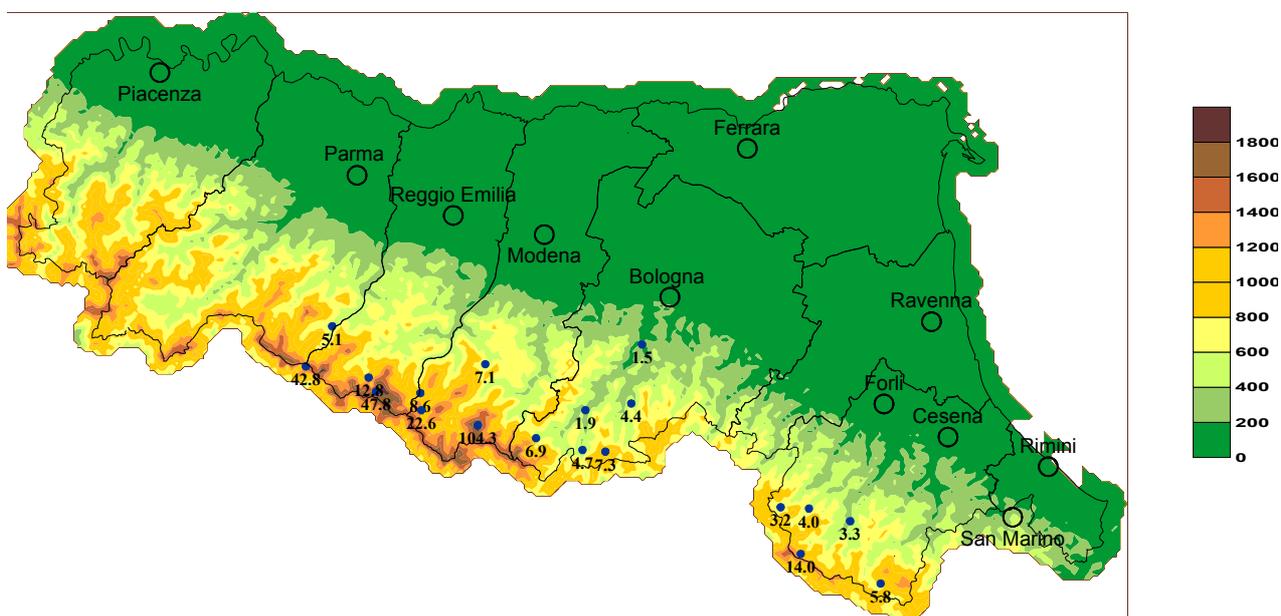


Fig. 3.11 *Mappa dell'altezza media del manto nevoso nelle singole stazioni per la stagione Dicembre-Marzo*

Stazione	a	s	o	n	d	g	f	m	a	m	g	l	Anno	Dm	Oa
Campigna	21,5	17,9	13,1	7,7	4,2	3,1	3,5	5,9	9,6	14,5	18,2	21,6	11,7	4,2	6,7
	13,4	10,8	6,9	2,5	-0,8	-1,9	-1,7	0,2	3,3	7,5	11,0	13,7	5,4	-1,1	1,2
	17,4	14,4	10,0	5,1	1,7	0,6	0,9	3,0	6,5	11,0	14,6	17,6	8,6	1,6	4,0
Fontanaluccia	25,1	20,9	14,8	9,1	5,3	4,6	6,4	9,7	13,4	18,0	22,6	26,0	14,7	6,5	9,1
	14,3	11,4	7,3	2,9	-0,7	-2,0	-0,9	1,4	5,3	9,0	12,4	14,8	6,3	-0,5	1,9
	19,7	16,2	11,1	6,0	2,3	1,3	2,8	5,6	9,4	13,5	17,5	20,4	10,5	3,0	5,5
Ligonchio	21,4	18,0	13,2	7,9	4,2	3,4	4,6	7,2	10,4	14,9	18,9	22,2	12,2	4,8	7,3
	13,1	10,4	6,6	2,3	-0,8	-2,1	-1,7	0,5	3,7	7,6	11,0	13,6	5,3	-1,0	1,2
	17,3	14,2	9,9	5,1	1,7	0,6	1,5	3,8	7,1	11,2	15,0	17,9	8,8	1,9	4,2
M.te Cimone	12,7	9,9	6,1	1,5	-0,9	-2,2	-2,5	-1,1	1,1	5,4	9,6	13,0	4,4	-1,7	0,3
	7,8	5,2	1,8	-2,6	-5,3	-6,5	-6,7	-5,3	-2,8	1,2	4,9	8,1	0,0	-5,9	-3,9
	10,2	7,6	3,9	-0,5	-3,1	-4,4	-4,6	-3,2	-0,9	3,3	7,2	10,5	2,2	-3,8	-1,8
Ozola	17,3	14,1	10,3	5,7	2,4	1,6	2,5	4,2	7,5	11,5	14,8	17,9	9,1	2,7	4,9
	10,7	8,2	4,9	0,9	-2,0	-3,2	-3,1	-1,4	1,8	5,4	8,7	11,1	3,5	-2,4	-0,3
	14,0	11,1	7,6	3,3	0,2	-0,8	-0,3	1,4	4,6	8,5	11,8	14,5	6,3	0,1	2,3
Paduli	19,2	15,7	11,3	6,2	2,7	1,5	2,0	4,9	8,4	12,8	16,3	19,5	10,0	2,8	5,3
	12,7	10,1	6,5	1,8	-1,8	-3,1	-2,9	-0,7	2,7	6,9	10,1	13,0	4,6	-2,1	0,4
	16,0	12,9	8,9	4,0	0,5	-0,8	-0,5	2,1	5,6	9,8	13,2	16,2	7,3	0,3	2,8
Polinago	22,4	19,2	14,2	9,6	6,5	5,6	6,3	9,2	12,8	16,5	20,2	23,3	13,8	6,9	9,2
	15,2	12,4	8,0	3,4	0,1	-1,2	-0,5	2,0	5,3	9,2	13,1	15,8	6,9	0,1	2,5
	18,8	15,8	11,1	6,5	3,3	2,2	2,9	5,6	9,1	12,9	16,6	19,6	10,4	3,5	5,8
Suviana	27,4	23,7	18,6	12,1	8,3	7,3	8,8	11,7	15,6	20,0	23,5	27,4	17,0	9,0	11,8
	14,7	12,1	8,4	3,7	0,2	-1,1	0,0	2,3	5,6	9,3	12,7	15,0	6,9	0,4	2,7
	21,1	17,9	13,5	7,9	4,3	3,1	4,4	7,0	10,6	14,6	18,1	21,2	12,0	4,7	7,3
Verghereto	24,7	20,7	15,3	9,6	5,5	4,3	5,3	8,3	12,2	17,3	21,3	25,0	14,1	5,8	8,6
	14,5	11,7	7,9	3,5	-0,2	-1,3	-0,6	1,4	4,5	8,6	12,1	14,7	6,4	-0,2	2,2
	19,6	16,2	11,6	6,5	2,7	1,5	2,3	4,8	8,3	12,9	16,7	19,8	10,3	2,8	5,4

Tab. 3.8 Temperature medie mensili e annuali nel periodo 1961/90: in rosso la media delle massime, in blu la media delle minime, in nero la media

Stazione	a	s	o	n	d	g	f	m	a	m	g	l	Anno	Dm	Oa
Brasimone	75,0	110,2	147,0	205,8	154,8	151,0	127,6	147,9	133,6	90,0	85,6	55,8	1484,1	581,2	1067,6
Campigna	100,1	129,5	171,1	236,6	209,8	180,4	167,0	176,5	161,8	130,2	110,9	73,7	1847,4	733,6	1303,1
Fontanaluccia	75,4	98,1	131,5	171,7	126,3	117,0	102,0	124,6	117,3	94,0	79,9	59,9	1297,7	469,9	890,4
Ligonchio	94,9	119,9	177,4	233,2	184,0	171,2	137,3	149,5	157,9	122,0	92,0	63,1	1702,4	642,0	1210,5
Lizzano	84,6	108,5	157,6	214,5	155,4	145,6	118,9	126,3	136,3	105,3	92,2	66,9	1512,1	546,2	1054,6
Monteacuto V.	75,3	88,7	96,0	133,3	94,6	84,4	78,1	90,0	97,6	73,6	76,7	52,5	1040,9	347,2	674,1
Ozola	111,2	144,3	215,2	276,6	210,4	207,0	154,7	188,6	196,3	168,2	121,7	75,2	2069,3	760,7	1448,8
Paduli	127,6	191,3	265,4	295,9	241,9	250,4	193,9	216,4	222,3	176,9	146,1	84,8	2412,9	902,7	1686,3
Piandelagotti	82,2	124,5	170,4	222,2	172,7	160,5	120,3	137,2	149,7	129,1	86,9	51,7	1607,2	590,6	1132,9
Polinago	87,3	85,1	93,0	107,7	78,3	68,6	60,8	82,3	88,4	83,6	73,0	55,3	963,4	289,9	579,0
Premilcuore	70,3	86,3	92,2	133,1	100,0	84,6	80,4	93,7	96,3	77,9	72,1	50,0	1036,8	358,6	680,2
Riola di Vergato	68,1	86,8	95,8	122,1	87,7	75,9	72,9	83,7	89,7	69,3	67,8	52,8	972,6	320,3	627,8
San Benedetto in Alpe	81,3	93,6	112,5	172,7	138,5	117,8	104,7	115,4	117,6	93,2	76,3	58,4	1282,0	476,4	879,2
Santa Sofia	75,5	87,8	87,6	138,1	104,3	85,6	72,3	98,7	91,7	74,8	79,1	60,2	1055,7	360,9	678,2
Sasso Marconi	58,6	72,0	76,8	100,1	76,5	56,9	53,2	75,2	80,5	68,0	55,8	51,3	824,9	261,7	519,1
Selvanizza Centrale	82,6	93,9	118,5	145,5	104,8	94,2	76,1	99,8	100,5	81,5	74,3	47,8	1119,4	374,8	739,3
Suviana	69,6	96,7	122,7	172,8	127,0	120,8	102,7	115,3	107,0	80,8	74,9	51,5	1241,9	465,9	868,3
Verghereto	67,8	84,6	114,5	172,6	146,2	115,4	110,4	119,2	110,1	92,5	87,3	54,8	1275,3	491,1	888,4

Tab. 3.9 Precipitazioni mensili e annuali nel periodo 1961/90

4. Indici climatici

Gli indici climatici sono indici sintetici che permettono di descrivere la variabilità temporale dei principali fenomeni climatici di larga scala. Spesso sono funzioni semplici di medie areali di valori mensili di variabili meteorologiche.

Le aree usate per la loro definizione sono caratterizzate dalla presenza di determinate anomalie di circolazione globale che influenzano il clima non solo locale, ma anche a larga scala (cioè su scale superiori ai 1000 km).

I valori degli indici utilizzati in questo lavoro sono stati scaricati dal sito web del servizio meteorologico americano (NOAA), dove sono raccolti i valori medi mensili dei principali indici (a partire dal gennaio 1950). Ogni indice può essere calcolato in diversi modi. A volte un indice può essere calcolato direttamente dalle variabili meteorologiche osservate in superficie (quali pressione atmosferica, precipitazione e temperatura), il che apre la via alla possibilità di avere una serie dell'indice che si spinga fino alla fine del XIX secolo, periodo in cui iniziano ad essere raccolti con continuità i valori delle principali variabili meteorologiche. Un altro modo per calcolare un indice può essere quello di partire dai dati di rianalisi, e calcolarlo utilizzando i dai valori di geopotenziale a 500 hPa. I dati di rianalisi NCEP/NCAR qui utilizzati sono stati ottenuti avvicinando il più possibile le soluzioni del modello globale americano a tutte le osservazioni disponibili sul periodo dal 1948 fino ad oggi (Kalnay et al., 1996; Kistler et al., 2001).

I dati forniti dalla NOAA e utilizzati in questo lavoro sono calcolati in questo secondo modo, e questo spiega perché la rianalisi comincia a partire dal 1950, perché solo a partire da quell'anno sono disponibili dati meteo sufficienti per calcolare una analisi globale. In particolare è stata applicata mese per mese nell'intera serie storica una analisi delle componenti principali ruotate alle anomalie di Z500 mensili seguendo il metodo descritto nell'articolo di Barnston and Livezey (1987)

Gli indici considerati in questo lavoro sono l'indice dell' Oscillazione Nord Atlantica (NAO), l'indice del Pattern Scandinavo (SCA), e l'indice dell' El Niño Southern Oscillation (ENSO).

4.1 NAO

L'Oscillazione Nord Atlantica (NAO), è il più importante fenomeno climatico a larga scala che influenza il clima sulla regione Euro-Atlantica specie nel periodo invernale. Le figure bariche che dominano il Nord Atlantico vedono la presenza di un anticiclone sulle Azzorre, e una bassa pressione sull'Islanda. Queste due figure determinano, con la loro posizione e la loro intensità, la posizione e l'intensità delle correnti a getto in alta troposfera sulla zona del Nord Atlantico, e di

conseguenza influenzano pure il clima Europeo e Mediterraneo.

L'indice di NAO misura l'intensità e la fase in cui si trova mediamente tale oscillazione in ogni mese.

Dal momento che l'intensità e la posizione della bassa pressione e dell'alta pressione non rimangono fisse, l'indice NAO può essere anche calcolata a partire dalla differenza tra i valori di pressione fra i due centri di azione. Così, se la differenza si accentua, e le due figure sono entrambe più intense, cosicché le correnti da Ovest saranno più intense, con una traiettoria più settentrionale poco soggetta a deviazioni, così che, giunte sul continente, continueranno a viaggiare verso Est, influenzando il clima dell'Europa Settentrionale con abbondanti precipitazioni, mentre il Mediterraneo risulterà avere un clima mite e poco piovoso.

Al contrario, se l'indice è negativo, le correnti da ovest tendono a portarsi più a Sud, scendendo nell'area Mediterranea, caratterizzandone il clima con piogge abbondanti e temperature più basse.

È interessante capire quale influenza ha questo indice climatico sulla nevosità in Italia, e specialmente sull'Appennino Settentrionale. Come risulterà successivamente dall'analisi dei dati, la presenza di un indice NAO negativo è favorevole ad abbondanti precipitazioni nevose sugli Appennini, specie alle quote più elevate. Un valore positivo dell'indice risulta invece sfavorevole alle nevicate. Si può poi dedurre che un' analoga influenza sia riscontrabile anche sull'arco Alpino, per quello che precedentemente si è detto descrivendo la climatologia della neve in Italia.

Nel seguito si mostrerà che l'influenza di questo indice sulla nostra regione cresce con la quota, ed è massima per il Monte Cimone.

4.2 SCA

Il Pattern Scandinavo (SCA) è un'altra oscillazione climatica molto importante per determinare il clima sull'Europa. Questo indice misura la differenza dei valori barici tra la zona scandinava e l'Europa meridionale, ed è in grado di fornirci indicazioni sugli scambi meridionali di masse d'aria tra queste due zone.

Valori positivi di questo indice indicano valori di pressione più elevati sulla Scandinavia, e la presenza di una depressione sull'Europa Meridionale. Questa disposizione delle figure bariche favorisce la discesa di masse d'aria fredda dalla regione Scandinava verso il Mediterraneo Occidentale, e il richiamo di aria più calda nel Nord-Est dell'Europa. Viceversa, valori negativi sono indicativi della presenza di un'alta pressione in sede Mediterranea.

Per quanto riguarda la situazione meteorologica sulla regione Emilia-Romagna, la presenza di un indice SCA positivo risulta favorevole per le nevicate su tutto l'arco Appenninico, specie nel

settore Occidentale. Il settore Orientale dell'Appennino, a causa della sua diretta esposizione alle correnti umide e miti da Sud-Est, risulterà meno favorito per ricevere nevicate durante gli eventi di SCA positivo, specie alle quote più basse. Viceversa valori negativi dell'indice invece portano condizioni sfavorevoli per le nevicate in Appennino poiché associate ad un calo delle precipitazioni e a condizioni di clima secco.

4.3 ENSO

Questo indice è rappresentativo dell'oscillazione climatica forse più famosa: il fenomeno del Niño, che è in grado di influenzare il clima su scala planetaria.

Questa oscillazione è un'oscillazione accoppiata tra Oceano e Atmosfera, caratterizzata dalla periodica variazione di temperatura delle acque superficiali del Pacifico orientale, che influiscono poi sulla circolazione atmosferica tra le isole dell'Oceania e le coste Orientali del Pacifico.

La circolazione atmosferica sul Pacifico equatoriale è caratterizzata dalla circolazione di Walker. Essa consiste nella salita di aria calda nella zona Indonesiana. Questa aria, salendo alle alte quote della troposfera, è costretta a divergere, dividendosi in due rami, uno che si spinge verso Ovest, e uno che si spinge verso Est. Il ramo Orientale, in corrispondenza delle coste Sud Americane, tende poi a scendere e, raggiunto il suolo, a divergere originando così gli Alisei sul Pacifico, i venti da Est caratteristici di questa zona. Tali venti chiudono la circolazione di Walker.

Questa circolazione atmosferica è mantenuta e a sua volta mantiene la circolazione Oceanica che vede, in condizioni normali, la presenza di acqua superficiale calda nella zona indonesiana. Quest'acqua calda viene spinta qui proprio dagli Alisei. In corrispondenza delle coste Sud Americane, una circolazione di questo tipo, causa il richiamo verso l'alto delle acque profonde dell'oceano, molto più fredde delle acque superficiali circostanti.

L'oscillazione climatica si manifesta periodicamente con l'inversione degli Alisei, che modificano la circolazione di Walker e causano il riaggiustamento delle temperature oceaniche. L'inversione degli Alisei non permette più l'accumulo di acqua calda nella zona indonesiana, così che si crea un'onda oceanica superficiale che si sposta verso Est lungo l'equatore. Quest'onda, giunta sulle coste del Sud America, in parte viene riflessa indietro, in parte si divide dirigendosi verso Nord e verso Sud. Il risultato è che le acque in prossimità del Sud America risultano più calde, e la circolazione di Walker vedrà le correnti ascensionali in questa zona. Questo fenomeno è chiamato comunemente El Niño.

Gli effetti di queste correnti in condizioni climatologiche sono abbondanti precipitazioni convettive sull'Indonesia, con associati bassi valori di pressione, e tempo secco sulle coste Sud

Americane dove è presente invece un'alta pressione. Durante gli eventi de El Niño, invece, un'anomalia positiva della temperatura interessa le acque superficiali del Pacifico equatoriale presso le coste americane. Questa anomalia porta a precipitazioni meno intense nell'area indonesiana, e ad un incremento delle precipitazioni sull'America. Al contrario, durante gli eventi di Niña, la circolazione di Walker risulta rafforzata, e si accentua quindi la piovosità sull'Indonesia, mentre non piove sulle coste Sud Americane.

L'indice, in questo caso, è calcolato come differenza di pressione tra Tahiti e Darwin, opportunamente normalizzato, ma può essere calcolato anche a partire dalla temperatura delle acque superficiali del pacifico.

L'influenza di questa oscillazione climatica si estende a gran parte del globo con intensità varia.

Nel seguito verrà indagata la significatività dell'influenza di questo fenomeno sulla variabilità interannuale della neve nella regione Emilia-Romagna.

5. Test di Mann-Kendall

Ogni trend necessita di un controllo che ne verifichi la significatività, che permetta cioè di affermare che esso non sia dovuto esclusivamente a fluttuazioni stocastiche delle variabili, ma anche alla loro variazione in una direzione privilegiata.

Il test utilizzato nel presente lavoro per controllare la significatività dei trend è il test di Mann-Kendall (M. Cannarozzo et al., 2006). Questo test è non parametrico, cioè un test utilizzabile senza fare assunzioni sulla forma della distribuzione dei dati di partenza. Nelle presenti applicazioni, l'ipotesi nulla del test afferma che nei dati non è presente alcun trend, mentre l'ipotesi alternativa indica la presenza di un trend, che può essere di crescita o di decrescita.

Il primo passo per l'applicazione del test è il calcolo della statistica del test, indicata con S , che si calcola a partire dai dati della serie in esame tramite la formula:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(y_j - y_i)$$

dove $j > i$ sempre, n è il numero di dati della serie in esame, y_i sono i singoli dati della serie, e la funzione $\text{sign}(x)$ assume i seguenti valori:

- 1 se $x > 0$;
- -1 se $x < 0$;
- 0 se $x = 0$.

Assumendo che i dati y_i siano indipendenti e identicamente distribuiti, che abbiano cioè tutti quanti la medesima distribuzione statistica, per un numero di dati $n > 8$, la statistica S che è calcolata dal test risulta ben interpretata da una distribuzione normale, con media 0 e varianza pari a:

$$\sigma^2 = n(n-1)(2n+5)/18$$

di conseguenza è possibile definire la statistica del test standardizzata Z , che assume i seguenti valori:

- $Z = (S-1)/\sigma$ se $S > 0$;
- $Z = 0$ se $S = 0$;
- $Z = (S+1)/\sigma$ se $S < 0$.

Ora quest'ultima distribuzione è confrontata con una distribuzione normale standardizzata al livello di confidenza prefissato. Nell'analisi dei dati che segue il livello di confidenza utilizzato è al

95%. Questo significa che l'ipotesi nulla è accettata, quindi non ho un trend significativo nei dati in esame, se il valore della statistica Z è minore di $\alpha=1.96$. Viceversa, se la statistica Z risulta maggiore di questa soglia, si ha nei dati la presenza di un trend significativo, il cui segno è determinato dal segno della stessa variabile statistica Z .

Il test di Mann-Kendall in questo lavoro è stato calcolato grazie al software matematico MATLAB 7. In appendice è presente il codice utilizzato.

6. Analisi dei dati

6.1 Analisi generale delle serie con i dati della neve nel periodo 1951/2000

La prima parte dell'analisi dei dati della neve è stata svolta considerando i dati medi di alcune delle stazioni. Tutti i grafici presenti in questo capitolo rappresentano i valori medi stagionali delle variabili considerate. Sono calcolati mediando per ogni inverno il valore delle singole stazioni normalizzato rispetto alla varianza.

Per i dati della neve sono state utilizzate le stazioni di Fontanaluccia, Lago Paduli, Piandelagotti, Lago Brasimone, Monteacuto Vallese, Lizzano in Belvedere e Riola per l'Emilia, Premilcuore, Campigna, Verghereto e Santa Sofia per la Romagna. Le altre stazioni sono state scartate perché non coprono interamente il periodo di tempo analizzato, o perché hanno troppi dati mancanti. Infatti, dal momento che per calcolare il trend si è dovuto sostituire per ogni dato mancante il valore medio del periodo, è evidente che troppi dati mancanti alterano il valore del trend, così come la mancanza di più di due anni di dati ad inizio o fine serie.

Tra le 11 stazioni appena elencate non si è potuta usare la stazione di Piandelagotti per i dati di temperatura e precipitazioni perché presenta più del 20% dei dati mancanti. Le serie delle temperature esistono solo per le stazioni di Fontanaluccia, Lago Paduli, Campigna e Verghereto.

Nel seguito l'analisi verrà eseguita indipendentemente su due periodi: la stagione più direttamente invernale da Dicembre a Marzo, indicata con la sigla dm, e quella dell'inverno più esteso, che comprende i dati da Ottobre ad Aprile, indicata con la sigla oa.

Per ogni variabile è stata calcolata anche una media corrente su 5 anni al fine di filtrare la variabilità interstagionale e osservare gli andamenti su lungo periodo.

I dati utilizzati sono quelli dall'inverno 1950/51 all'inverno 1999/2000.

Giorni di neve stagione dm

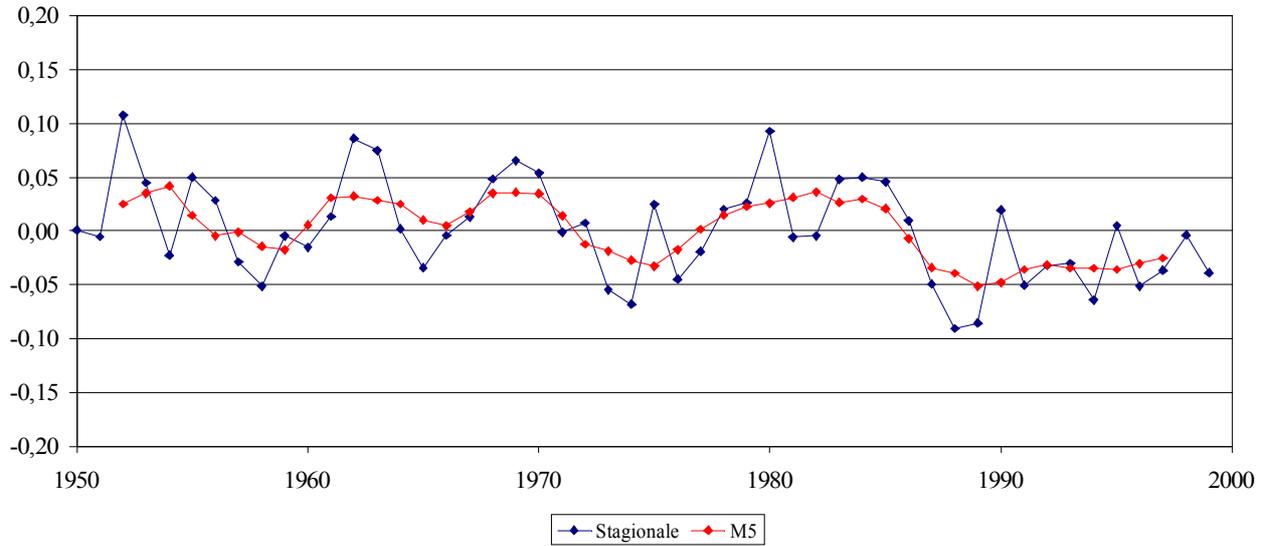


Fig. 6.1 Serie temporale mediata di 11 stazioni del numero di giorni di neve nella stagione Dicembre-Marzo per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

Giorni di neve stagione oa

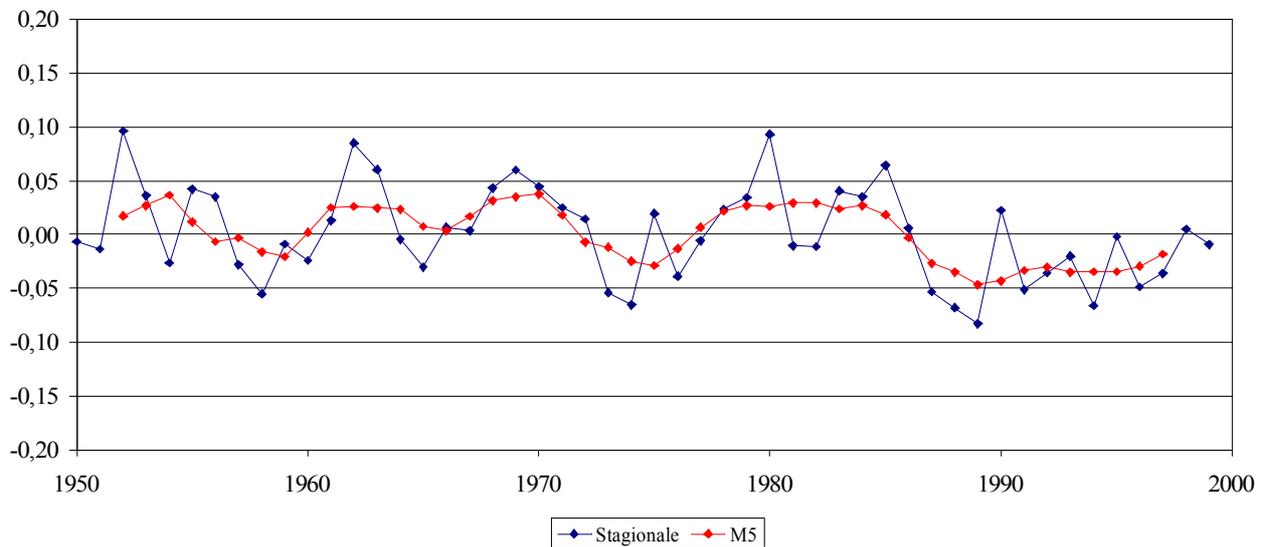


Fig. 6.2 Serie temporale mediata di 11 stazioni del numero di giorni di neve nella stagione Ottobre-Aprile per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

Altezza del manto stagione dm

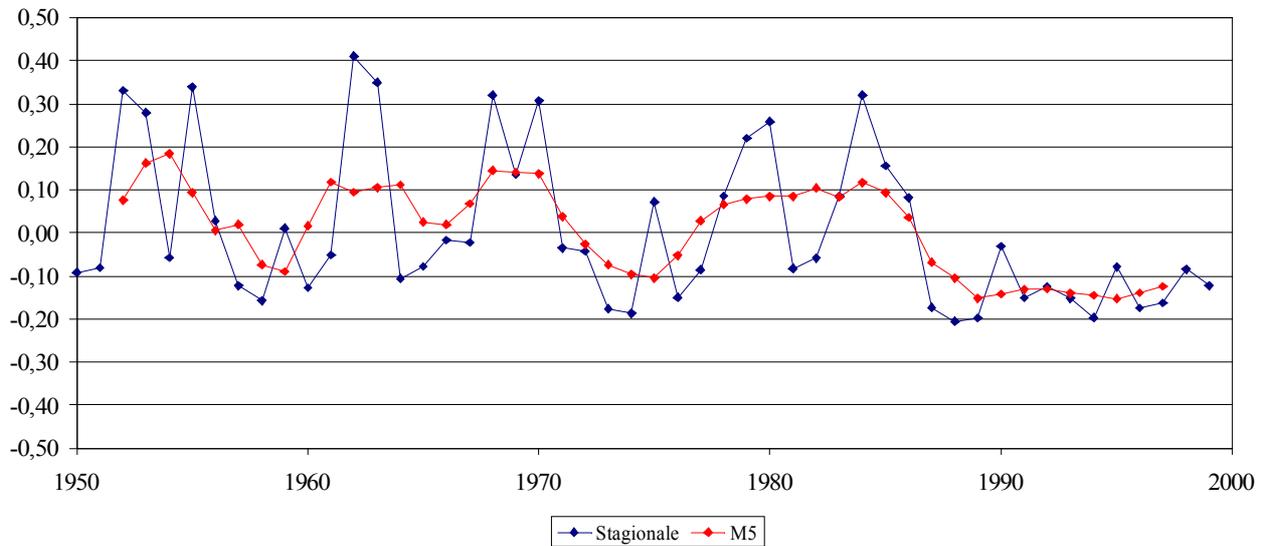


Fig. 6.3 Serie temporale mediata di 11 stazioni dell'altezza media del manto nevoso nella stagione Dicembre-Marzo per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

Altezza del manto stagione oa

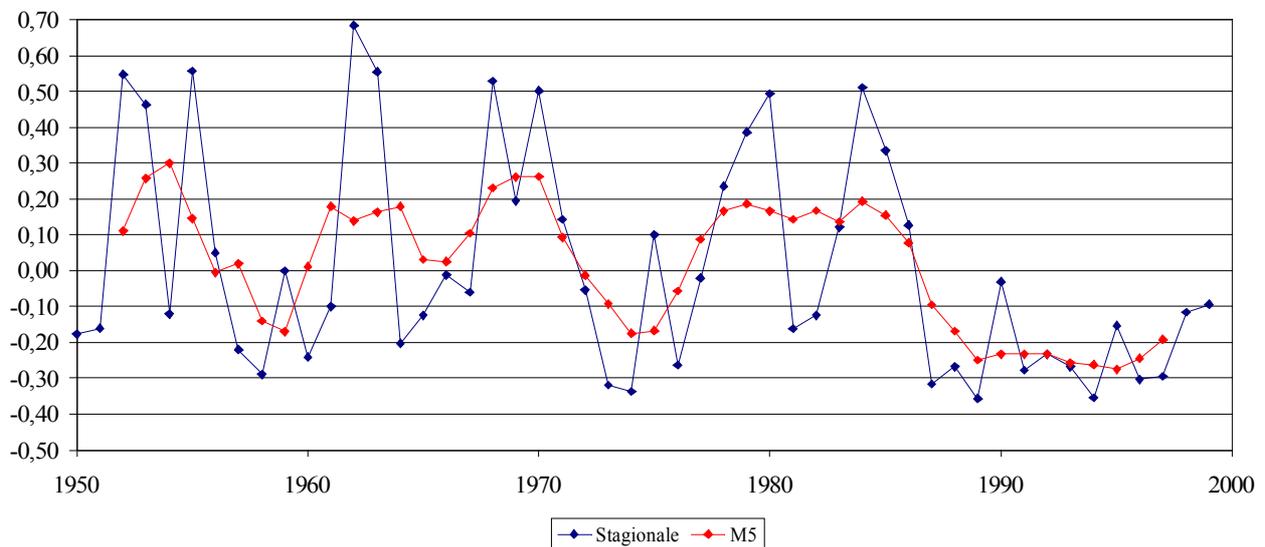


Fig. 6.4 Serie temporale mediata di 11 stazioni dell'altezza media del manto nevoso nella stagione Ottobre-Aprile per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

La scelta di realizzare grafici di questo tipo è stata dettata dalla volontà di avere uno sguardo di insieme dei dati della neve, che potesse tener conto di tutte le stazioni. Questo permette anche di ovviare al problema dei dati mancanti che possono dare dei problemi nello studio delle singole

serie, come si vedrà. La scelta poi di mediare tra tutte le stazioni le differenze rispetto alla media normalizzate rispetto alla varianza, è stata fatta perché evidentemente, a causa della diversa quota e climatologia delle varie stazioni, i dati climatici delle stazioni sono molto diversi tra loro, mentre ci si aspetta un certo accordo per le differenze normalizzate.

Le **Fig. 6.1** e **6.2** riportano l'indice sintetico del numero di giorni di neve e della sua media mobile nelle due stagioni, rispettivamente Dicembre-Marzo e Ottobre-Aprile. Le **Fig. 6.3** e **6.4** riportano invece l'indice sintetico dell'altezza media del manto nevoso, con la sua media mobile, per le due differenti stagioni.

Quello che si può notare subito dai grafici è la presenza di varie scale di variabilità. I dati stagionali mostrano infatti una forte variabilità interannuale, maggiore per i dati relativi all'altezza del manto. Si può notare come, in linea di massima, ad un anno particolarmente nevoso, ne segua spesso uno meno nevoso (variabilità di periodo bi-annuale). Un'altra considerazione interessante la si ricava osservando che, in tutti e quattro i grafici, a partire dalla stagione 1987/1988, si ha avuto un forte calo della nevosità rispetto al periodo precedente e, per i dati relativi all'altezza, anche una minor variazione interannuale dei dati.

Se osserviamo l'andamento delle medie correnti osserviamo oscillazioni su periodi di tempo più lunghi. Si possono allora individuare periodi nevosi nella prima metà degli anni '50, a metà degli anni '60, all'inizio degli anni '70 e nella prima metà degli anni '80, intervallati da periodi meno nevosi. Anche in questo caso abbiamo due diversi andamenti prima e dopo l'inverno 1987/1988.

Le due serie mediate su 5 e 9 anni passano infatti da valori alti all'inizio degli anni '80, ai valori minimi dell'intero periodo, registrati all'inizio degli anni '90. Per tutti gli anni '90 poi la nevosità si mantiene bassa, in modo quasi costante. È interessante notare come proprio in questo periodo, nell'arco di 2-3 anni, ad una delle stagioni più nevose (1984/85), sono seguite le due stagioni meno nevose degli ultimi 50 anni, le stagioni 1988/89 e 1989/90. inoltre si può apprezzare come, dalla seconda metà degli anni '80 sembra essere cambiata la frequenza della variabilità a lungo periodo, infatti mentre i precedenti periodi nevosi e scarsamente nevosi si seguono ad un ritmo di circa 5 anni, l'ultimo periodo con poca neve è durato almeno un decennio.

Come si vedrà più avanti solo la media sui 5 anni mostra una leggera tendenza di crescita a termine periodo, ma per poter concludere qualcosa avremmo bisogno di estendere la serie riassuntiva fino agli ultimi anni. Purtroppo questo non è possibile perché solo per alcune stazioni sono disponibili dati fino ai giorni nostri: alcune stazioni manuali infatti sono state sostituite da stazioni automatiche nella cui strumentazione non è stato possibile includere un nivometro.

Le conclusioni (qualitative) che si possono trarre da questo primo sguardo sui dati della neve sono le seguenti:

- la neve presenta ampie variazioni di stagione in stagione;
- la neve mostra variazioni anche su periodi più lunghi, così che si possono individuare periodi di anche 5 anni caratterizzati da nevosità più alta dei periodi precedenti e successivi;
- la prima parte degli anni ottanta risulta particolarmente nevosa, mentre la seconda parte degli anni ottanta e tutti gli anni novanta sono stati scarsamente nevosi;
- dopo la stagione 1987/1988 sembra cambiare l'andamento temporale della variabilità della neve. Abbiamo infatti variazioni interannuali minori, specie per i dati di altezza;
- i dati di altezza della neve mostrano una variabilità interannuale maggiore, e pure un calo maggiore tra anni '80 e '90.

Le analisi che seguono dovranno permettere di capire quali fattori spiegano la variabilità della neve, e sarà altrettanto interessante cercare una spiegazione dell'andamento della nevosità negli anni '80 e '90.

Un primo passo che si può fare è quello di guardare, nello stesso periodo di tempo, l'andamento delle temperature e delle precipitazioni, calcolate sempre come variazione normalizzata rispetto alla media.

Le **Fig. 6.5 - 6.8** riportano gli indici sintetici delle temperature minime e massime giornaliere con le rispettive medie mobili, nelle due diverse stagioni: Dicembre-Marzo e Ottobre-Aprile. Sono qui state usate le stazioni che, tra le 11 già citate per la neve, presentano anche la serie di dati di temperatura.

Temperature minime stagione dm

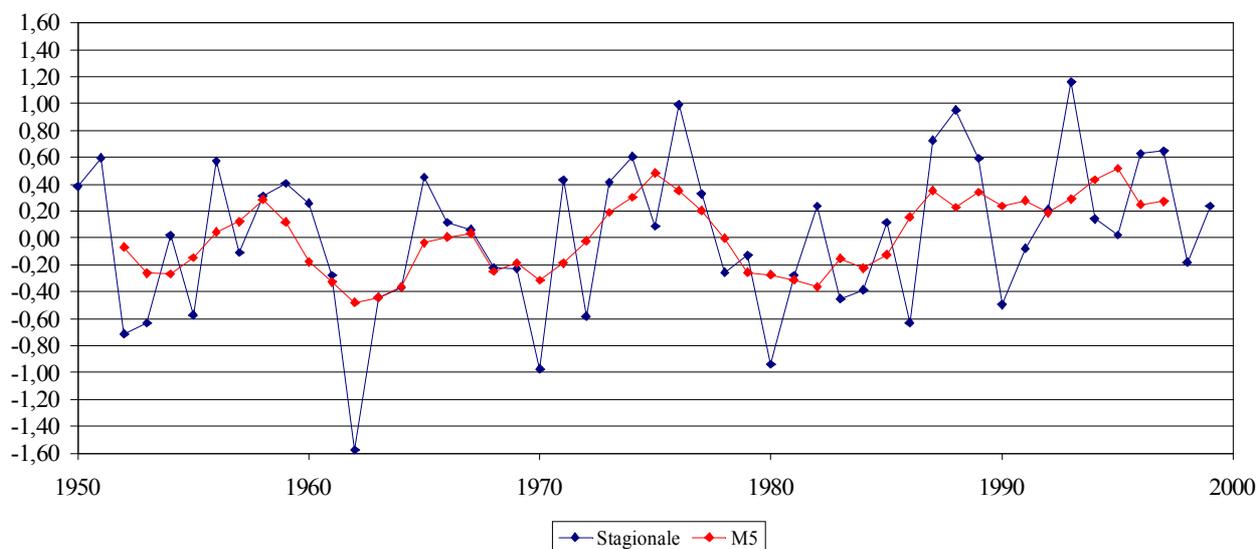


Fig. 6.5 Serie temporale mediata di 4 stazioni delle temperature minime nella stagione Dicembre-Marzo per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

Temperature massime stagione dm

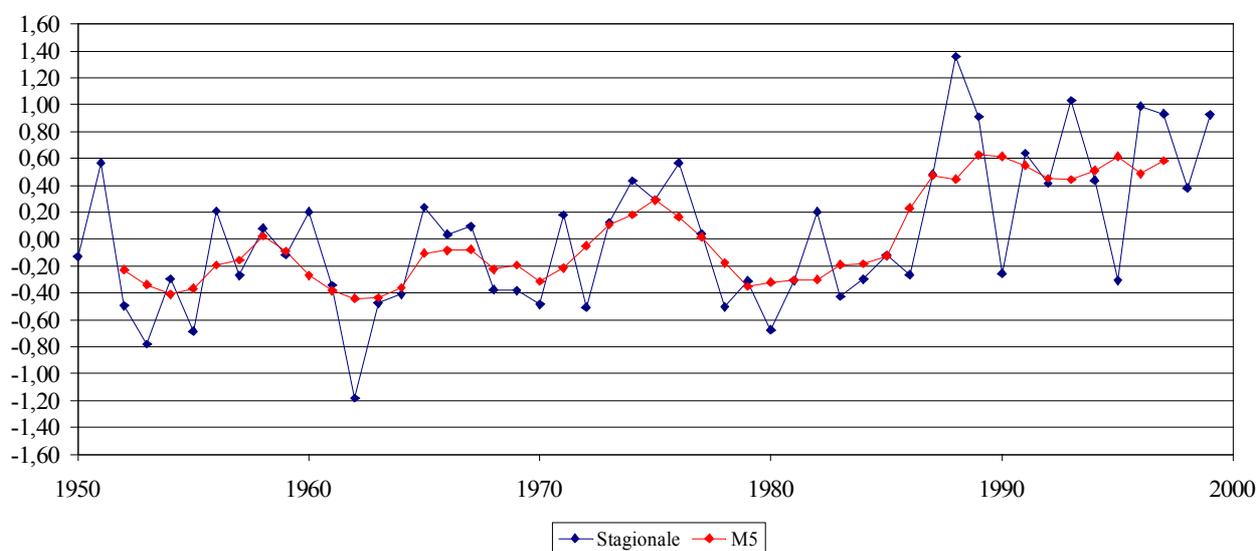


Fig. 6.6 Serie temporale mediata di 4 stazioni delle temperature massime nella stagione Dicembre-Marzo per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

Temperature minime stagione oa

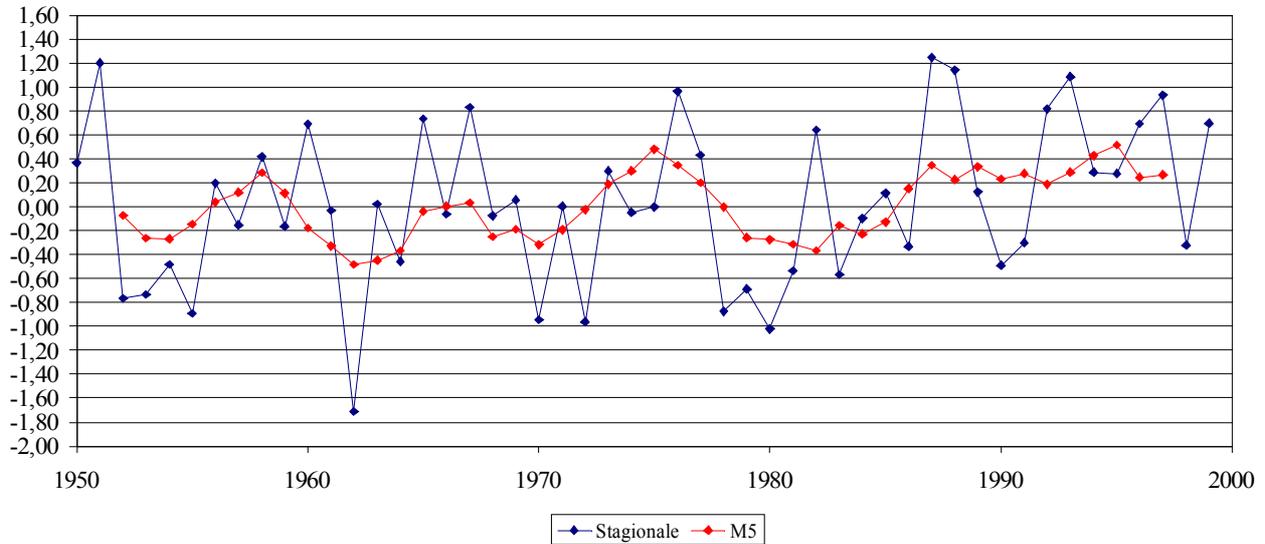


Fig. 6.7 Serie temporale mediata di 4 stazioni delle temperature minime nella stagione Ottobre-Aprile per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

Temperature massime stagione oa

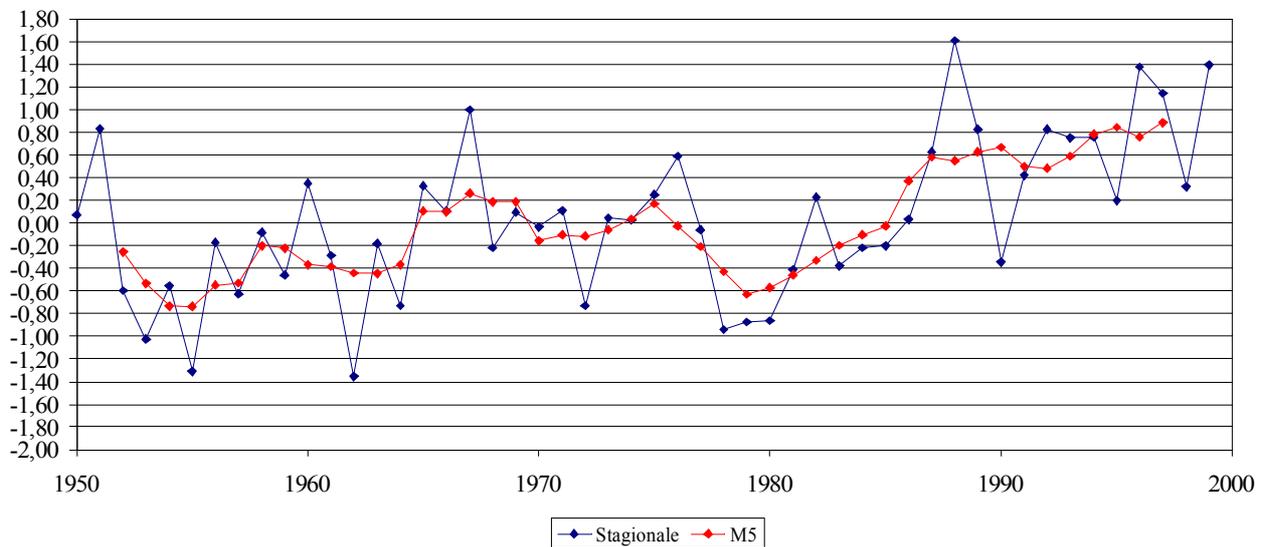


Fig. 6.8 Serie temporale mediata di 4 stazioni delle temperature massime nella stagione Ottobre-Aprile per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

I grafici delle variazioni delle temperature mostrano un'intensa variazione interannuale, ma le variazioni a lungo termine sembrano avvenire qui su periodi più lunghi di tempo rispetto a quelle della neve. Si riconoscono però periodi più freddi per tutti i valori all'inizio degli anni '80, cioè in

coincidenza col periodo più nevoso precedentemente individuato e temperature basse, specie nel periodo invernale, per tutti gli anni sessanta. A metà degli anni '70 si ha un primo periodo di temperature alte, che coincide con un periodo di minore nevosità. Venendo agli ultimi anni si può apprezzare dai grafici un periodo di temperature minime costantemente più alte della media, sul lungo termine, proprio dagli anni 1986/87. Le temperature massime, sia invernali che, in modo più marcato sulla stagione ottobre/aprile, dopo un iniziale aumento, mostrano però un calo nella parte centrale degli anni '90. La scarsa nevosità di questo periodo allora potrebbe essere determinata in buona parte dall'andamento delle temperature.

In Fig. 6.9 e 6.10 è rappresentato il grafico dell'indice sintetico per le precipitazioni e la rispettiva media mobile nelle due stagioni, Dicembre-Marzo e Ottobre-Aprile.

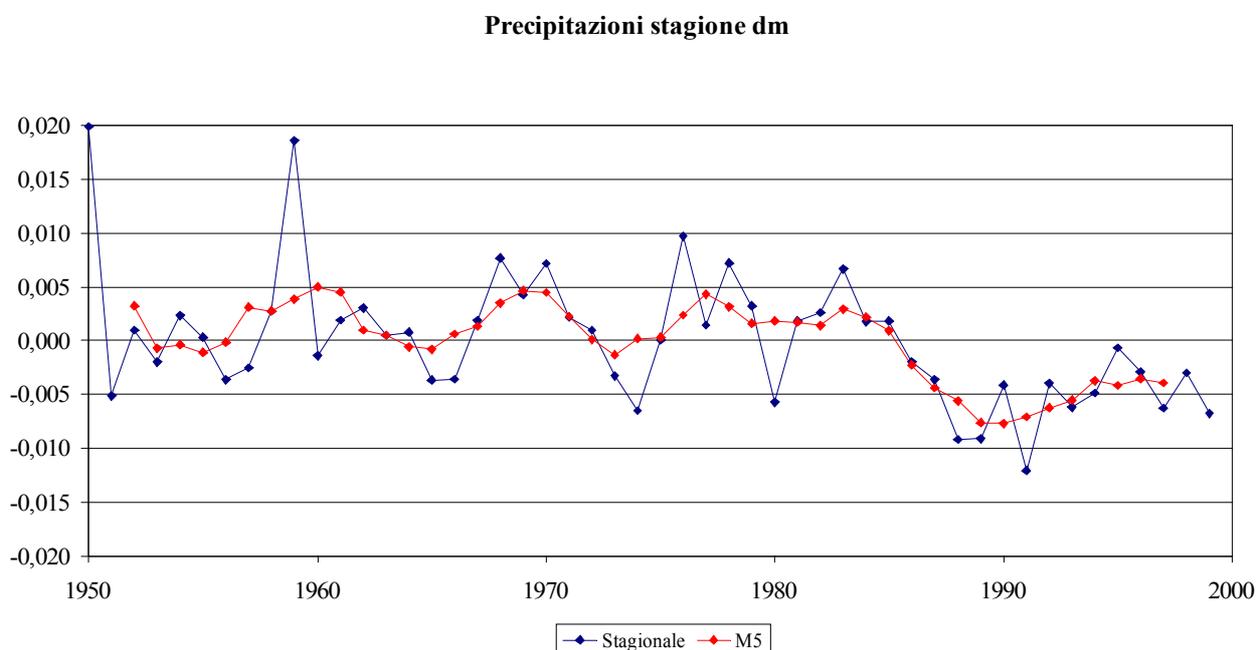


Fig. 6.9 Serie temporale mediata di 10 stazioni delle precipitazioni nella stagione Dicembre-Marzo per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

Precipitazioni stagione oa

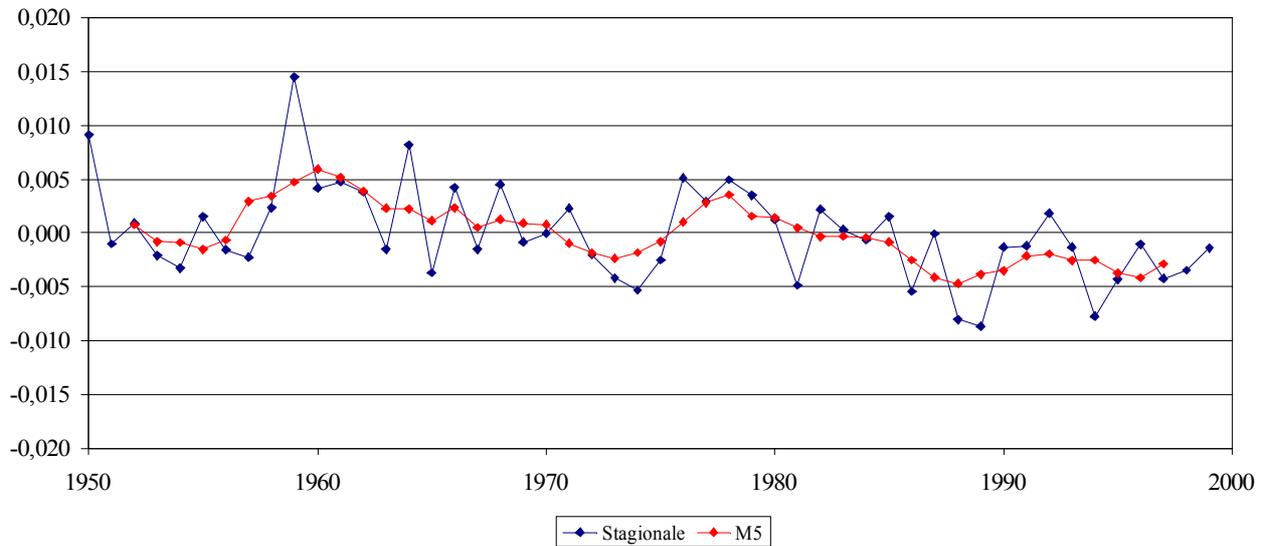


Fig. 6.10 Serie temporale mediata di 10 stazioni delle precipitazioni nella stagione Ottobre-Aprile per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

I grafici delle precipitazioni mostrano una variazione interannuale più marcata nel periodo invernale (Dic-Mar). L'andamento delle medie mobili su 5 anni delle precipitazioni invernali mostra alcuni spunti interessanti. Il picco positivo all'inizio degli anni '60 non coincide con un aumento delle nevicate e il periodo nevoso degli anni '80 non sembra caratterizzato da precipitazioni costantemente superiori alla media. L'andamento sui 9 anni mostra poche variazioni fino all'inizio degli anni '80. Da qui si ha un calo delle precipitazioni, più sensibile dopo il 1985, specie nella stagione invernale. Questo dato potrebbe essere in accordo con il calo di nevosità. Se infatti non piove non può nemmeno nevicare, inoltre sono proprio le precipitazioni invernali quelle più determinanti per le nevicate, a causa delle basse temperature di questa stagione.

Dal confronto dei dati di neve con quelli di temperatura e precipitazione si è potuto ricavare alcune considerazioni, ma nessuna di queste variabili meteorologiche può singolarmente interamente spiegare la variabilità della neve. In particolare l'intenso calo della nevosità avvenuto a partire dal 1986/87, coincide con un altrettanto particolare aumento delle temperature e calo delle precipitazioni, che non sembrano avere precedenti nei cinquant'anni qui considerati. La variabilità di lungo periodo prima del calo del 1986-87, invece, sembra essere più legata a variazioni nella temperatura che nella precipitazione.

Le intense anomalie climatiche osservate nell'ultimo decennio del secolo scorso potrebbero essere legate ad altrettanto intense anomalie nella circolazione atmosferica di larga scala nell'area

Atlantico-Mediterranea.

In particolare si è scelto di concentrare l'attenzione sui due modi di variabilità interannuale della circolazione su questa area precedentemente descritti che in letteratura sono stati riferiti come quelli che principalmente influenzano la variabilità climatica locale: l'Oscillazione Nord Atlantica (NAO) e il Pattern Scandinavo (SCA).

La variabilità interannuale di questi modi è ben descritta dai loro rispettivi indici, l'indice NAO e l'indice SCA, il cui andamento temporale è rappresentato in **Fig. 6.11**, **6.12**, **6.13**, **6.14**. In particolare in **Fig. 6.11** e **6.12** è mostrato l'andamento dell'indice NAO e della sua media corrente nelle due stagioni Dicembre-Marzo e Ottobre-Aprile; nelle **Fig. 6.13** e **6.14** è mostrato invece l'andamento dell'indice SCA e della sua media corrente, sempre nelle stesse stagioni.

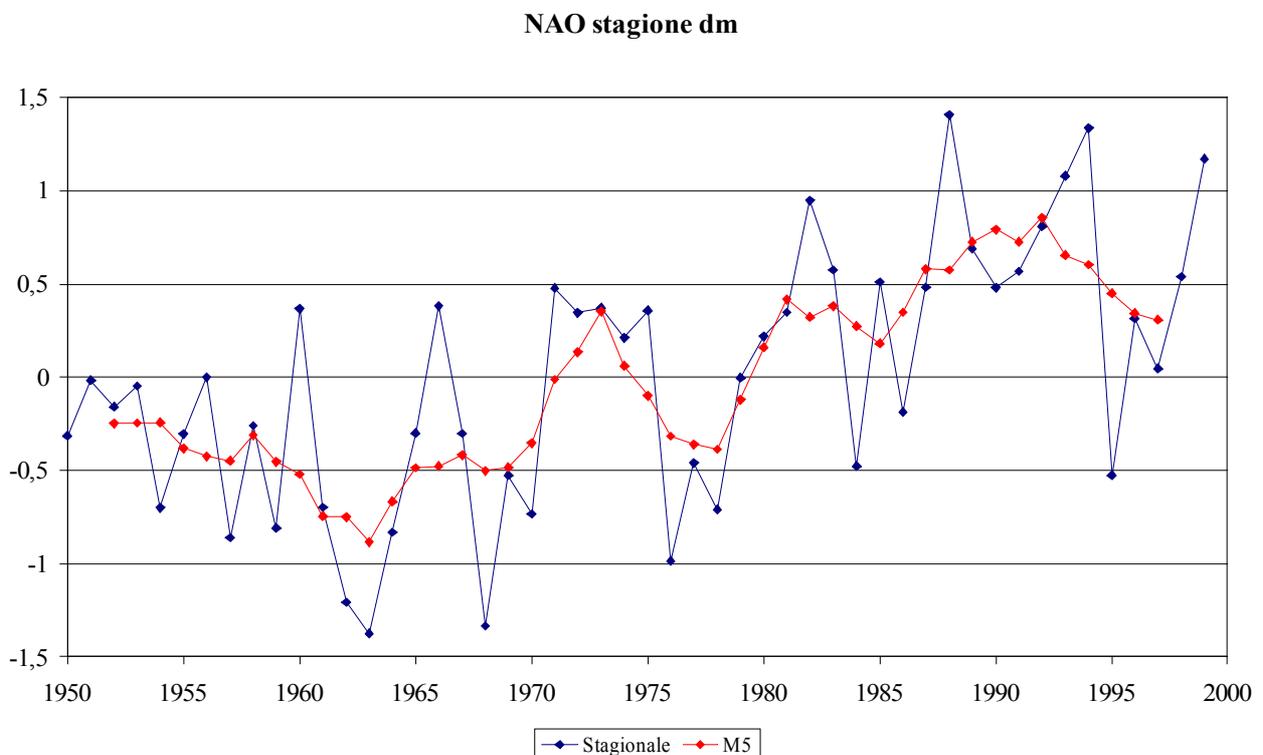


Fig. 6.11 Serie temporale mediata dell'indice NAO nella stagione Dicembre-Marzo per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

NAO stagione oa

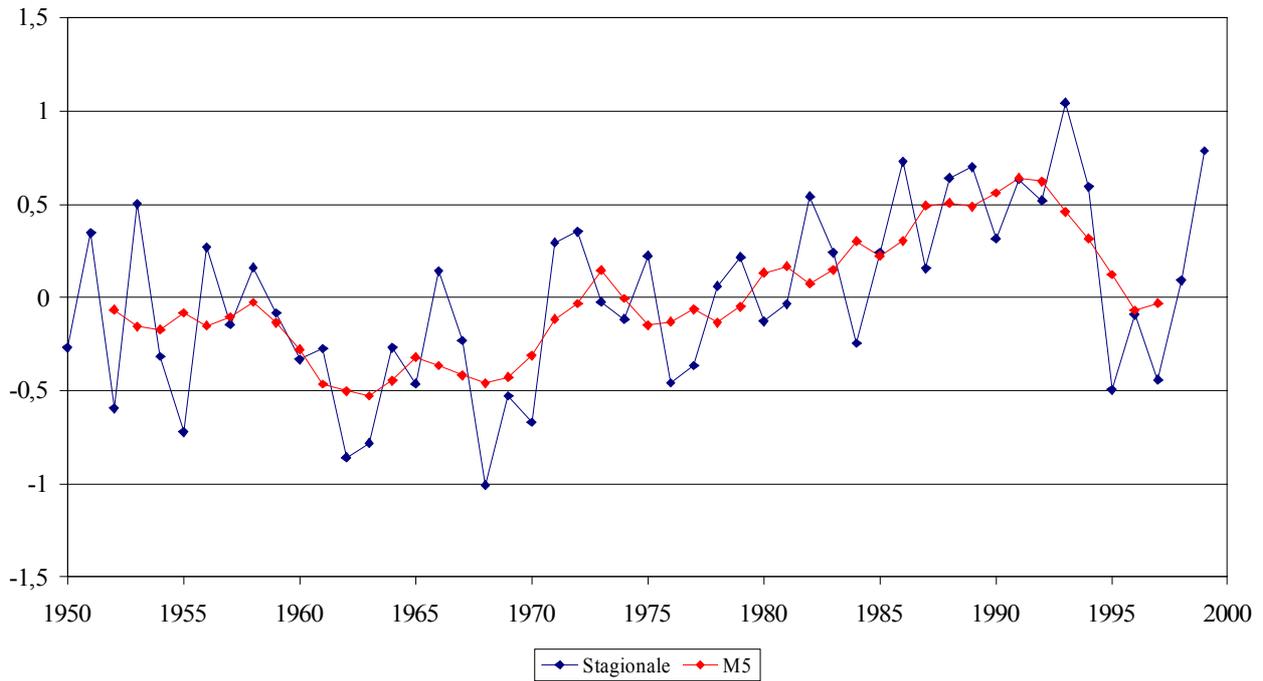


Fig. 6.12 Serie temporale mediata dell'indice NAO nella stagione Ottobre-Aprile per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

SCA stagione dm

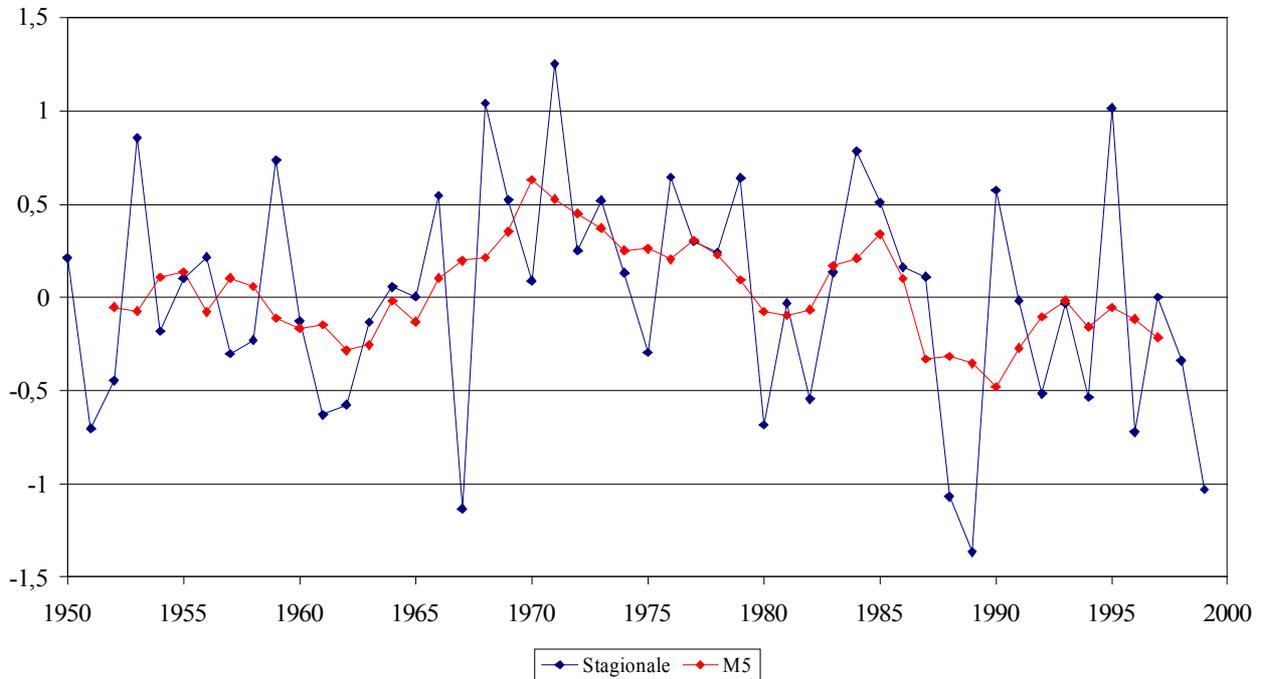


Fig. 6.13 Serie temporale mediata dell'indice SCA nella stagione Dicembre-Marzo per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

SCA stagione oa

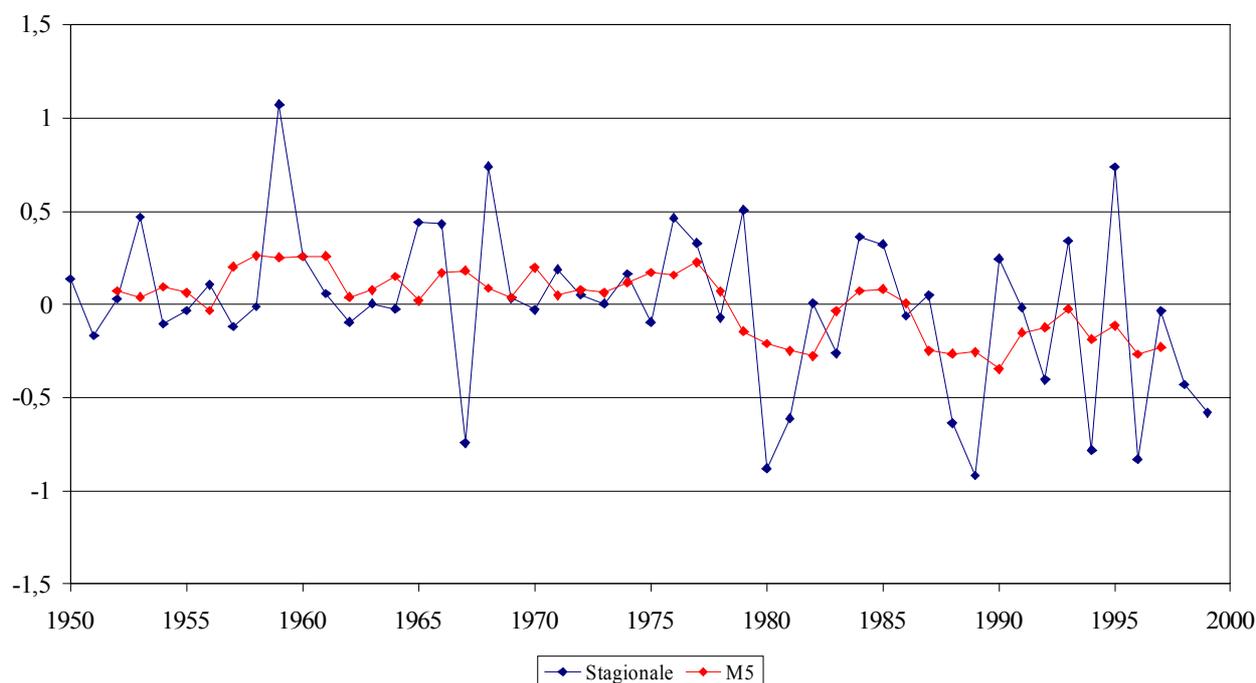


Fig. 6.14 Serie temporale mediata dell'indice SCA nella stagione Ottobre-Aprile per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

L'andamento dell'indice NAO è molto interessante. Si ha una fase di valori mediamente negativi fino all'inizio degli anni settanta, un primo picco positivo verso il 1975, seguito da un'altra fase negativa, e poi un forte aumento fino agli anni '90. I valori positivi che si sono avuti dopo gli anni '80 spiegano certamente l'andamento di temperature, precipitazioni e nevicate in quest'ultimo periodo. È da notare anche che l'indice SCA, nello stesso periodo mostra invece valori negativi, raggiungendo proprio nel 1989/1990 il valore più basso. Entrambe gli indici climatici mostrano quindi andamenti sfavorevoli alla neve a partire dalla seconda metà degli anni '80 e per tutti gli anni '90.

Per gli altri periodi considerati si può notare che i periodi nevosi di inizio anni '50 e metà anni '60 sono caratterizzati da valori negativi dell'indice NAO. All'inizio degli anni '70 si ha una transizione dell'indice NAO da negativo a positivo, ma si hanno i massimi positivi per l'indice SCA. Il periodo nevoso degli anni '80 è ancora caratterizzato da valori positivi sia dell'indice NAO che dell'indice SCA.

Si potrebbe quindi concludere che basta avere uno dei due indici favorevoli per avere un periodo nevoso, se non fosse che alcuni periodi di NAO negativa e SCA positivo risultano comunque scarsamente nevosi, come il periodo centrale degli anni '70 e la seconda metà degli anni '50.

Per concludere questa panoramica sugli indici climatici si può guardare anche all'indice ENSO, che favorisce inverni miti e secchi durante le sue fasi positive. A causa del modo in cui sono tabulati e forniti i dati in internet dalla NOAA non si possono mostrare per questo indice le medie nelle due stagioni Dicembre-Marzo e Ottobre-Aprile, ma nelle stagioni Dicembre-Febbraio e Ottobre-Marzo.

Le **Fig. 6.15** e **6.16** mostrano l'andamento dell'indice ENSO e della sua media corrente nelle stagioni Dicembre-Febbraio e Ottobre-Marzo.

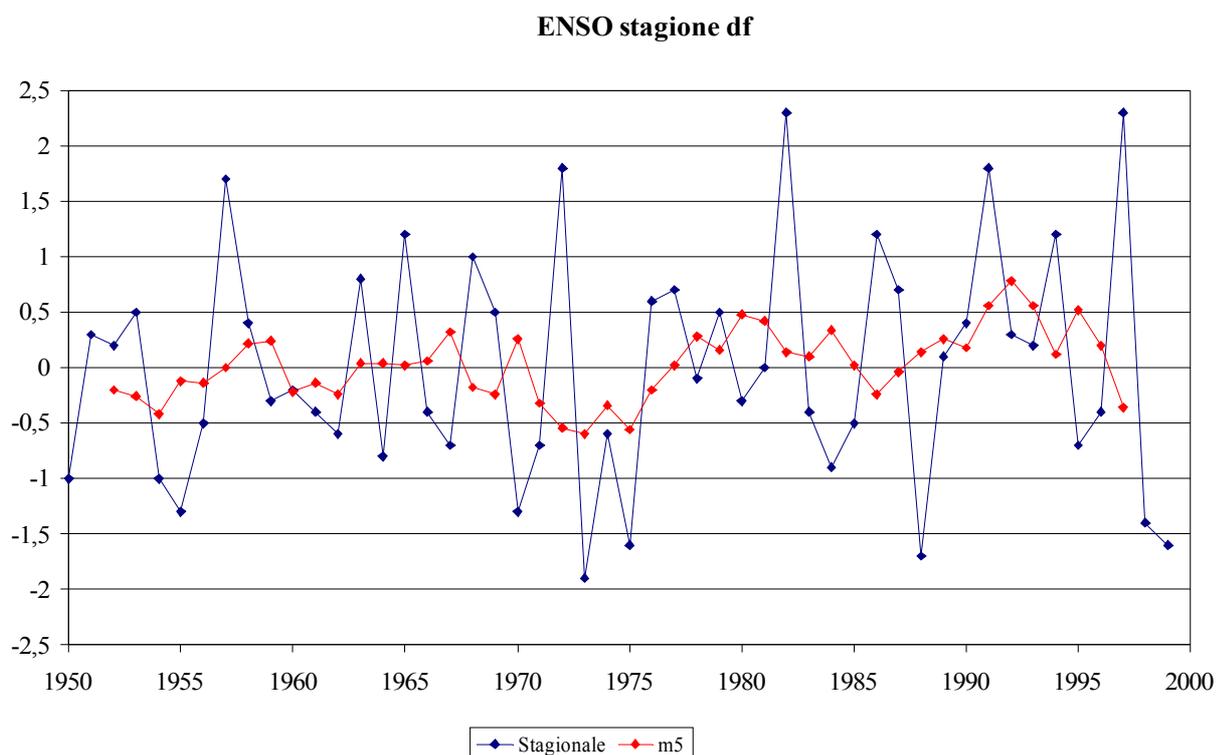


Fig. 6.15 Serie temporale dell'indice ENSO nella stagione Dicembre-Febbraio per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

ENSO stagione om

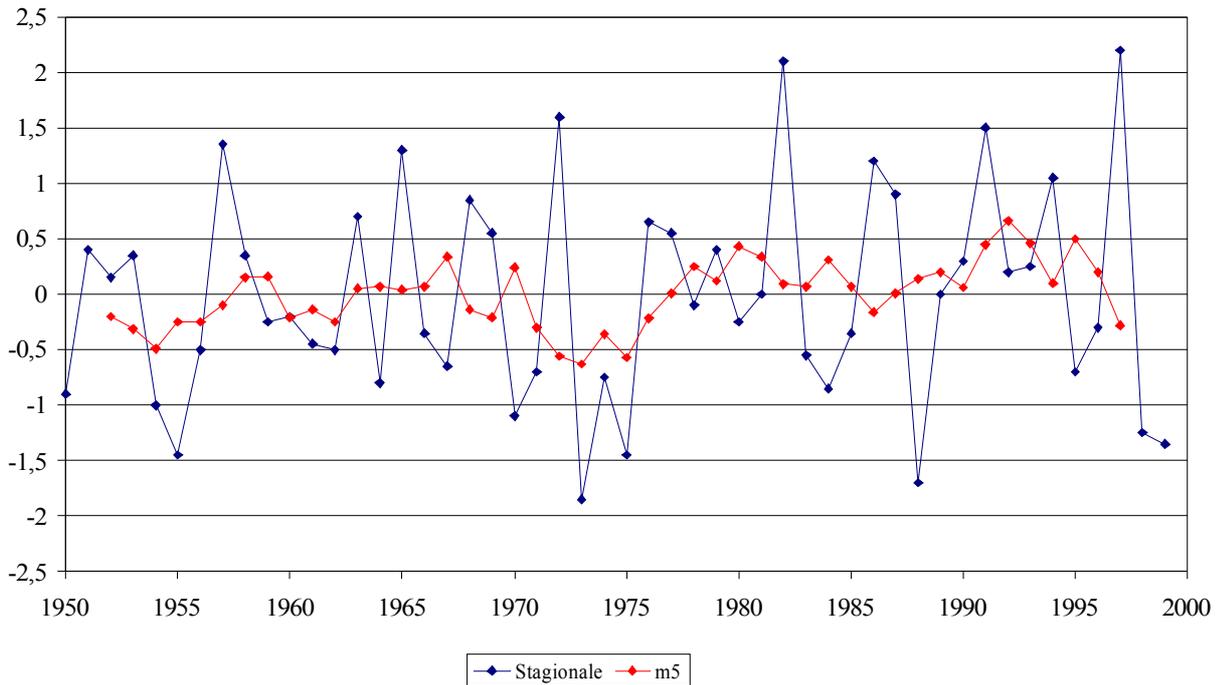


Fig. 6.16 Serie temporale dell'indice ENSO nella stagione Ottobre-Marzo per il periodo 1950/2000. In rosso la media mobile con periodo 5 anni.

Dalle considerazioni appena fatte ci si dovrebbero attendere periodi positivi di questo indice (cioè episodi di El Niño) dalla seconda metà degli anni '80 e negli anni '90, poiché abbiamo precedentemente visto che in questo periodo le stagioni invernali sono state meno piovose e più miti di quelle degli anni precedenti. Questo effettivamente lo si può verificare dai grafici qui sopra, dove si notano valori positivi dall'inverno 1988/89 al 1996/97 (linea rossa).

Nei periodi di minor nevosità che abbiamo avuto durante gli anni '70 e nella seconda parte degli anni '50, non si trovano valori positivi dell'indice sulle medie pluriennali, ma solo singole stagioni con valori positivi, come il 1957/58 e il 1972/73, a cui corrispondono inverni meno nevosi del normale, ma non in modo significativo. Si può dunque pensare che l'influenza di questo indice sulla nevosità nelle nostre regioni non sia importante.

Per procedere nell'analisi dei dati di neve sono stati calcolati due indici separati: uno mediando le stazioni locate in Emilia (Lago Paduli, Fontanaluccia, Lizzano, Montecatino, Brasimone e Riola), l'altro mediando sulle stazioni locate in Romagna (Campagna, Verghereto, Premilcuore e Santa Sofia).

I due indici ottenuti a partire dai dati di altezza del manto nel periodo Dicembre-Marzo, insieme alla loro media mobile su 5 anni sono mostrati in **Fig. 6.18**, mentre in **Fig. 6.17** abbiamo gli indici

relativi al numero di giorni di manto, sempre nella stessa stagione. Le Fig. 6.19 se Fig. 6.20 sono come le precedenti, ma relative alla stagione Ottobre-Aprile.

Dal confronto fra gli indici si possono notare alcune importanti differenze nella nevosità delle due zone e nei rispettivi andamenti.

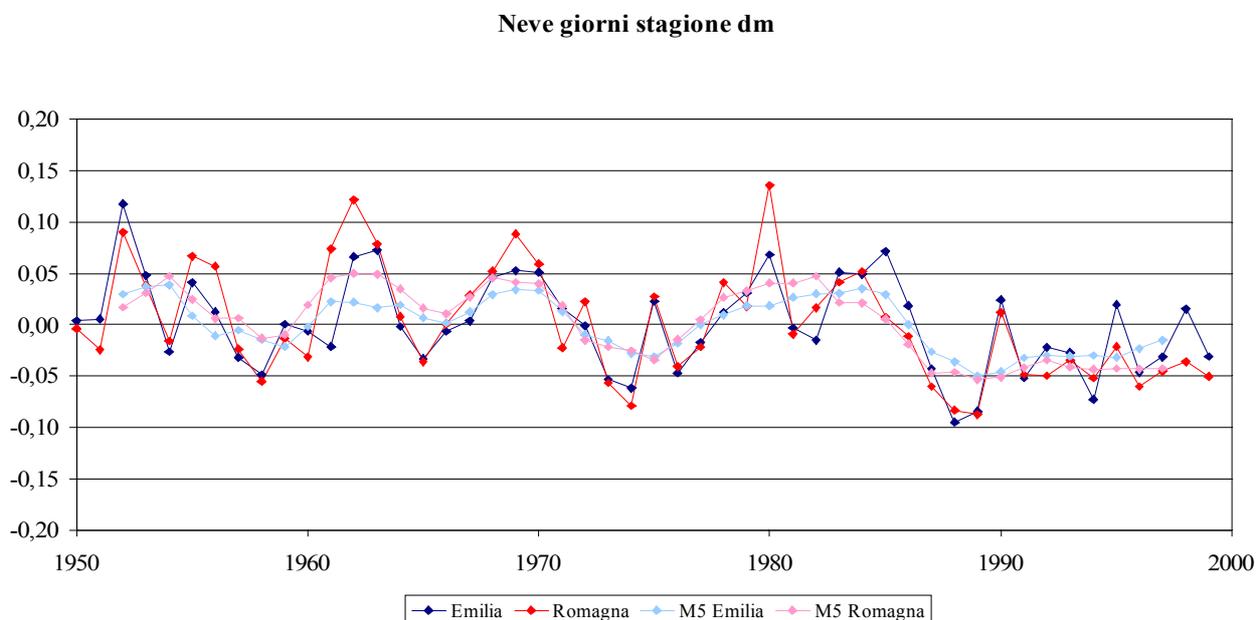


Fig. 6.17 Serie temporale mediata per i dati del numero di giorni di manto nevoso nella stagione Dicembre-Marzo per il periodo 1950/2000 divise nelle due regioni Emilia (azzurro) e Romagna (rosa). In rosso la media mobile con periodo 5 anni relativa alla Romagna, in blu la media mobile con periodo 5 anni relativa all'Emilia.

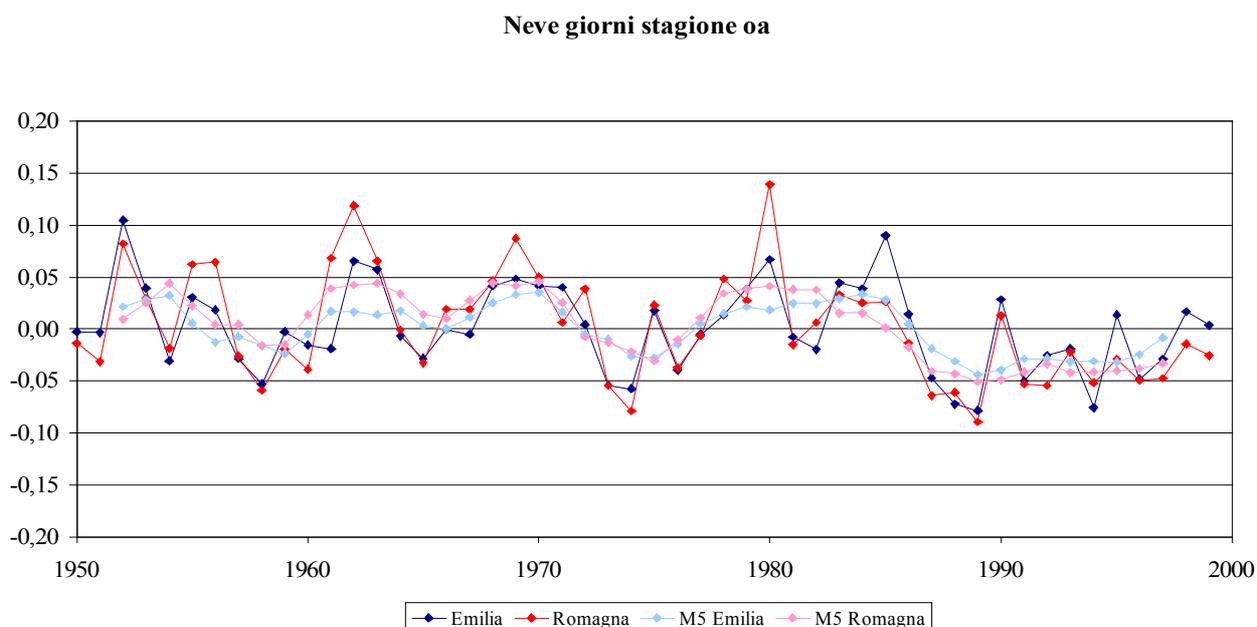


Fig. 6.18 Serie temporale mediata per i dati del numero di giorni di manto nevoso nella stagione Ottobre-Aprile per il periodo 1950/2000 divise nelle due regioni Emilia (azzurro) e Romagna (rosa). In rosso la media mobile con periodo 5 anni relativa alla Romagna, in blu la media mobile con periodo 5 anni relativa all'Emilia.

Altezza del manto stagione dm

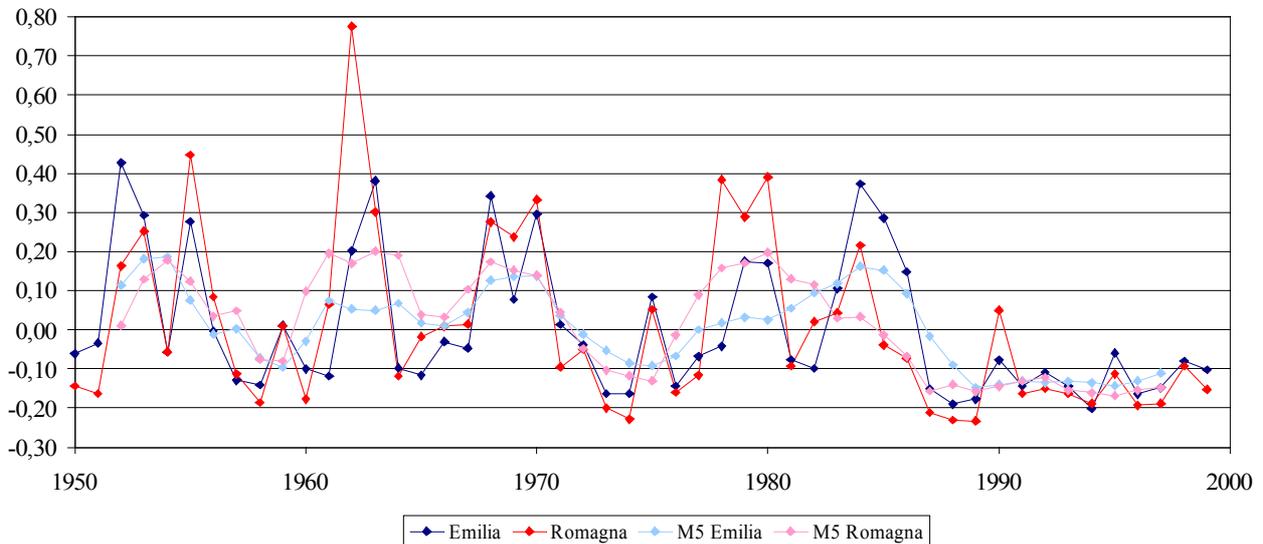


Fig. 6.19 Serie temporale mediata per i dati dell'altezza media del manto nevoso nella stagione Dicembre-Marzo per il periodo 1950/2000 divise nelle due regioni Emilia (azzurro) e Romagna (rosa). In rosso la media mobile con periodo 5 anni relativa alla Romagna, in blu la media mobile con periodo 5 anni relativa all'Emilia.

Altezza del manto stagione oa

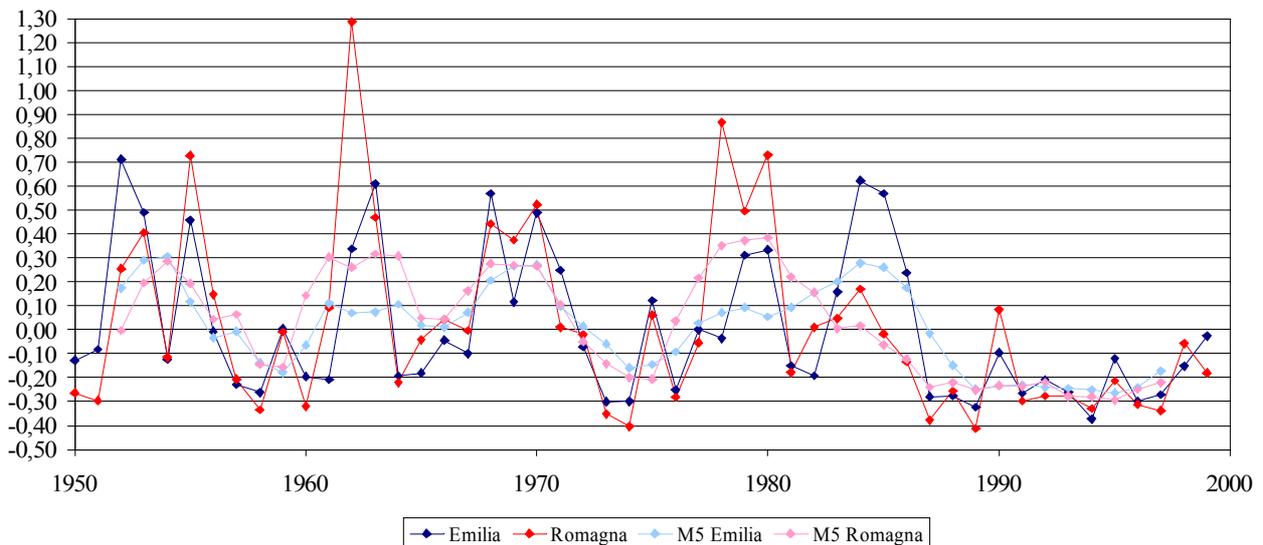


Fig. 6.20 Serie temporale mediata per i dati dell'altezza media del manto nevoso nella stagione Ottobre-Aprile per il periodo 1950/2000 divise nelle due regioni Emilia (azzurro) e Romagna (rosa). In rosso la media mobile con periodo 5 anni relativa alla Romagna, in blu la media mobile con periodo 5 anni relativa all'Emilia.

Si nota innanzi tutto che gli anni più nevosi in una delle due aree non coincidono sempre con gli

anni più nevosi nell'altra. Inoltre mentre la Romagna sembra essere stata mediamente più nevosa dell'Emilia negli anni '60 e '70 e fino all'inizio degli anni '80, dall'inverno 1983/84 è l'Emilia a risultare più nevosa della Romagna, rispetto ai valori medi. Il calo della nevosità tra anni '80 e anni '90 risulta sulla Romagna più marcato ed è anticipato di qualche anno.

La variabilità interannuale sulla Romagna risulta essere maggiore rispetto alla variabilità interannuale sull'Emilia.

Due considerazioni importanti si possono trarre confrontando questi grafici con quelli degli indici NAO e SCA. Il calo di nevosità nella Romagna all'inizio degli anni '80 coincide con l'aumento dell'indice NAO. Il periodo nevoso a cavallo del 1985 che si registra invece sull'Emilia coincide con un periodo di valori positivi dell'indice SCA. Si può quindi qui ipotizzare che su queste due sub regioni siano diversi gli effetti e le influenze della circolazione a larga scala, e che quindi diverse siano le condizioni che favoriscono la neve.

Quello che si è osservato fin qui lo si deve necessariamente verificare con strumenti statistici che ci permettano di stabilire eventuali relazioni tra le serie dei dati e di quantificare la loro variabilità. Il primo di questi strumenti è la correlazione tra serie di dati.

La correlazione permette di valutare quanto la variazione di una serie sia legata alla variazione dell'altra. Se la correlazione ha valore superiore ad una certa soglia, si può affermare che esiste un legame tra gli andamenti delle due serie. In caso di correlazione positiva si ha che l'aumento di una delle due variabili coincide con l'aumento dell'altra, e viceversa. Nei casi invece in cui la correlazione è negativa, l'aumento di una variabile è associato invece ad un calo nell'altra e viceversa.

Nel presente lavoro si calcoleranno le correlazioni tra le serie relative ai dati di altezza e di durata del manto nevoso, con le serie dei dati di temperatura e precipitazione, nonché con le serie relative agli indici climatici già descritti (NAO, SCA, ENSO). Le correlazioni sono state calcolate sia sulle serie annuali, che sulle serie delle medie mobili, per verificare le differenze tra i diversi modi di variabilità già individuati sui grafici. Questo permette di individuare quali siano i fattori che maggiormente incidono sulla presenza della neve al suolo.

Le **Tab. 6.1** mostrano le correlazioni tra le varie serie sintetiche di durata del manto (a) e altezza media dello stesso (b) e gli indici rispettivi di Temperature minime e massime, precipitazioni e gli indici climatici.

a)

Neve Giorni	Tmin	Tmax	Prec	NAO	SCA	ENSO
dm	-0,762	-0,793	0,379	-0,466	0,254	-0,087
oa	-0,623	-0,627	0,322	-0,399	0,205	-0,118

b)

Neve Altezza	Tmin	Tmax	Prec	NAO	SCA	ENSO
dm	-0,748	-0,744	0,326	-0,492	0,260	-0,100
oa	-0,651	-0,614	0,250	-0,432	0,225	-0,130

Tab. 6.1 Valori di correlazione tra le serie dei dati relativi alla neve e quelle dei dati relativi a temperature, precipitazioni, nonché agli indici climatici.

I dati evidenziati in arancione sono maggiori della soglia all'1%, e quindi risultano i più significativamente correlati tra loro. I dati evidenziati in giallo sono maggiori della soglia al 5%, e risultano anch'essi significativamente correlati, ma in modo minore. Non presentano invece alcuna correlazione tra loro le serie i cui valori non sono evidenziati.

Le **Tab. 6.1 a)** e **b)** mostrano innanzitutto una forte correlazione negativa tra i dati di neve e i dati delle temperature, consistente con l'analisi fatta in precedenza che le nevicate più copiose avvengono nei periodi mediamente più freddi. Nella stagione invernale la correlazione è maggiore che nella stagione Ottobre-Aprile, e le temperature favoriscono sia la durata del manto al suolo che la sua altezza.

Anche le precipitazioni presentano correlazioni significative, questa volta di segno positivo: consistentemente con le analisi già fatte le precipitazioni risultano importanti soprattutto nel determinare la durata del manto e la sua altezza nella stagione invernale. Infatti precipitazioni abbondanti in questa stagione garantiscono abbondanti precipitazioni nevose, qualora le temperature lo permettono. Minori sono le correlazioni tra precipitazioni e neve nella stagione Ottobre-Aprile poiché le temperature medie su tale periodo sono maggiori, e quindi meno frequentemente gli episodi precipitativi risultano nevosi.

Osservando gli indici climatici, ancora una volta si può affermare l'importanza dell'indice NAO nell'influenzare la climatologia della neve. Questo indice mostra correlazioni negative con i dati relativi alla neve in entrambe le stagioni.

L'indice SCA mostra invece correlazioni minori, specie nella stagione Ottobre-Aprile, ma da questi dati non risultano significative.

Come precedentemente fatto è utile calcolare le medesime correlazioni per le due sub regioni, presentate nelle **Tab. 6.2 a) e b)**, e **6.3 a) e b)**.

a)

Neve Giorni	Prec	NAO	SCA
dm	0,334	-0,413	0,325
oa	0,253	-0,353	0,266

b)

Neve Altezza	Prec	NAO	SCA
dm	0,292	-0,428	0,311
oa	0,188	-0,375	0,270

Tab. 6.2 Valori di correlazione tra le serie dei dati relativi alla neve e quelle dei dati relativi a temperature, precipitazioni, nonché agli indici climatici per l'Emilia.

a)

Neve Giorni	Prec	NAO	SCA
dm	0,401	-0,493	0,133
oa	0,383	-0,417	0,095

b)

Neve Altezza	Prec	NAO	SCA
dm	0,327	-0,507	0,156
oa	0,339	-0,433	0,118

Tab. 6.3 Valori di correlazione tra le serie dei dati relativi alla neve e quelle dei dati relativi a temperature, precipitazioni, nonché agli indici climatici per la Romagna.

Le **Tab. 6.2** e **6.3** mostrano ancora una volta andamenti diversi tra le due sub regioni. È importante qui sottolineare come l'indice SCA non sia correlato con le precipitazioni nevose sulla Romagna, mentre sia significativamente correlato con la neve sull'Emilia, ma solo nella stagione invernale. L'indice NAO è correlato con la neve su entrambe le zone, ma i valori di correlazione risultano maggiori sulla Romagna, e comunque sono maggiori sempre per la stagione invernale.

Anche le precipitazioni sono maggiormente correlate con la neve per la Romagna.

È infine interessante osservare le correlazioni tra gli indici climatici e le altre variabili meteorologiche (temperature minime e massime e precipitazioni, mostrate rispettivamente in **Tab. 6.4 a)**, **Tab. 6.4 b)** e **Tab. 6.4 c)**), che permettono di spiegare la concordanza che si è evidenziata nell'osservazione dei trend. Nella stagione invernale l'indice NAO mostra correlazioni negative con le precipitazioni e positive con le temperature, mentre l'indice SCA mostra andamenti opposti. L'indice SCA non presenta però correlazioni significative con le temperature minime, mentre la

correlazione di tale indice con le temperature massime risulta comunque minore di quella dell'indice NAO.

Le correlazioni dei dati di precipitazioni sono maggiori con l'indice NAO in inverno, e con l'indice SCA nella stagione Ottobre-Aprile.

Questi valori di correlazione confermano le caratteristiche degli indici climatici, e permettono di capire come sia effettivamente la circolazione di larga scala a determinare il clima locale.

Infine, per quanto riguarda l'indice ENSO, e cioè l'effetto del Niño, le correlazioni con i dati della neve, pur essendo negative, non risultano però significative. L'ipotesi quindi che questo indice possa influire sulla nevosità nel nostro Appennino in prima analisi sembra dunque essere da scartare, in base ai dati che abbiamo in nostro possesso.

a)			b)		
Temperatura min (4 stazioni)			Temperatura max (4 stazioni)		
	NAO	SCA		NAO	SCA
dm	0,390	-0,068	dm	0,617	-0,375
oa	0,266	-0,047	oa	0,375	-0,352

c)		
Precipitazioni (10 stazioni)		
	NAO	SCA
dm	-0,558	0,409
oa	-0,319	0,497

Tab. 6.4 Valori di correlazione tra le serie dei dati relativi a temperature e precipitazioni e quelle dei dati relativi agli indici climatici.

Da queste considerazioni si ricava che l'elemento determinante per la durata del manto e la sua altezza media è, a livello locale, la temperatura. Successivamente risultano importanti anche le precipitazioni, senza le quali non si potrebbe avere neve. A larga scala è invece l'indice NAO ad influire maggiormente sulle nevicate, influenzando nello stesso tempo anche sulle variabili che a livello locale le favoriscono.

I dati di correlazione con le serie delle medie mobili sono raccolti in **Tab. 6.5** e **6.6**.

a)

dm	tmin	tmax	prec	ngg	nalt
SCA	-0,150	-0,355	0,562	-0,335	0,555
NOA	0,533	0,749	-0,739	0,781	-0,776

b)

oa	tmin	tmax	prec	ngg	nalt
SCA	-0,264	-0,478	0,694	0,351	0,359
NOA	0,454	0,513	-0,681	-0,624	-0,580

Tab. 6.5 Valori di correlazione tra le serie media mobile con periodo 5 anni dei dati relativi alla neve e quelle dei dati relativi a temperature, precipitazioni, nonché agli indici climatici.

dm	tmin	tmax	prec	ngg	nalt
SCA	-0,257	-0,425	0,610	0,424	0,426
NOA	0,748	0,868	-0,828	-0,750	-0,722

oa	tmin	tmax	prec	ngg	nalt
SCA	-0,680	-0,718	0,830	0,580	0,569
NOA	0,674	0,656	-0,847	-0,718	-0,672

Tab. 6.6 Valori di correlazione tra le serie media mobile con periodo 9 anni dei dati relativi alla neve e quelle dei dati relativi a temperature, precipitazioni, nonché agli indici climatici.

La variabilità su periodi maggiori dell'anno mostra correlazioni maggiori con gli indici climatici, indicando quindi che la variabilità di lungo periodo della anomalie della circolazione generale a livello planetario ha grande rilevanza su quella del clima locale. I valori di correlazione maggiori sono quelli relativi alle precipitazioni, seguiti poi da quelli relativi alle temperature.

L'indice SCA non mostra alcuna correlazione con le temperature minime invernali (Dic.-Mar.) nemmeno sul lungo periodo, ma risulta significativamente correlato con le temperature massime. Questo può essere dovuto alle condizioni di inversione termica che si creano sulla regione nel momento in cui la fase dell'indice SCA favorisce la presenza di un anticiclone di blocco che fa abbassare notevolmente le temperature minime invernali mentre le massime rimangono alte a causa del sereno.

L'indice SCA risulta correlato con i dati della neve nella stagione Ottobre-Aprile per la media mobile a 5 anni, ma in modo meno significativo rispetto all'indice NAO. La sua influenza sulla nevosità dell'Emilia-Romagna è quindi minore di quella che ha l'indice NAO.

La presenza di correlazioni tra queste serie mediate su 5 anni mostra l'esistenza di fattori che estendono la loro influenza su periodi più lunghi di tempo rispetto alla singola stagione invernale. Si può così pensare che alcuni fattori, come temperatura e precipitazione a livello locale, influenzino la nevosità su scala interannuale. Le anomalie di circolazione a scala spaziale più larga influenzano invece la neve su scale temporali più lunghe.

Solo nel corso di questa elaborazione sono state calcolate le correlazioni fra le serie ottenute

applicando una media mobile su 9 anni. Tali correlazioni sono mostrate in **Tab. 6.6**. Tutti i valori di correlazione risultano maggiori per le serie della media mobile a 9 anni. Quest'ultima correlazione filtra tutta la variabilità a bassa frequenza, e per questo motivo evidenzia la correlazione tra i trend delle singole serie.

a)			b)		
dm	Gg	Alt	oa	Gg	Alt
SCA	0,392	0,415	SCA	0,301	0,330
NAO	-0,535	-0,486	NAO	-0,528	-0,456

c)			d)		
dm	Gg	Alt	oa	Gg	Alt
SCA	0,305	0,253	SCA	0,396	0,354
NAO	-0,706	-0,724	NAO	-0,713	-0,680

Tab. 6.7 Valori di correlazione tra le serie media mobile con periodo 5 anni dei dati relativi alla neve e indici climatici per le serie relative all'Emilia (in alto) e alla Romagna (in basso)

Le **Tab. 6.7 a), b), c) e d)** riportano le correlazioni tra i dati di neve e gli indici climatici per le serie mediate sui 5 anni delle due sub regioni (Emilia a) e b), Romagna c) e d)). Anche in questo caso si osservano correlazioni maggiori rispetto a quelle calcolate per le serie stagionali. È interessante notare poi come l'indice SCA, sul lungo periodo presenti una certa correlazione anche con la neve sulla Romagna, correlazione che non era presente nei dati regionali. Ancora una volta però l'indice NAO risulta maggiormente correlato con la neve, e presenta valori di correlazione maggiori sulla Romagna.

L'analisi svolta fin qui ha riguardato soltanto i dati relativi alle stazioni che registrano anche i dati della neve. Di queste 11 stazioni soltanto 10 presentano serie dei dati delle precipitazioni utilizzabili, e soltanto 4 quelle dei dati delle temperature. Le serie di queste stazioni presentano diversi dati mancanti e quindi è evidente che, nel mediare tra loro queste serie, alcuni anni risultano rappresentati da uno o due dati soltanto. In pratica le serie mediate delle precipitazioni e delle temperature utilizzate possono essere sensibili ai dati mancanti. Inoltre non risultano rappresentative del clima regionale, ma solo di quel particolare clima che si registra nelle zone in cui le stazioni utilizzate sono collocate.

Si è allora pensato di ripetere questa analisi utilizzando i dati di 53 stazioni per le temperature e di 149 stazioni per le precipitazioni, sparse su tutto il territorio regionale, in modo da minimizzare l'influenza dei dati mancanti. Inoltre la maggior copertura geografica dei dati permette di correlare la neve sull'Appennino Emiliano-Romagnolo con il clima di tutta la regione.

Le correlazioni che si sono ottenute tra le serie dei dati della neve e le serie delle temperature e delle precipitazioni a scala regionale sono raccolte nelle **Tab. 6.8 a) e b)**.

a)

Neve Giorni	Tmin	Tmax	Prec
dm	-0,718	-0,820	0,452
oa	-0,669	-0,705	0,360

b)

Neve Altezza	Tmin	Tmax	Prec
dm	-0,718	-0,814	0,394
oa	-0,681	-0,734	0,285

Tab. 6.8 Valori di correlazione tra le serie dei dati relativi alla neve e quelle dei dati relativi alle temperature e alle precipitazioni mediate su scala regionale.

Confrontando questi dati con i dati relativi alle sole stazioni con la neve (**Tab. 6.1**) si osservano dei valori di correlazione sostanzialmente simili. Questo conferma che la scelta fatta per gli indici utilizzati per le variabili meteorologiche non è affetto da problemi di rappresentatività a livello regionale.

Le differenze che si notano sono una maggior correlazione della neve con i dati di precipitazione e con le temperature massime. Salta all'occhio qui una differenza che non si riscontrava nei dati in **Tab. 6.1**, e cioè che le temperature massime risultano maggiormente correlate ai dati della neve rispetto alle temperature minime. Anche da questi dati però risultano maggiori le correlazioni relative alla stagione invernale, e questo risulta chiaro dal fatto che questa è la stagione nella quale le temperature risultano mediamente più basse e quindi favorevoli alla precipitazione sotto forma di neve. Nella stagione Ottobre-Aprile le correlazioni sono minori perché, partendo da valori medi delle temperature più elevati, non è detto che temperature sotto la media risultino favorevoli alle nevicate, e di conseguenza un numero minore di episodi precipitativi risulta nevoso.

Considerando le correlazioni delle serie relative a temperature e precipitazioni a scala regionale con le serie degli indici NAO e SCA, è possibile comprendere qualcosa di più su quanto si è appena osservato.

a)		
Temperatura min (53 stazioni)		
	NAO	SCA
dm	0,304	0,129
oa	0,211	0,089

b)		
Temperatura max (53 stazioni)		
	NAO	SCA
dm	0,618	-0,345
oa	0,368	-0,352

c)		
Precipitazioni (149 stazioni)		
	NAO	SCA
dm	-0,541	0,474
oa	-0,236	0,490

Tab. 6.9 Valori di correlazione tra le serie dei dati relativi a temperature e precipitazioni mediate a scala regionale e quelle dei dati relativi agli indici climatici.

I dati nelle **Tab. 6.9 (a), b) e c)** mostrano scarsa correlazione tra le temperature minime e gli indici climatici. Per le sole stazioni di cui si considera la neve, le temperature minime risultano però correlate con l'indice NAO. Questo può essere dovuto al fatto che nelle 53 stazioni usate per costruire la serie dei dati a scala regionale, sono state utilizzate stazioni sia di pianura che di montagna. Questa scarsa correlazione potrebbe spiegarsi con il diverso comportamento delle temperature minime sui rilievi e in pianura durante gli episodi di inversione termica che si hanno frequentemente in inverno quando si presentano condizioni di alta pressione. L'indice SCA sembra invece non avere alcuna influenza sulle temperature minime, mentre è significativa la sua influenza sulle precipitazioni, specie nella stagione Ottobre-Aprile, quando mostra una correlazione maggiore dell'indice NAO.

Si può quindi concludere che l'oscillazione Nord Atlantica, rappresentata dall'indice NAO, sia quella che più determina il clima sulla nostra regione, specie nei mesi Dicembre-Marzo, influenzando le variabili meteorologiche principali (precipitazioni e temperature) e quindi anche la nevosità sui rilievi. Nella stagione Ottobre-Aprile, assume importanza anche l'indice SCA, rappresentativo della circolazione meridiana tra la regione scandinava e quella mediterranea, risultando determinante per le precipitazioni. Quest'ultimo indice risulta correlato alla nevosità stagionale solo nella stagione invernale, ma con importanti differenze tra l'Emilia e la Romagna.

Le mappe in **Fig. 6.21** mostrano le correlazioni tra precipitazioni invernali (stagione Dicembre-Marzo) e gli indici NAO e SCA. Si può ben notare che i valori di correlazione, specie per l'indice SCA, aumentano spostandosi dalla costa verso l'Emilia. Da questo risulta che l'influenza dell'indice SCA sulla Romagna è minore, e spiega, almeno in parte, anche il motivo per cui pure la

nevosità sulla Romagna, non è correlata significativamente con l'indice SCA. I risultati ottenuti per queste mappe sono in accordo con quanto ottenuto in Pavan et al., 2008; e in Quadrelli et al., 2000.

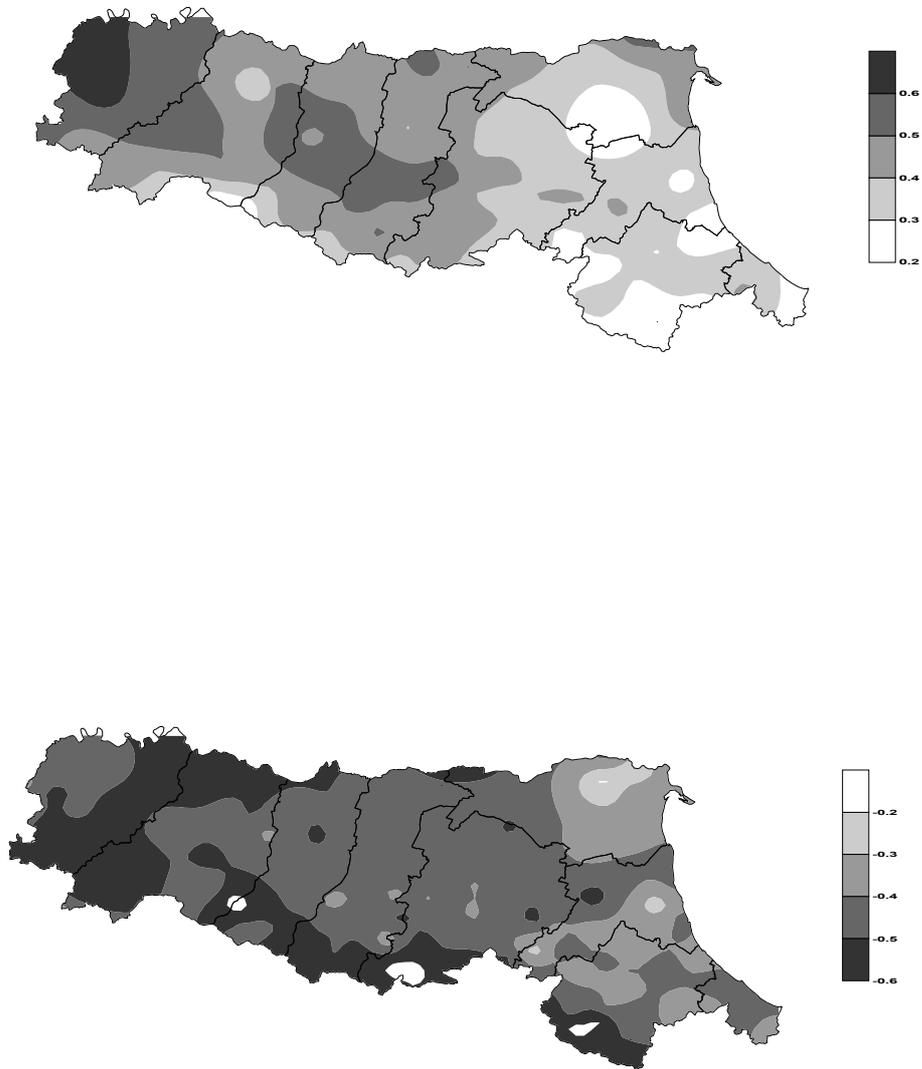


Fig. 6.20 Valori di correlazione tra precipitazioni invernali e indici SCA (in alto) e NAO (in basso).

Analizzando la variabilità dei dati si è accennato alla presenza di tendenze lineari nei dati la cui presenza va verificata e quantificata anche valutandone la significatività statistica.

Il modo per quantificare la variabilità di una serie temporale sul lungo periodo è quello di calcolare i trend delle serie dei dati, e valutarne la significatività tramite il test di Mann-Kendall.

Questa operazione fornisce i risultati raccolti in **Tab. 6.10**, **Tab. 6.11** e in **Tab. 6.12**. nella prima delle tre tabelle valori sono riferiti alle serie mediate su tutta la regione, la seconda alle serie delle stazioni locate in Emilia, la terza alle serie delle stazioni in locate Romagna.

Variabile	Stagione dm	Stagione oa
	Test	Test
Giorni di Neve	-2,3338	-1,9072
Altezza del Manto	-2,5429	-2,1916
Temperature Min	1,1460	1,7984
Temperature Max	3,3376	3,6722
Precipitazioni	-2,8441	-2,6768
NAO	4,1203	3,0945
SCA	-0,5517	-1,5516

Tab. 6.10 Significatività dei trend calcolata con il Test di Mann-Kendall per le serie dei dati relativi a neve, temperature, precipitazioni e indici climatici, per le sole stazioni con la neve.

Variabile	Stagione dm	Stagione oa
	Test	Test
Giorni di Neve	-1,7901	-1,5224
Altezza del Manto	-2,6600	-2,1247
Temperature Min (38 stazioni)	0,9536	0,9703
Temperature Max (38 stazioni)	2,6935	3,1786
Precipitazioni	-2,7102	-3,1117

Tab. 6.11 Significatività dei trend calcolata con il Test di Mann-Kendall per le serie dei dati relativi a neve, temperature, precipitazioni e indici climatici, per le sole stazioni con la neve dell'Emilia.

Variabile	Stagione dm	Stagione oa
	Test	Test
Giorni di Neve	-3,0448	-2,5095
Altezza del Manto	-2,4258	-2,1916
Temperature Min (15 stazioni)	0,5354	0,5354
Temperature Max (15 stazioni)	2,3087	2,0076
Precipitazioni	-2,6600	-2,3673

Tab. 6.12 *Significatività dei trend calcolata con il Test di Mann-Kendall per le serie dei dati relativi a neve, temperature, precipitazioni e indici climatici, per le sole stazioni con la neve della Romagna.*

Si vede quindi che tutti gli andamenti sono concordi per entrambe le stagioni, nel senso che gli indici climatici mostrano la tendenza a situazioni caratterizzate da minori precipitazioni e temperature più miti, cosa che si riscontra effettivamente nelle serie rispettive. Di conseguenza è naturale attendersi per i dati di neve un andamento negativo. L'analisi quantitativa deve però concentrarsi soltanto su quei trend che, in base al test di Mann-Kendall, risultano significativi. È dunque riscontrabile un sensibile aumento dell'indice NAO, sia nella stagione invernale che nella stagione Ottobre-Aprile, cui corrisponde un calo delle precipitazioni, come si è già potuto osservare dai grafici, ed un aumento altrettanto significativo delle temperature massime. Per quanto riguarda la nevosità su scala regionale, non risulta significativo il trend relativo al numero di giorni di manto nella stagione Ottobre-Aprile. Non sono significativi neppure i trend delle temperature minime.

L'indice SCA non presenta trend significativi.

Osservando gli andamenti distinti della zona Emiliana e Romagnola si notano alcune importanti differenze. Innanzitutto si vede come in Romagna risultino significativi tutti i trend relativi ai dati della neve, quindi la nevosità è diminuita significativamente in tutte le stagioni, sia come altezza media che come numero di giorni di manto. Sull'Emilia non si è invece registrato alcun trend significativo nel numero dei giorni di manto. Su entrambe le regioni sono calate anche le precipitazioni, anche se per l'Emilia si ha avuto un calo più significativo nella stagione Ottobre-Aprile e per la Romagna nella stagione Dicembre-Marzo. Le temperature medie sulle due zone, presentano trend positivi, che risultano significativi su entrambe le regioni solo per i valori massimi. Sulla Romagna risulta più significativo il trend delle temperature invernali, viceversa per l'Emilia. I trend relativi alle temperature Emiliane risultano tutti più significativi di quelli relativi alle temperature sulla Romagna. Questo mette in luce ancora una volta una certa diversità climatica tra le due regioni, che non concerne solo la neve e i suoi trend, ma tutte le variabili meteorologiche.

Le ragioni della differenza nell'andamento della nevosità tra Emilia e Romagna sono da

cercarsi principalmente dai trend degli indici SCA e NAO. Si è visto, quando si è mostrata la correlazione tra le serie dei dati di neve, che la regione romagnola risulta fortemente correlata con l'indice NAO, mentre nessuna correlazione è presente con l'indice SCA. L'Emilia risulta correlata invece con entrambe gli indici. È dunque ipotizzabile che il calo di nevosità sia dovuto principalmente all'indice NAO su entrambe le regioni, ma che risulti nello stesso tempo in parte controbilanciato, sull'Emilia, dall'andamento dell'indice SCA, che non presenta trend significativi, in accordo con i trend relativi al numero di giorni di neve sull'Emilia stessa.

Il calo invece che si è registrato nell'altezza del manto può essere legato al trend delle precipitazioni: meno precipitazioni invernali significano infatti nevicate meno intense e quindi un minor accumulo.

Variabile	Stagione dm	Stagione oa
	Test	Test
Temperature Min	0,8867	0,73611
Temperature Max	2,6433	2,8106
Precipitazioni	-2,292	-2,2418

Tab. 6.13 Significatività dei trend calcolata con il Test di Mann-Kendall per le serie dei dati relativi a neve, temperature, precipitazioni e indici climatici, per tutte le stazioni omogenee dell'Emilia-Romagna.

La **Tab. 6.13** mostra i trend e la relativa significatività delle serie di temperatura e precipitazioni per tutte le stazioni regionali. Da questi dati risulta che l'andamento climatico a lungo termine su tutta la regione rispecchia quello delle zone appenniniche considerate per la neve.

Si può quindi concludere che i trend che si sono registrati nel cinquantennio compreso tra l'inverno 1950/1951 e l'inverno 1999/2000, risultano complessivamente significativi a scala regionale per le temperature massime, in aumento, e le precipitazioni, in calo. Questo si rispecchia in un calo significativo dell'altezza media del manto nevoso nelle 11 stazioni considerate.

La Romagna presenta anche un calo significativo del numero di giorni di neve, cosa che non si riscontra in Emilia, dovuto probabilmente all'aumento di temperatura su questa regione.

Questi andamenti dei dati sono in accordo con gli andamenti degli indici che descrivono la situazione meteorologica a larga scala nella zona Atlantica e Mediterranea (significativo aumento dell'indice NAO) che nel medesimo periodo ha mostrato la tendenza a situazioni sfavorevoli alle nevicate sulla nostra regione.

6.2 Analisi delle singole stazioni

Dopo la prima analisi generale dei dati relativi a tutte le stazioni considerate, è bene soffermarsi sulle singole stazioni per vedere come possa essere diverso l'andamento delle serie e la variabilità interannuale della neve e delle altre variabili meteorologiche da zona a zona e come possa essere influenzata in modo diverso dalla quota.

Inoltre, nonostante la nevosità mediata su tutte le stazioni considerate mostri trend negativi nel periodo 1950/2000, questi non risultano significativi. È bene quindi chiedersi se ci sono stazioni che, per la loro posizione geografica o per la loro quota presentano trend significativi.

Le **Tab. 6.14 a) e b)** rappresentano rispettivamente valori del test di Mann-Kendall per tutte le stazioni considerate, e i valori del trend (gg anno/10 anni e cm/10 anni) per le sole stazioni con dati nell'intero cinquantennio 1951/2000.

Valori di Z	giorni			altezza		
	dm	oa	diff	dm	oa	diff
Brasimone	-0,62	-0,04	2,68	-2,07	-1,60	2,75
Campigna	-1,86	-1,55	1,36	-3,09	-2,74	3,35
Cimone	-0,79	-0,30	-0,19	-3,53	-3,35	2,59
Fontanaluccia	0,32	0,53	0,95	-1,34	-1,06	1,41
Ligonchio	-0,68	0,03	2,11	-1,67	-1,05	1,18
Lizzano	-1,82	-1,58	0,19	-2,09	-1,82	2,07
Montecatone	-1,73	-1,51	0,84	-2,40	-2,21	2,52
Ozola	-0,62	-0,51	0,38	-2,58	-2,63	3,16
Paduli	-1,61	-1,40	0,39	-2,83	-2,40	3,43
Piandelagotti	-1,48	-0,64	2,59	-1,70	-1,41	2,20
Polinago	1,54	1,83	2,13	1,24	1,29	-0,81
Premilcuore	-2,93	-2,36	1,31	-1,54	-1,32	2,09
Riola	-3,07	-2,91	0,49	-2,37	-2,07	2,65
San Benedetto	-2,88	-2,63	2,57	-2,79	-2,70	2,90
Santa Sofia	-3,04	-2,91	1,20	-2,23	-2,47	2,63
Sasso	-1,71	-1,52	1,13	-1,38	-1,38	1,28
Selvanizza	-3,00	-2,82	0,64	-2,41	-1,63	2,94
Suviana	-2,28	-1,46	0,76	-3,31	-2,97	3,66
Verghereto	-2,69	-1,93	1,84	-2,28	-1,87	2,65

Valori del trend	giorni		altezza	
	dm	oa	dm	oa
Brasimone	-1,30	-0,21	-0,94	-0,43
Campigna	-4,55	-3,84	-2,54	-1,37
Fontanaluccia	-0,18	0,61	-1,00	-0,50
Lizzano	-3,84	-3,56	-1,05	-0,56
Paduli	-5,61	-4,94	-6,97	-3,97
Premilcuore	-4,33	-3,80	-0,64	-0,31
Riola	-3,95	-3,67	-0,52	-0,28
Santa Sofia	-4,26	-4,04	-0,60	-0,34
Verghereto	-4,08	-3,43	-0,97	-0,49

Tab. 6.14 La tabella nella a) mostra la significatività dei trend dei dati della neve di tutte le stazioni nel periodo in cui queste hanno i dati. Le stazioni evidenziate possiedono dati in tutto il periodo 1951/2000. La tabella b) mostra i valori dei trend in termini di gg anno/10 anni e cm/10 anni per le sole stazioni che hanno dati in tutto il periodo 1951/2000. i dati in rosso sono quelli significativi.

Le **Tab. 6.14** mostrano i valori del trend e la loro significatività nel periodo 1951/2000 per le stazioni che hanno dati in questo periodo (Brasimone, Campigna, Fontanaluccia, Lizzano, Paduli, Premilcuore, Riola, Santa Sofia, Verghereto). Le altre stazioni mancano di alcuni anni di dati all'inizio o alla fine del periodo preso in considerazione, così che i trend sono stati calcolati su un periodo di tempo minore, e quindi non direttamente confrontabile con le altre stazioni. La stazione di Suviana infine è stata comunque inserita ma in realtà è bene non considerarla perchè su un periodo di 50 anni di dati presenta 12 anni mancanti, quindi più del 20%.

Osservando dapprima le 9 stazioni per cui si è calcolato il trend nel periodo 1951/2000, si osservano due diversi comportamenti nei dati di numero di giorni di neve e altezza media del manto. Il numero di giorni con neve presenta un trend negativo significativo per la stazione di Verghereto nella stagione Dicembre-Marzo, e in entrambe le stagioni per Riola, Premilcuore e Santa Sofia, le tre stazioni poste a quote minori. Tutti gli altri valori, pur presentando una tendenza negativa, non risultano significativi.

Tutte queste 9 stazioni (a parte Fontanaluccia e Premilcuore) presentano significativi trend di diminuzione dell'altezza media del manto nella stagione Dicembre-Marzo, e le stazioni di Paduli e Campigna, le due più elevate, insieme con Riola e Santa Sofia, le due più basse, anche nella stagione Ottobre-Aprile. È interessante qui sottolineare come Riola, Premilcuore e Santa Sofia presentino tutte e tre valori significativi per i trend del numero di giorni con neve. Il fatto che queste stazioni siano una in Emilia e due in Romagna permette di ipotizzare che l'andamento sia comune su entrambe le regioni nella fascia altimetrica più bassa, similmente a quanto osservato nelle Alpi

Svizzere in Scherrer e Appenzeller (2006)

Osservando i trend delle differenze dei dati tra le due stagioni, si vede che tutte le stazioni, a parte Fontanaluccia, presentano trend positivi e significativi per la differenza dell'altezza del manto. Sono positivi pure i trend della differenza dei numero dei giorni con neve, ma solo per la stazione del Brasimone il trend è significativo.

Quanto è stato detto fin qui può portare a concludere che negli ultimi 50 anni si sia avuto un generale calo della nevosità sull'Appennino Emiliano-Romagnolo, specie durante i mesi invernali (Dicembre-Marzo). Questo calo della nevosità è stato però più significativo per quanto riguarda la quantità di neve caduta, e quindi l'altezza media del manto al suolo. Questo è collegabile al calo significativo delle precipitazioni invernali precedentemente mostrato.

Le stazioni di Campigna e Paduli, come già detto, mostrano trend significativi anche per la stagione Ottobre-Aprile. Questo può essere dovuto alla minor quantità di neve che cade nell'inverno, oppure ad un aumento delle temperature autunnali e primaverili, stagione nelle quali è stato comunque osservato un numero significativo di nevicate anche negli anni più recenti.

È interessante notare che anche le due stazioni più basse (Riola e Santa Sofia) presentano un calo significativo per la stagione Ottobre-Aprile. In queste due località sono però bassi i valori di neve nei mesi autunnali e in Aprile, a causa della quota inferiore che porta a temperature più alte in queste stagioni, e si può quindi pensare che il calo di nevosità nella stagione Ottobre-Aprile sia dovuto principalmente alla minore quantità di neve che cade nell'inverno.

I trend della differenza di nevosità tra la stagione Ottobre-Aprile e Dicembre-Marzo, mostrano invece uno spostamento significativo delle nevicate dalla stagione invernale verso quella primaverile e autunnale.

Una considerazione a parte la merita la stazione di Fontanaluccia, che non presenta alcun trend significativo. Come si vedrà più avanti in questo lavoro, la stazione di Fontanaluccia presenta altri dati in forte disaccordo con le altre stazioni. Nel corso dell'elaborazione dei dati relativi alle temperature si è inoltre osservato per questa stazione un trend di calo delle temperature minime che risulta in disaccordo con l'andamento climatico dell'intera regione. La più semplice spiegazione per tali andamenti può essere ricercata in uno spostamento della stazione, probabilmente da una posizione a mezza costa ad una posizione di fondovalle, magari sulla diga o da essa riparata. Questo spiegherebbe almeno in parte gli andamenti registrati (calo delle temperature minime, assenza di trend nella neve).

Anche la stazione di Premilcuore non presenta trend significativi nell'altezza media del manto, ma sono per questa stazione in calo il numero di giorni di neve.

L'analisi dei trend delle altre stazioni mostra sostanzialmente andamenti simili tra loro, con alcune differenze dovute alla quota.

Partendo dalla stazione del Monte Cimone, la più elevata, si nota l'assenza di trend nel numero di giorni di neve. Questo è naturale se si pensa che la prima neve cade generalmente nel mese di novembre e dura fino a maggio inoltrato. Più interessante è invece osservare i trend dell'altezza media del manto. In questa stazione infatti si registrano i valori più alti di significatività. Il calo delle precipitazioni, l'aumento delle temperature e i cambiamenti nella circolazione media invernale che già si sono descritti hanno prodotto su questa stazione in quota gli effetti più significativi a causa della quota a cui si trova. I trend sono qui calcolati su un periodo di 36 stagioni, dal 1963 al 1998.

La stazione di Ozola, per la quale i trend sono calcolati dal 1960 al 2000, presenta gli stessi andamenti descritti per il Monte Cimone, nonostante si trovi 1000 metri più in basso.

La stazione di Piandelagotti (48 stagioni, dal 1951 al 1998) si trova alla stessa quota di Ozola, ma, come già detto nel capitolo dedicato alla climatologia delle stazioni, in diverse condizioni orografiche. Per questa stazione tutti i trend dei dati sono negativi, ma nessuno è significativo. Sono però significativi i trend della differenza della nevosità nelle due stagioni.

La stazione di Polinago (37 stagioni, dal 1951 al 1988) è molto interessante perché è l'unica che esclude il periodo scarsamente nevoso degli anni novanta. Ne conseguono trend che, pur non essendo significativi, mostrano comunque una tendenza positiva nei dati. Questo è segno evidente che, cambiando il periodo che si prende in considerazione, cambiano in modo anche significativo i trend che si ottengono. Da qui la necessità di confrontare tra loro soltanto trend relativi al medesimo intervallo di tempo.

La stazione di San Benedetto in Alpe presenta trend significativi per tutti i dati, ma la serie presenta diversi buchi.

La stazione di Selvanizza manca di 3 inverni all'inizio del periodo considerato, e presenta trend negativi e significativi per il numero di giorni di manto in entrambe le stagioni, e dell'altezza media nella sola stagione invernale.

Per concludere questa panoramica si hanno ancora le stazioni di Ligonchio (46 stagioni), Montecacuto Vallese (48, stagioni, dal 1951 al 1998) e Sasso Marconi (45 stagioni, dal 1951 al 1995). Ligonchio non presenta trend significativi, ma purtroppo diversi anni mancano. Si può pensare che la mancanza di trend significativi per questa stazione sia dovuta a questo. La stazione di Montecacuto presenta andamenti del tutto simili a quelli già riscontrati per stazioni come Lizzano e Verghereto, poste nella stessa fascia altimetrica, ma anche l'altezza del manto nella stagione Ottobre-Aprile presenta qui un trend negativo significativo. Infine la stazione di Sasso Marconi non

presenta alcun trend significativo. Quest'ultimo dato può essere dovuto alla minor nevosità di questa stazione rispetto a tutte le altre. In una stazione dove la neve non è mai abbondante, i fattori che hanno determinato i cambiamenti riscontrati in questo capitolo, non hanno prodotto cali significativi di nevosità, almeno fino al 1995. Avendo però analizzato anche la stazione di Riola di Vergato e avendo notato che queste due stazioni presentano gli stessi valori medi per la neve, si potrebbe pensare che pure i trend nelle due stazioni sarebbero i medesimi, se si disponesse dei dati fino al 2000 anche per Sasso Marconi.

Variazioni Percentuali	Giorni		Altezza		Precipitazioni	
	dm	oa	dm	oa	dm	oa
Brasimone	-2,97	-0,43	-13,11	-9,86	-8,66	-2,76
Campigna	-8,53	-6,35	-20,34	-18,07	-5,663	-2,51
Fontanaluccia	-0,38	1,19	-13,47	-11,20	-4,16	-1,98
Lizzano	-10,97	-9,59	-17,73	-15,67	-9,19	-3,88
Paduli	-6,22	-4,37	-20,74	-16,84	-7,19	-6,60
Premilcuore	-20,32	-16,45	-19,52	-14,91	-6,56	-3,35
Riola	-29,71	-25,54	-28,89	-25,18	-12,68	-8,18
Santa Sofia	-21,27	-19,40	-22,30	-20,94	-10,97	-10,02
Verghereto	-13,74	-10,27	-19,02	-15,68	-8,66	-2,76

Tab. 6.15 La tabella in alto mostra la percentuale di variazione dei trend (giorni e cm ogni 10 anni) rispetto al valore medio nel periodo 1951/2000. In rosso i valori che risultano significativi.

La **Tab. 6.15** mostra le percentuali di variazione ogni 10 anni rispetto al valore medio del cinquantennio 1951/2000.

Osservando ora i valori dei trend, si può indagare come le diverse situazioni geografiche influiscano sui trend stessi. Si possono ad esempio cercare differenze tra Emilia e Romagna nelle varie fasce altimetriche, oppure le differenze nelle stesse sub regioni tra una quota e l'altra. Si prenderanno in considerazione solo i trend che risultano significativi.

Iniziando dal confronto tra le stazioni di Paduli e Campigna, poste nella stessa fascia altimetrica, si ha che i trend per la stazione di Paduli indicano un calo dell'altezza media di 6,97 cm ogni 10 anni per la stagione Dicembre-Marzo, e di 3,97 cm per la stagione Ottobre-Aprile. I valori dei trend per la stazione di Campigna sono invece di -2,54 cm ogni 10 anni per l'altezza media del manto nel periodo Dicembre-Marzo, e di -1,37 cm nel periodo Ottobre-Aprile. Si potrebbe qui obiettare che il calo della nevosità a Campigna è minore di quello registrato al Lago Paduli. Bisogna però considerare, oltre al dato indicato dal trend, anche il dato medio dell'altezza della neve. Lago Paduli presenta un valore medio dell'altezza del manto di 36,6 cm nel periodo Dicembre-Marzo e di 23,6 cm nel periodo Ottobre-Aprile (negli anni 1951/2000), mentre gli stessi dati per Campigna

sono, nelle rispettive stagioni: 12,2 cm e 7,5 cm. Se si fa quindi un rapporto tra i valori del trend e i dati medi si scopre che il calo della nevosità è circa del 20% ogni 10 anni, nella stagione Dicembre-Marzo, in entrambe le stazioni, mentre per la stagione Ottobre-Aprile i cali sono del 17% al Lago Paduli e del 18% a Campigna, come si può osservare anche dalla **Tab. 6.15**. il calo di nevosità avvenuto in queste due stazioni è dunque dello stesso ordine percentuale.

Il confronto appena fatto tra i dati di Campigna e Paduli è, come detto, molto significativo, perché riguarda due stazioni poste nella stessa fascia altimetrica, ma una in Emilia e una in Romagna. Il fatto che presentino i medesimi andamenti nei trend della neve può quindi essere indice di un medesimo andamento climatico nelle due regioni.

Un altro utile confronto può essere fatto tra stazioni poste a quote diverse, ma nella stessa zona, come Campigna e Verghereto o Lizzano e Riola.

I trend dell'altezza della neve a Verghereto sono di -0,97 cm/10 anni per la stagione Dicembre-Marzo e di -0,49 cm/10 anni per la stagione Ottobre-Aprile, quest'ultimo non risulta però significativo. Le altezze medie del manto sono, rispettivamente, di 5,3 e 3,2 cm. Nella stagione Dicembre-Marzo si è quindi registrato un calo dell'altezza del manto pari al 18%, paragonabile a quello registrato a Campigna.

I cali percentuali registrati a Riola di vergato risultano invece maggiori di quelli registrati a Lizzano, che per altro non presenta trend significativi nella stagione Ottobre-Aprile, come già detto.

A parità di quota ancora possiamo confrontare Brasimone e Verghereto. I trend della stazione del Brasimone indicano un calo dell'altezza media del manto di 0,94 cm/10 anni per la stagione Dicembre-Marzo, mentre per la stagione Ottobre-Aprile il calo è di 0,43 cm/10 anni, ma dai test non risulta significativo. Considerando che l'altezza media del manto nelle due stagioni è di 7,1 cm e 4,4 cm, il calo percentuale risulta del 13% nella stagione Invernale. Quindi il calo di nevosità del Brasimone è minore che quello del Verghereto.

La **Tab. 6.15** raccoglie anche i dati di variazione percentuale delle precipitazioni per le località considerate. Quello che si può notare è che le variazioni percentuali delle precipitazioni sono minori di quelle relative alla neve. Questo indica che la variazione della nevosità non è completamente dovuta alla variazione dei regimi pluviometrici. È interessante notare però che i cali percentuali maggiori nelle precipitazioni si hanno nelle stazioni in cui si ha anche il calo percentuale maggiore nella neve (Riola e Santa Sofia).

Da ciò che si è visto fino ad ora si deduce che il comportamento della nevosità alle quote più alte (oltre i 1000 metri slm) sia simile in Emilia e in Romagna, mentre per le quote più basse si è registrato un calo maggiore in Romagna, consistentemente con quanto osservato nel precedente capitolo.

I cali percentuali maggiori si registrano però nelle stazioni poste a quota minore (Riola e Santa Sofia), e questo si spiega principalmente con l'innalzamento delle temperature medie di questa fascia altimetrica dovuto all'innalzamento dello zero termico. L'innalzamento dello zero termico infatti comporta un calo di nevosità su tutte le quote, ma alle quote più basse può comportare la mancanza totale di episodi nevosi. Uno studio del servizio meteorologico svizzero ha preso in considerazione proprio questo dato nello spiegare parte della variazione della nevosità sull'arco Alpino elvetico, evidenziando come nelle località vallive, quindi a quota più bassa, proprio l'innalzamento dello zero termico comporti il principale calo di nevosità (Scherrer e Appenzeller (2006)).

Si è detto precedentemente che la tendenza evidenziata dalla differenza tra i dati della stagione Ottobre-Aprile e i dati della stagione Dicembre-Marzo, evidenziano, specie per l'altezza del manto, una tendenza positiva, segno di uno spostamento delle nevicate dalla stagione invernale verso la stagione autunnale e/o primaverile. Nell'elaborazione dei dati si è anche potuto osservare un aumento della frequenza delle nevicate nei mesi di Aprile e Novembre. Mentre infatti nei periodi nevosi degli anni '50, '60 e '70, le precipitazioni nevose abbondanti si verificavano principalmente nei mesi di Gennaio e Febbraio, negli ultimi due decenni sono aumentati gli episodi di neve negli altri mesi.

Per verificare questa tendenza si è costruita una serie mediata e normalizzata rispetto alla varianza per i valori di neve nei mesi da Novembre ad Aprile per le 11 stazioni con i dati della neve nel periodo 1951/2000. Di questa serie si è calcolata la significatività del trend con il test di Mann-Kendall, ottenendo i risultati in **Tab. 6.16**

Z	Giorni	Altezza
Novembre	1,154	1,004
Dicembre	0,084	0,234
Gennaio	-2,409	-2,560
Febbraio	-1,489	-2,141
Marzo	-1,154	-1,138
Aprile	0,560	0,226

Tab. 6.16 Significatività dei trend per le serie della neve mediata su 10 stazioni e normalizzata rispetto alla varianza per i singoli mesi nelle stazioni con dati dal 1951 al 2000..

Nella **Tab. 6.16** non è presente il mese di Ottobre poiché solo in una delle stazioni considerate si sono avute, nel cinquantennio 1951/2000, nevicate in questo mese.

I valori calcolati risultano significativi per le stazioni considerate solo nel mese di Gennaio per quanto riguarda il numero di giorni con manto, e per Gennaio e Febbraio per quanto riguarda l'altezza media del manto. Gli altri test non sono significativi, ma è comunque interessante notare come la tendenza sia negativa anche per il mese di Marzo, mentre Aprile e Dicembre, e specialmente Novembre, mostrino trend positivi. Da questi dati si può concludere che siano proprio i due mesi centrali dell'inverno ad aver subito il principale calo della nevosità, e questo calo ha influito sulla nevosità media di tutta la stagione proprio perché Gennaio e Febbraio sono i due mesi più nevosi.

I trend significativi della differenza del numero di giorni di manto e altezza del manto tra le due stagioni (Dicembre-Marzo e Ottobre-Aprile) che si sono precedentemente mostrati si spiegano allora sia con il calo delle nevicate invernali sia con l'aumento delle nevicate nei mesi di Novembre e Aprile. I dati nella **Tab. 6.16** sono infine un utile indice di come la nevosità nella stagione fredda non cada sempre nello stesso periodo, ma subisca nel tempo variazioni.

Passando ora ad analizzare le correlazioni per le singole stazioni è possibile indagare come le variabili e gli indici climatici già descritti possano eventualmente influenzare in diverso modo le stazioni a seconda della loro quota e della loro collocazione geografica

Si sono così calcolate le correlazioni nelle varie stazioni tra i dati di altezza della neve e giorni di manto e le temperature massime, minime, le precipitazioni, nonché gli indici climatici SCA e NAO. Le **Tab. 6.17 a), b), c) e d)** riportano i risultati ottenuti da queste correlazioni, sia per il numero di giorni di manto che per l'altezza del manto, nelle due stagioni: Dicembre-Marzo e Ottobre-Aprile. Non sono presenti i dati delle stazioni di Ozola e Polinago perché hanno dati in un periodo limitato di tempo. Il Monte Cimone è invece stato considerato ugualmente per la sua posizione in alta quota, che può fornire alcune importanti considerazioni, come si vedrà.

a)

Giorni					
Dicembre/Marzo	Tmin	Tmax	Prec	NAO	SCA
Fontanaluccia	-0,302	-0,497	0,065	-0,128	0,237
Suviana	-0,692	-0,794	0,390	-0,381	0,251
Paduli	-0,563	-0,533	0,173	-0,472	0,382
Brasimone	\	\	0,184	-0,351	0,290
Lizzano	\	\	0,262	-0,318	0,316
Ligonchio	-0,435	-0,502	0,369	-0,323	0,532
Piandelagotti	-0,645	-0,731	0,222	-0,459	0,497
Monteacuto	\	\	0,374	-0,304	0,222
Cimone*	-0,204	-0,270	\	-0,408	0,376
Campigna	-0,667	-0,691	0,336	-0,406	0,267
Verghereto	-0,667	-0,682	0,373	-0,336	0,021
Sasso*	\	\	0,162	-0,379	0,226
Riola	\	\	0,361	-0,447	0,146
Selvanizza	\	\	0,545	-0,517	0,426
San Benedetto	\	\	0,573	-0,472	0,301
Santa Sofia	\	\	0,479	-0,521	0,062
Premilcuore	\	\	0,438	-0,517	0,107

b)

Altezza					
Dicembre/Marzo	Tmin	Tmax	Prec	NAO	SCA
Fontanaluccia	-0,150	-0,434	0,127	-0,199	0,242
Suviana	-0,563	-0,693	0,383	-0,493	0,305
Paduli	-0,587	-0,485	0,020	-0,416	0,436
Brasimone	\	\	0,252	-0,387	0,301
Lizzano	\	\	0,233	-0,328	0,288
Ligonchio	-0,536	-0,591	0,276	-0,308	0,453
Piandelagotti	-0,562	-0,587	0,171	-0,265	0,302
Monteacuto	\	\	0,393	-0,393	0,222
Cimone*	-0,608	-0,699	\	-0,744	0,449
Campigna	-0,722	-0,729	0,416	-0,447	0,203
Verghereto	-0,674	-0,670	0,394	-0,344	0,054
Sasso*	\	\	0,143	-0,340	0,334
Riola	\	\	0,312	-0,462	0,274
Selvanizza	\	\	0,364	-0,390	0,387
San Benedetto	\	\	0,535	-0,460	0,284
Santa Sofia	\	\	0,501	-0,521	0,136
Premilcuore	\	\	0,357	-0,497	0,129

c)

Giorni					
Ottobre/Aprile	Tmin	Tmax	Prec	NAO	SCA
Fontanaluccia	-0,158	-0,379	0,038	-0,142	0,127
Suviana	-0,584	-0,655	0,410	-0,429	0,203
Paduli	-0,492	-0,275	0,088	-0,458	0,277
Brasimone	\	\	0,221	-0,275	0,209
Lizzano	\	\	0,106	-0,307	0,266
Ligonchio	-0,468	-0,412	0,170	-0,109	0,328
Piandelagotti	-0,595	-0,635	0,222	-0,309	0,378
Monteacuto	\	\	0,297	-0,278	0,181
Cimone*	-0,425	-0,446	\	-0,137	0,211
Campigna	-0,556	-0,537	0,340	-0,347	0,197
Verghereto	-0,468	-0,532	0,245	-0,325	0,026
Sasso*	\	\	0,123	-0,337	0,237
Riola	\	\	0,252	-0,390	0,200
Selvanizza	\	\	0,314	-0,460	0,451
San Benedetto	\	\	0,461	-0,417	0,287
Santa Sofia	\	\	0,488	-0,388	0,032
Premilcuore	\	\	0,348	-0,449	0,081

d)

Altezza					
Ottobre/Aprile	Tmin	Tmax	Prec	NAO	SCA
Fontanaluccia	-0,010	-0,299	-0,003	-0,241	0,239
Suviana	-0,471	-0,586	0,313	-0,546	0,280
Paduli	-0,536	-0,241	-0,017	-0,388	0,376
Brasimone	\	\	0,139	-0,311	0,216
Lizzano	\	\	0,063	-0,275	0,296
Ligonchio	-0,584	-0,517	0,062	-0,216	0,315
Piandelagotti	-0,536	-0,521	0,147	-0,280	0,208
Monteacuto	\	\	0,295	-0,364	0,107
Cimone*	-0,524	-0,656	\	-0,659	0,478
Campigna	-0,659	-0,651	0,389	-0,451	0,203
Verghereto	-0,527	-0,575	0,290	-0,349	0,074
Sasso*	\	\	0,113	-0,308	0,263
Riola	\	\	0,207	-0,394	0,285
Selvanizza	\	\	0,159	-0,288	0,373
San Benedetto	\	\	0,477	-0,383	0,286
Santa Sofia	\	\	0,483	-0,398	0,111
Premilcuore	\	\	0,276	-0,447	0,055

Tab. 6.17 *La tabella mostrano le correlazioni tra le serie dei dati della neve e le serie di precipitazione e temperatura delle rispettive località nel periodo 1951/2000, nonché le correlazioni con gli indici NAO e SCA. (*) Le correlazioni relative alle stazioni di Sasso e Monte Cimone sono calcolate su un periodo più breve.*

La correlazione tra le serie della temperatura e le serie della neve risulta, come era da attendersi, negativa. È però interessante notare come non sempre tale correlazione sia significativa.

Per la stagione Dicembre-Marzo ad esempio, le temperature non presentano correlazione con il numero di giorni di manto al Monte Cimone. Qui la spiegazione è però riconducibile al fatto che praticamente in tutti gli anni considerati per il Monte Cimone, il manto è durato per tutti i 121 giorni di questi 4 mesi.

La stazione di Fontanaluccia non presenta correlazioni significative delle temperature minime con i dati della neve, e questo è riconducibile agli andamenti delle due variabili già descritti, ed è un ulteriore fattore che conferma l'ipotesi che sia presente nella serie relativa a Fontanaluccia una qualche disomogeneità introdotta da possibili spostamenti o modifiche sulla stazione.

La stazione di Lago Paduli non presenta correlazioni negative tra le temperature massime nella stagione Ottobre-Aprile e i dati della neve.

Quello che si ricava dalle altre stazioni è che la temperatura risulta fondamentale nel determinare la durata e l'altezza media del manto, indipendentemente dalla quota e dalla localizzazione delle stazioni.

Le serie delle precipitazioni nella maggior parte dei casi non presentano correlazioni con i dati della neve per le stazioni dell'Emilia. Nella stagione Dicembre-Marzo, ci si potrebbe aspettare una correlazione significativa di queste due variabili, specie per le stazioni più elevate, dove ci si aspetta una maggiore frequenza delle precipitazioni nevose. In realtà solo le stazioni di Suviana, Ligonchio e Monteacuto Vallese, Riola e Selvanizza presentano correlazioni significative e positive in questa stagione tra queste variabili, ma la stazione di Ligonchio solo per il numero di giorni di manto e non per l'altezza.

Nella stagione Ottobre-Aprile sono ancora le stazioni di Suviana e Monteacuto Vallese e Selvanizza a presentare correlazioni tra precipitazioni e neve, ma sono correlazioni meno significative che nella stagione invernale, e questo è riconducibile al fatto che questa stagione è caratterizzata da temperature medie più alte, così che una frazione minore di precipitazioni avviene sotto forma di neve. Le stazioni della Romagna presentano tutte invece correlazioni significative con la precipitazione, sia nella stagione Dicembre-Marzo che nella stagione Ottobre-Aprile. Anche qui la correlazione risulta più significativa nell'Inverno.

Questa diversa correlazione tra neve e precipitazione nelle due zone della regione era già stata evidenziata nella parte precedente di questo lavoro.

Come ultima cosa è interessante osservare le correlazioni tra gli indici climatici (NAO e SCA) e

i dati della neve.

Nella stagione Dicembre-Marzo l'indice NAO presenta correlazioni negative significative per tutte le stazioni, eccetto che per Fontanaluccia e per Piandelagotti (ma solo per i dati di altezza del manto). Ancora una volta Fontanaluccia risulta quindi in disaccordo con le altre stazioni.

Nella stagione Ottobre-Aprile le correlazioni presentano valori minori.

I valori di correlazione maggiore per l'indice NAO si registrano per il Monte Cimone, e poi a seguire per tutte le stazioni della Romagna e per le stazioni Emiliane poste a bassa quota.

L'alto valore calcolato per il Monte Cimone è dovuto all'alta quota. Situazioni di NAO negativa si è detto favoriscono temperature basse e precipitazioni abbondanti. L'alta quota di questa stagione fa sì che, con bassi valori di tale indice, sia abbondante la nevosità della stazione.

I valori di correlazione con l'indice NAO calcolati per le stazioni Romagnole e per le stazioni a bassa quota evidenziano ancora una volta come l'indice NAO sia il principale fattore che influenza la nevosità sulla parte Orientale del territorio, ma mostra anche come sia il principale fattore che porta a nevicate in bassa quota. Per queste stazioni infatti non risulta significativa la correlazione con l'indice SCA, nella stagione invernale. Come si è detto nella descrizione di tale indice, valori positivi indicano un richiamo di aria mite e umida da Sud-Est. Quest'aria chiaramente arriva sulla nostra regione dall'Adriatico, investendo i rilievi romagnoli e provocando un aumento delle temperature su questa zona e sulle zone a bassa quota del resto del territorio regionale.

Ci sono però delle eccezioni. Infatti la stazione di San Benedetto, pur trovandosi in Romagna, risulta correlata con l'indice SCA. Questa però è la stazione più occidentale delle stazioni romagnole, e si trova già a quasi 600 metri, riparata dai rilievi del Monte Falterona, e dell'Alpe di San Benedetto.

Anche Sasso Marconi e Riola presentano correlazioni tra altezza del manto e indice SCA, ma solo per la stagione Dicembre-Marzo la prima e per la stagione Ottobre-Aprile la seconda.

L'indice SCA presenta correlazioni che nella stagione invernale, sono più significative per le stazioni alle quote più elevate. Nella stagione Ottobre-Aprile, anche in questo caso, le correlazioni sono minori. Inoltre questo indice presenta le correlazioni più significative per le stazioni più occidentali, sembra quindi trovare conferma quanto detto nella descrizione di questo indice e della circolazione di cui è rappresentativo: l'indice SCA positivo favorisce le nevicate sulla zona occidentale della regione, specie alle quote più elevate.

6.3 Gli ultimi anni

Per concludere questa analisi dei dati della neve ci si può chiedere se negli ultimi anni si siano avuti ulteriori variazioni nella climatologia della neve. Continua fino ad oggi il periodo poco nevoso iniziato negli anni '80? Oppure siamo passati ad un periodo ancora meno nevoso o viceversa più nevoso?

Si cercherà ora di guardare all'andamento della nevosità negli ultimi anni, quelli successivi al 2000. Tra le 11 stazioni precedentemente usate per studiare la variabilità della neve 3 non possiedono dati successivi al 2002, mentre per alcune delle altre i dati arrivano al 2005 o 2006. per questo motivo si sono disegnati i grafici che, come nella sezione 6.1, rappresentano la media dei dati della neve normalizzata rispetto alla varianza, per le stazioni che hanno dati dal 1950 fino all'inverno 2004/2005. si sono considerate le stazioni di Fontanaluccia, Riola, Lizzano, Brasimone, Santa Sofia, Verghereto, Campigna e Premilcuore.

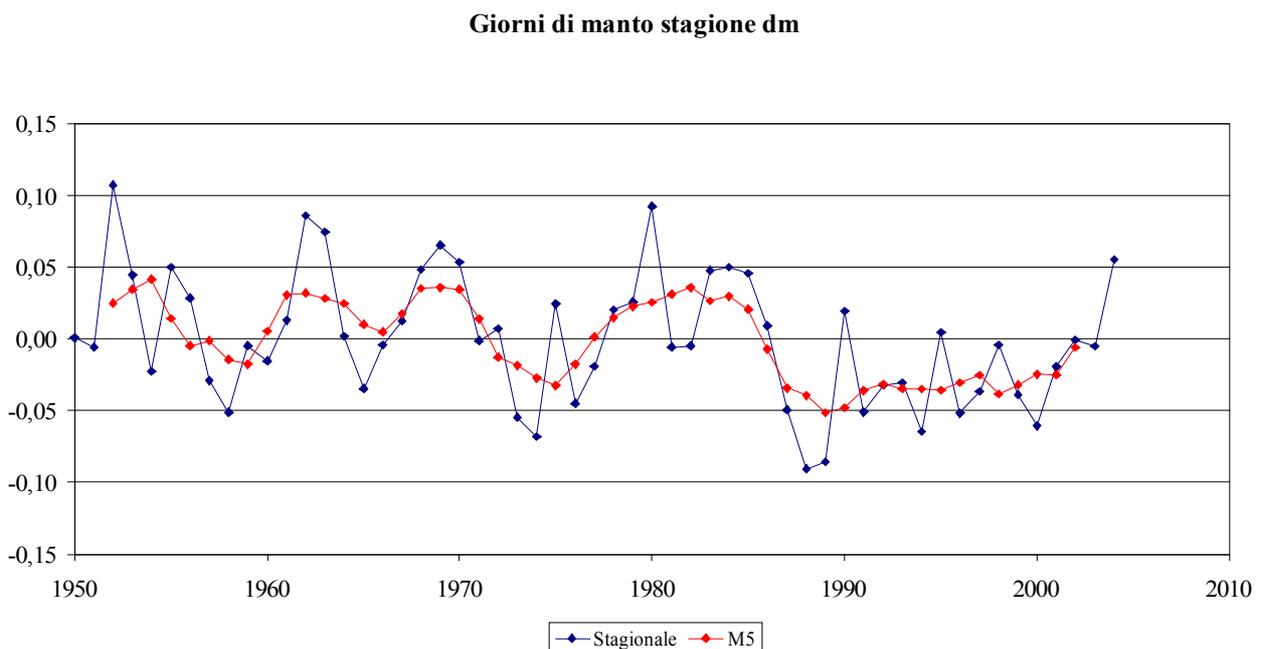


Fig. 6.21 Numero di giorni di presenza al suolo del manto nevoso nella stagione Dicembre-Marzo, per 8 stazioni nel periodo 1950/2005. In blu i valori stagionali, in rosso la serie delle medie su 5 anni.

Altezza del manto stagione dm

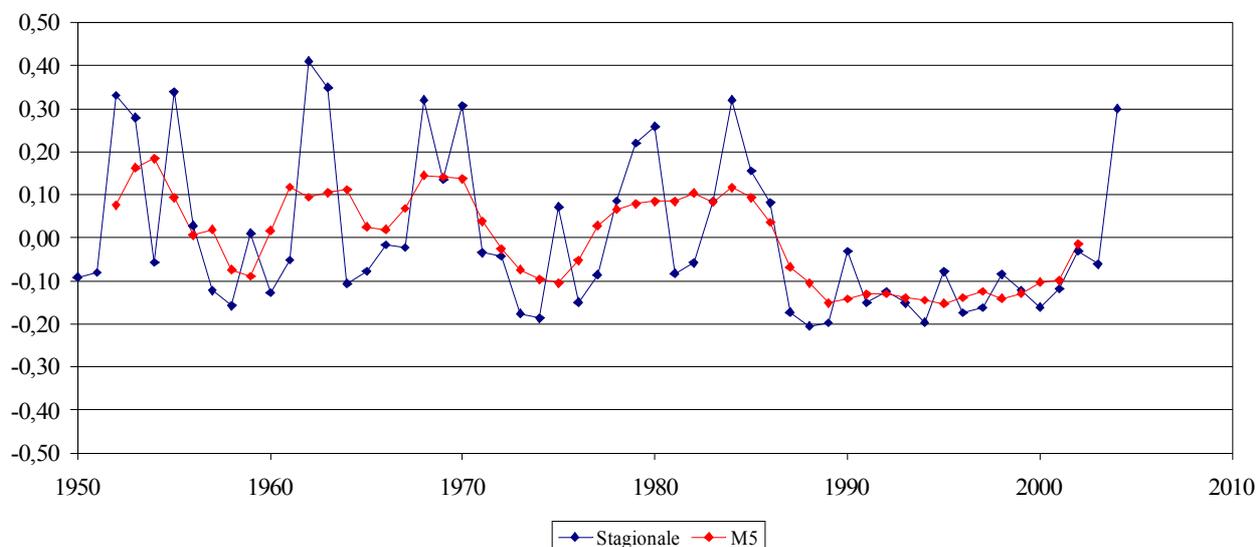


Fig. 6.22 Altezza media del manto nevoso nella stagione Dicembre-Marzo, per 8 stazioni nel periodo 1950/2005. In blu i valori stagionali, in rosso la serie delle medie su 5 anni.

Il risultato di tali elaborazioni è mostrato nelle **Fig. 6.21** e **6.22**, e sono relativi alla sola stagione invernale. Quello che è evidente da questi due grafici è che, nelle stazioni prese in considerazione, a partire dall'anno 2000 si ha avuto un aumento del numero di giorni di manto e dell'altezza media. La stagione 2004/2005, in particolare, è risultata nevosa quanto le stagioni di metà degli anni '80. Anche la serie dei dati mediati sui 5 anni mostra una tendenza positiva, con valori che tornano ad avvicinarsi allo zero.

Le stagioni successive al 2005, non presenti in grafico poiché solo poche stazioni, come detto hanno dati oltre questa data, mostrano una grande variabilità. Ancora nevosa è stata la stagione 2005/2006, anche se solo alle quote più alte e in Emilia (100 giorni di neve a Ligonchio nella stagione Dicembre-Marzo, 77 a Fontanaluccia, 76 a Selvanizza), mentre scarsamente nevoso è stato l'inverno 2006/2007, che tutti ricorderanno come un inverno particolarmente mite. Quest'ultima stagione è risultata simile alle stagioni 1988/89, caratterizzate anch'esse da clima particolarmente mite, poco piovoso e quindi scarsamente nevoso. Gli ultimi due inverni invece hanno visto un nuovo aumento della nevosità. In modo particolare l'inverno 2008/2009, del quale non si dispone ancora dei dati, è stato particolarmente nevoso, specie oltre ai 1000 metri di quota.

Come si è fatto nelle sezioni precedenti è utile anche qui guardare agli andamenti delle altre variabili meteorologiche e degli indici climatici che si sono già ampiamente descritti.

La **Fig. 6.23** mostra l'andamento delle precipitazioni invernali mediate su scala regionale, mentre le **Fig. 6.24** e **6.25** mostrano l'andamento delle temperature minime e massime regionali,

sempre nella stagione invernale.

A livello regionale si può così osservare una generale tendenza positiva delle precipitazioni a partire dal 1990, con valori che sono nuovamente tornati sopra la media del cinquantennio 1951/2000, anche per la serie mediata sui 5 anni, proprio dopo il 2000.

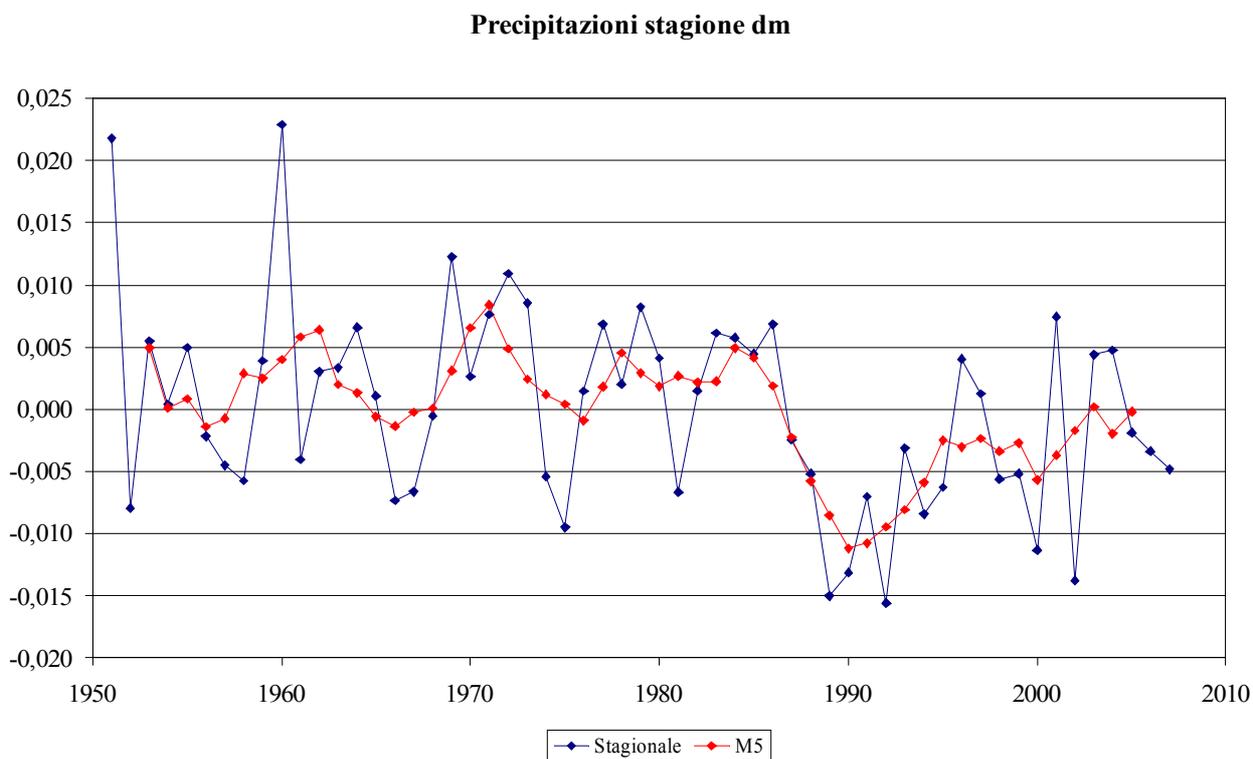


Fig. 6.23 Andamento delle precipitazioni invernali (stagione Dicembre-Marzo) per 149 stazioni. In blu la serie stagionale, in rosso la serie mediata su 5 anni.

Le temperature, sempre a livello regionale, mostrano una tendenza alla diminuzione, dopo l'anno 2000, ma è evidente il valore relativo all'inverno 2006/2007, che risulta il più elevato dal 1950/51.

Temperature minime stagione dm

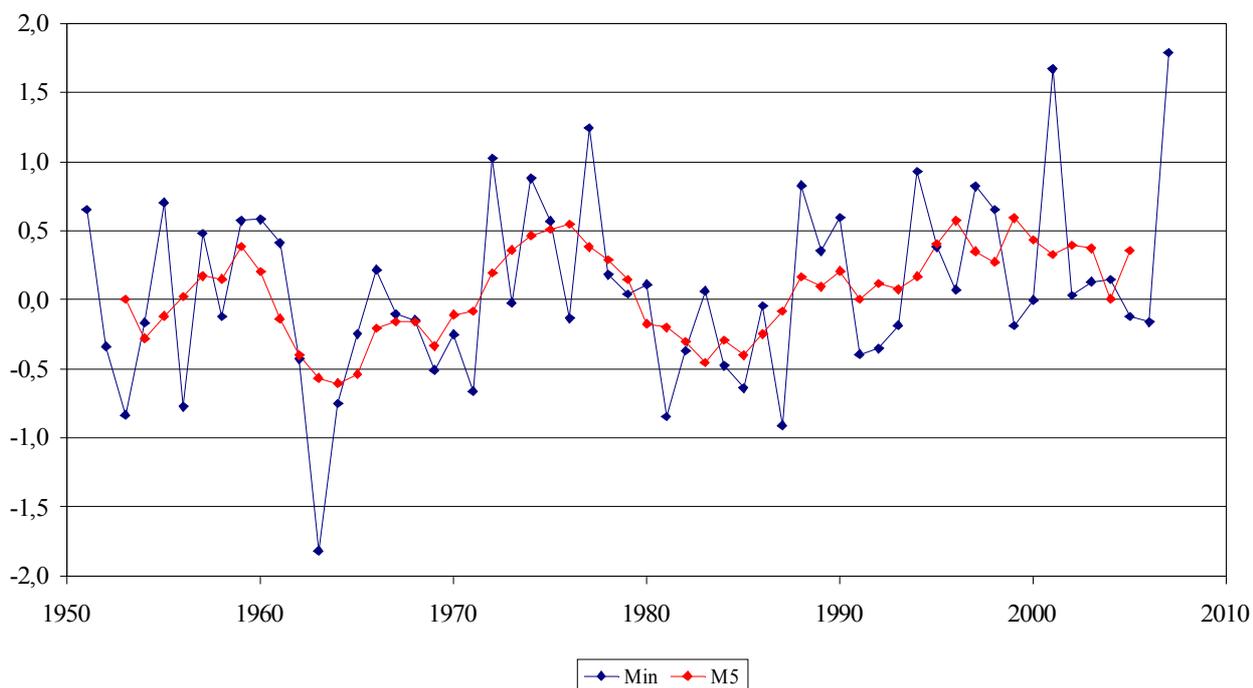


Fig. 6.24 Andamento delle temperature minime invernali (stagione Dicembre-Marzo) per 53 stazioni. In blu la serie stagionale, in rosso la serie mediata su 5 anni.

Temperature massime stagione dm

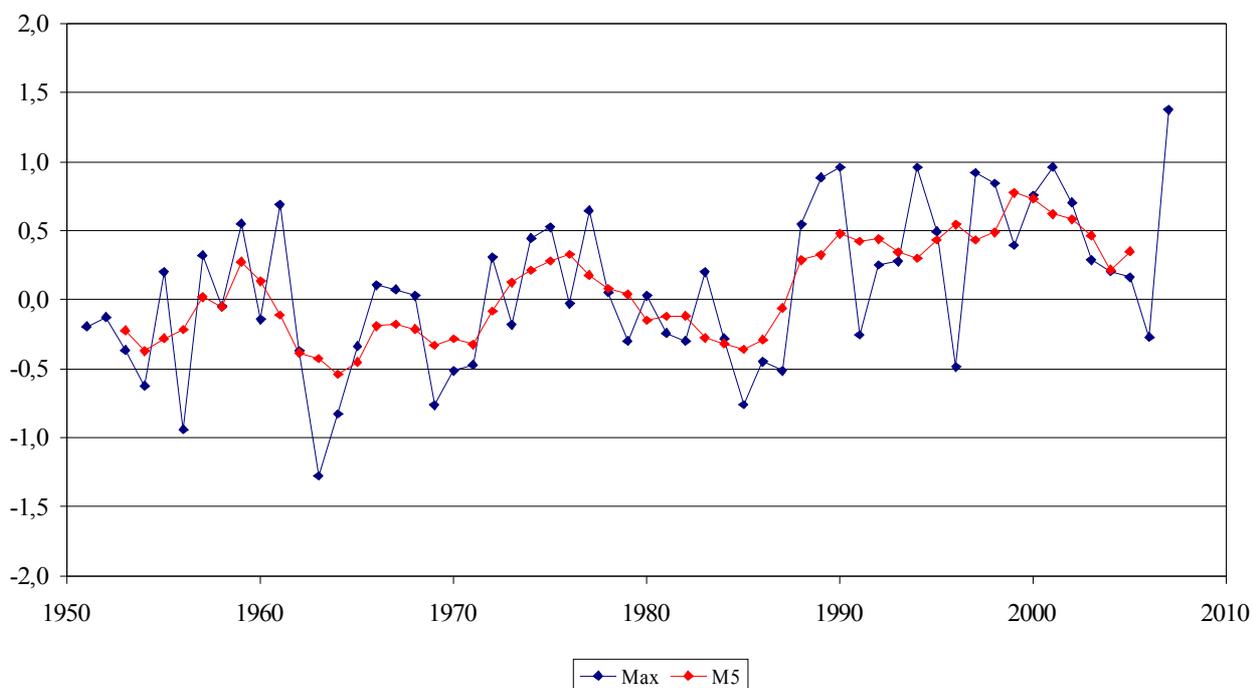


Fig. 6.25 Come sopra per le temperature massime invernali

Per concludere è bene considerare anche gli indici NAO e SCA, presentati rispettivamente nelle Fig. 6.26 e 6.27.

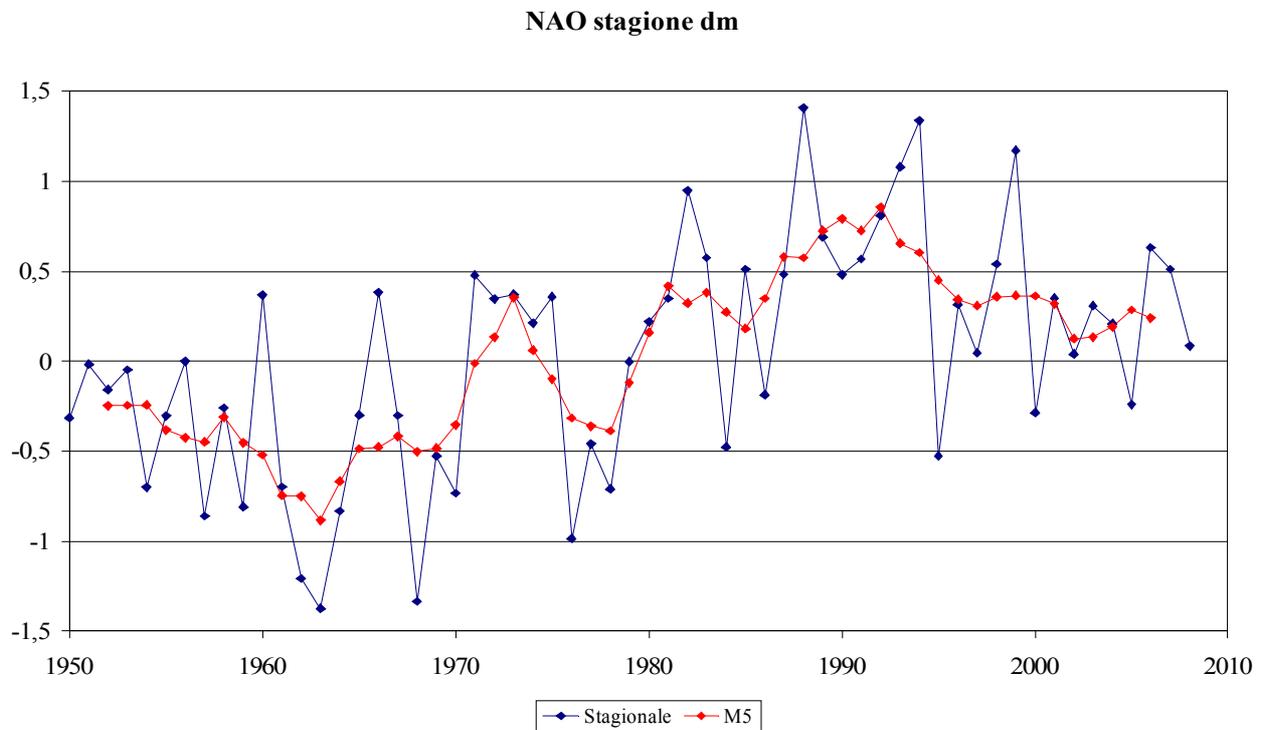


Fig. 6.26 Andamento dell'indice NAO nella stagione Dicembre-Marzo dall'inverno 1950/51 all'inverno 2008/2009. In blu la serie stagionale, in rosso la serie mediata su 5 anni.

SCA stagione dm

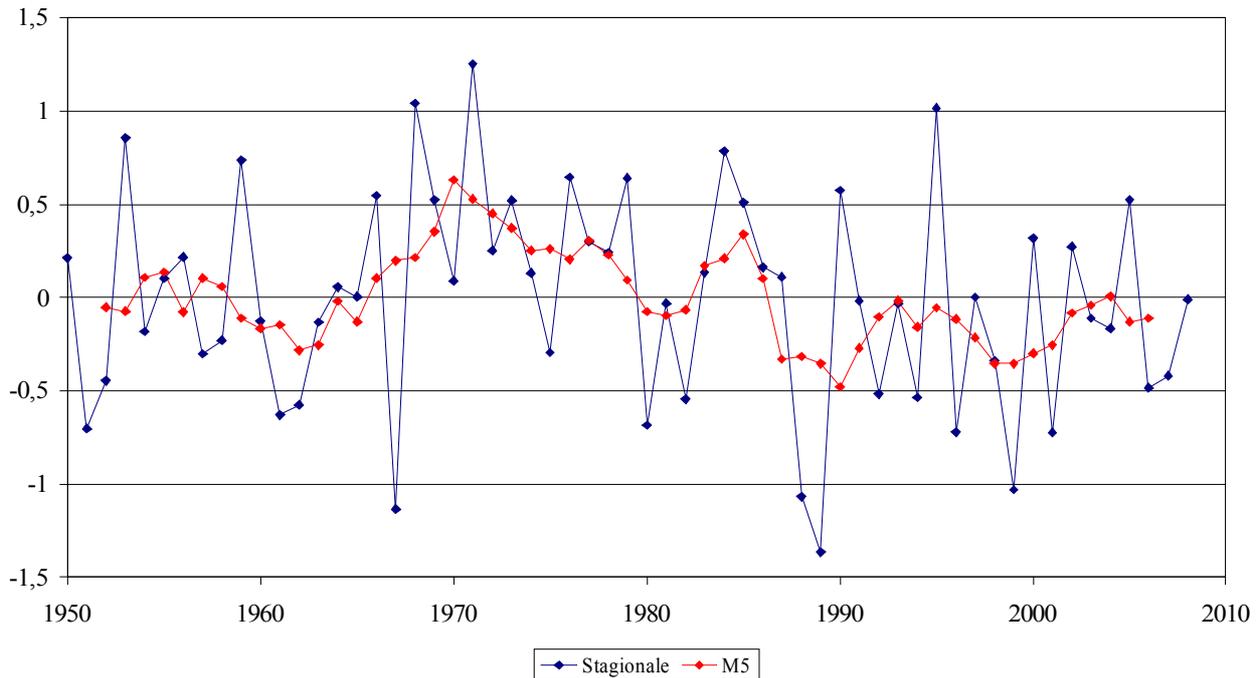


Fig. 6.27 Andamento dell'indice SCA nella stagione Dicembre-Marzo dall'inverno 1950/51 all'inverno 2008/2009. In blu la serie stagionale, in rosso la serie mediata su 5 anni.

L'indice NAO mostra una continuazione della generale tendenza negativa dopo il picco degli anni '90. In modo particolare si possono notare alcuni inverni con indice negativo, come il 2005/2006, che è risultato nevoso sull'Emilia, come già detto, e i valori positivi dell'indice per l'inverno mite 2006/2007. L'inverno 2008/2009 ha avuto invece un indice NAO solo leggermente positivo.

Meno evidenti sono i trend dell'indice SCA, che comunque, come già visto precedentemente, non presenta trend significativi neanche sul periodo 1950/2000. Si può però osservare come durante l'inverno 2005/2006 questo indice sia risultato positivo, mentre sia stato negativo nell'inverno successivo. Questo è in accordo con i dati di neve di questi due inverni. L'inverno 2008/2009 è stato caratterizzato da valore di tale indice praticamente nullo.

Quanto detto in questa sezione è un'ulteriore conferma di tutto ciò che si è precedentemente visto, riguardo al modo in cui le temperature, le precipitazioni e la variabilità climatica a larga scala influenzano la nevosità sull'Emilia-Romagna.

Conclusioni

La neve è un importante fenomeno meteorologico, caratteristico della stagione invernale, che si presenta frequentemente sul territorio nazionale e regionale. A causa dell'importanza della neve dal punto di vista idrogeologico e della sua influenza sulle attività umane, è importante uno studio che permetta di avere un'idea della nevosità media del territorio, ma è altrettanto importante studiarne la variabilità sul breve e sul lungo periodo. Lo studio della variabilità della neve rientra certamente nell'ambito dello studio dei cambiamenti climatici per due motivi:

1. La neve è una variabile meteorologica determinata dalla presenza di precipitazioni in un contesto opportuno di temperature. Se i cambiamenti climatici spingono in una determinata direzione le temperature medie e modificano i regimi precipitativi di una determinata zona, naturalmente la nevosità di quella zona ne risentirà.
2. Se si individuano trend di qualche tipo nella nevosità di una determinata regione, la spiegazione di tali trend è da ricercare nelle precipitazioni e nelle temperature, ma anche nella variabilità della circolazione di larga scala da cui dipendono le variabili locali. La neve quindi è indice di variabilità climatica non solo locale ma anche a scala più grande.

Per condurre un qualunque studio sulle variabili meteorologiche bisogna partire dai dati, ed è quindi fondamentale disporre di dati raccolti con continuità sul territorio. La difficoltà di questo studio è data dalla difficoltà della raccolta dei dati della neve.

Nei 50 anni presi in considerazione in diversi casi si sono avuti dati mancanti o raccolti male dagli osservatori. La frequenza di questi dati mancanti è maggiore per la neve che per la temperatura e le precipitazioni. Anche la qualità media delle serie dei dati della neve è minore rispetto a quella delle temperature e delle precipitazioni. Questo è dovuto certamente alla già detta difficoltà di misurare la neve, ma anche evidentemente allo scarso interesse che si è avuto per questa variabile meteorologica nel passato.

Lo studio relativo ai valori medi di altezza e durata del manto nevoso ha permesso di individuare i fattori che influenzano la neve.

La durata e l'altezza del manto sono favorite dalle basse temperature, dall'abbondanza delle precipitazioni invernali, dall'altitudine, che favorisce nello stesso tempo sia temperature basse che precipitazioni abbondanti. Ulteriori fattori che si sono visti importanti nella nevosità sono la continentalità del clima e l'esposizione delle stazioni. Un clima continentale è infatti caratterizzato da temperature mediamente più basse, nel periodo invernale, rispetto alle zone su cui è maggiore

l'influenza mitigatrice del mare. Riguardo invece alla esposizione delle stazioni si ha che le stazioni poste in fondovalle risultano più nevose delle stazioni che, pur trovandosi alla stessa quota altimetrica, si trovano in costa o su un crinale. Questo perché i fondovalle, durante il periodo invernale, sono mediamente più freddi a causa del diverso peso delle masse d'aria fredda e calda. I fondovalle infine risultano meno esposti ai raggi solari.

Sulla regione Emilia-Romagna si sono così individuate due direzioni seguendo le quali la nevosità cresce. La prima direzione è la direzione Nord-Sud, che va dalla fascia di pianura al crinale Appenninico. Questa linea coincide con l'aumento della quota ed il conseguente aumento delle precipitazioni e calo delle temperature. La seconda direzione d'aumento delle nevicate va da Est a Ovest, quindi dalla Romagna, che subisce l'influenza del Mare Adriatico, verso l'Emilia, caratterizzata da una maggior continentalità del clima. Seguendo questa direzione non si ha solo l'aumento della nevosità, ma anche un significativo calo delle temperature invernali, riscontrabile anche nelle zone pianeggianti.

I fattori appena descritti sono gli stessi fattori che influenzano la nevosità su tutto il territorio nazionale.

Il confronto con i valori calcolati nel trentennio 1961-90 con i valori del quarantennio 1921-60, tratte dalla pubblicazione dell'ex Istituto idrografico e Mareografico Nazionale (1973), ha mostrato come la neve sulla Romagna abbia una climatologia più vicina a quella caratteristica del versante Adriatico dell'Appennino Centrale, piuttosto che a quella dell'Appennino Settentrionale.

L'Emilia e la Romagna mostrano così un diverso clima nella stagione invernale, caratterizzato principalmente dalla diversa continentalità delle due regioni. Si può inoltre pensare alla Romagna come ad una zona di transizione tra due diversi tipi di clima, quello caratteristico appunto dell'Appennino Settentrionale e quello caratteristico dell'Appennino Centrale.

La seconda parte dello studio qui presentato ha riguardato l'analisi della variabilità stagionale della nevosità sulla regione Emilia-Romagna, l'individuazione di eventuali trend significativi della stessa, e la ricerca delle correlazioni tra le serie dei dati della neve e quelle dei dati di precipitazione, temperatura e degli indici climatici. Questo studio è stato condotto sul periodo che va dall'inverno 1950/51 all'inverno 1999/2000, utilizzando i dati di 11 stazioni.

Questo lavoro ha permesso di individuare diversi periodi di variabilità della neve. Si è infatti osservata innanzitutto una variabilità interannuale, che mette in evidenza come due stagioni successive presentino spesso anomalie opposte tra loro. Infatti spesso ad una stagione più nevosa della media ne segue una meno nevosa e viceversa. È stata però individuata anche la presenza di una variabilità di lungo periodo, che mostra periodi più nevosi del normale seguiti da periodi meno

nevosi, che si alternano mediamente ogni 5 anni. È emerso però anche un importante cambiamento in questa variabilità negli ultimi anni: a partire dall'87, si ha avuto un calo più importante della nevosità a livello regionale, che ha portato ad un periodo scarsamente nevoso che è durato fino al 2000, quindi decisamente più lungo dei 5 anni tipici della variabilità nel periodo precedente. Osservando la variabilità delle temperature e delle precipitazioni si è rilevato pure per queste variabili un cambiamento importante dalla seconda metà degli anni '80: le temperature hanno registrato un aumento, le precipitazioni un calo. Questo periodo sembra essersi almeno parzialmente concluso con l'inverno 2004/05, caratterizzato da temperature basse e precipitazioni più abbondanti degli anni precedenti.

La variabilità delle temperature e delle precipitazioni coincide così, in linea di massima, con la variabilità della neve, anche se non sempre a periodi nevosi coincidono periodi freddi o particolarmente piovosi.

Questo è uno dei motivi per i quali si è deciso di confrontare i dati della neve con gli indici climatici NAO e SCA, unitamente al fatto che per cercare risposte sul clima locale bisogna sempre guardare al clima a larga scala.

Gli indici NAO e SCA hanno mostrato una variabilità che presenta un punto di rottura. Fino alla metà degli anni '80 infatti entrambe gli indici mostravano periodi positivi seguiti da periodi negativi. Dalla metà degli anni '80 l'indice NAO mostra un deciso aumento, verso valori costantemente positivi, nella stagione invernale. L'indice SCA si porta invece in una fase negativa. Entrambe questi indici si portano quindi su valori che risultano sfavorevoli alla neve sulla nostra regione.

La diversità delle due sotto-aree Emilia e Romagna, che già si è messa in luce dallo studio della climatologia della neve, ha portato a studiare in esse separatamente i trend relativi alla neve nelle due regioni.

Questo ha messo in luce come effettivamente a periodi positivi dell'indice NAO coincidono con periodi scarsamente nevosi, mentre per l'indice SCA si ha un comportamento inverso. Fino all'80 la Romagna presenta, in coincidenza con valori negativi dell'indice NAO, periodi più nevosi rispetto alla media di quanto non faccia l'Emilia. A partire dagli anni immediatamente successivi al 1980 la Romagna mostra un deciso calo della nevosità, che coincide esattamente con il momento in cui l'indice NAO inizia la sua crescita. La nevosità in Emilia si mantiene alta invece fino agli anni 1987/88, momento in cui l'indice SCA prende a scendere. Gli anni '90 risultano scarsamente nevosi soprattutto sulla Romagna.

Si ha quindi una diversa influenza degli indici climatici sulle due zone della regione.

I trend mostrano anch'essi andamenti diversi sulle due regioni, a conferma di quanto si è

appena detto. Considerando tutto il territorio regionale si hanno trend negativi e significativi nel numero di giorni di neve nella sola stagione Dicembre-Marzo, e nell'altezza del manto in entrambe le stagioni (Dicembre-Marzo e ottobre-Aprile). Ancora negativi e significativi sono i trend delle precipitazioni regionali. Le temperature mostrano tendenze positive in entrambe i valori, ma solo le massime hanno trend significativi. Se questi trend si calcolano separatamente su Emilia e Romagna, si vede come, mentre per l'Emilia sono significativi solo i trend relativi all'altezza media del manto nevoso, per la Romagna sono significativi anche i trend del numero di giorni di manto, in entrambe le stagioni. Alcune differenze si notano pure nei trend relativi alle temperature e alle precipitazioni. Le temperature presentano trend più significativi sull'Emilia, le precipitazioni mostrano invece differenti regimi. Infatti sulla Romagna è più significativo il trend relativo alla stagione Dicembre-Marzo, mentre sull'Emilia quello relativo alla stagione Ottobre-Aprile.

Gli indici climatici mostrano trend positivi e significativi per l'NAO. Non sono significativi invece i trend relativi all'indice SCA.

Le correlazioni che si sono calcolate tra queste serie danno un'idea dell'importanza dei diversi fattori nel determinare la nevosità della regione. A livello regionale si hanno correlazioni significative tra i dati della neve e le variabili locali (Temperature e Precipitazioni), e tra i dati della neve e l'indice NAO. Non sono significative invece le correlazioni con l'indice SCA.

Le correlazioni calcolate in modo separato tra Emilia e Romagna mostrano le principali differenze nell'influenza dei due indici climatici. L'indice NAO è significativamente correlato con i dati di entrambe le regioni, ma è maggiormente correlato con i dati della Romagna. L'indice SCA è correlato solo con i dati dell'Emilia, e solo nella stagione invernale.

Questi risultati sono in accordo con quelli descritti da Pavane et al., (2008) e da Quadrelli et al., (2000), che già hanno evidenziato la diversa influenza degli indici SCA e NAO sulle precipitazioni sulla regione in esame.

Questo permette di dire che la neve è influenzata a livello locale dall'abbondanza delle precipitazioni invernali, ma ancor più, dalle temperature minime e massime, che determinano se le precipitazioni si presentano come neve o come pioggia, e determinano la conservazione del manto nevoso al suolo.

Temperatura e precipitazione sono però determinate dalla variabilità di larga scala. In modo particolare sono l'Oscillazione Nord Atlantica (NAO) e il Pattern Scandinavo (SCA) a influenzare il tempo sulla zona Mediterranea. Tra questi è l'Oscillazione Nord Atlantica la principale responsabile delle nevicate sulla nostra regione, mentre il Pattern Scandinavo risulta determinante solo per l'Emilia. I trend negativi nella nevosità del nostro territorio sono quindi dovuti principalmente al

trend positivo dell'indice NAO. Anche il maggiore calo di nevosità registrato in Romagna, rispetto all'Emilia è da ricondurre alla diversa influenza degli indici climatici. Infatti, sulla Romagna, ha influenza solo l'indice di NAO che presenta un trend positivo sfavorevole alla neve, mentre sull'Emilia ha influenza anche l'indice SCA, che non presenta trend negativi. Questo può in qualche modo aver bilanciato il trend dell'indice NAO e aver dato come risultato un calo minore della nevosità sull'Emilia.

L'indice NAO è così risultato il principale responsabile della nevosità sul nostro territorio, ma in realtà la sua influenza si estende a tutta la regione europea, come testimoniano uno studio svizzero (S. C. Scherrer e C. Appenzeller, 2006) e uno studio rumeno (D. Micu, 2009), sulla nevosità rispettivamente sulle Alpi e sui Carpazi, che sono giunti alla medesima conclusione.

Non si è ancora ben compreso il meccanismo che determina l'alternanza delle fasi positive e negative dell'indice NAO, e questo fa sì che non sia qui possibile dire quale sia in ultima analisi la spiegazione della variabilità della neve, e in particolar modo dell'andamento che si è avuto tra gli anni '80 e '90.

La diversa influenza degli indici climatici sulle due regioni non si ripercuote però solo sulla nevosità nelle rispettive parti montuose, ma anche sulle precipitazioni invernali, e pure sulle zone pianeggianti.

L'analisi delle singole stazioni ha dato ulteriore conferma di quanto detto sin qui, ma ha anche aggiunto altri particolari importanti. Infatti si è visto come i trend negativi della nevosità siano significativi in entrambe le stagioni (Dicembre-Marzo e Ottobre-Aprile), solo alle quote più alte e alle quote più basse, non a quelle intermedie.

Si è anche osservato come le stazioni a bassa quota poste in Emilia hanno un comportamento analogo a quello della Romagna, mostrando una correlazione maggiore con l'indice NAO, e non risultando correlate con l'indice SCA. Proprio le stazioni Romagnole ed Emiliane a bassa quota sono quelle che hanno registrato, nel cinquantennio 1951/2000 il più importante calo di nevosità in termini di giorni e centimetri ogni 10 anni, rispetto al valore medio della stazione.

Alle quote più elevate sembra invece che i cali di nevosità siano confrontabili tra Emilia e Romagna.

Si è infine osservato come non tutti i mesi invernali presentino trend negativi della nevosità. Sono infatti Gennaio e Febbraio i mesi che hanno conosciuto il calo più importante e significativo della nevosità, come Marzo, anche se in modo minore. Dicembre e Aprile presentano invece valori del trend leggermente positivi e Novembre mostra una tendenza positiva che, pur non essendo in realtà significativa, permette di capire come il regime nevoso non sia costante negli anni.

Gli ultimi inverni hanno visto un certo aumento della nevosità, che è coinciso con un nuovo calo dell'indice NAO. Non siamo in grado di dire però se questo sia l'inizio di una fase nuovamente nevosa, o solo un periodo limitato destinato nuovamente a sfociare in stagioni con poca neve.

Non possiamo ancora prevedere se andremo verso inverni nevosi o meno, ma l'aver individuato i fattori responsabili delle neviccate sul nostro territorio ci permette di spostare l'attenzione sulla larga scala, più facilmente prevedibile della scala locale.

Bibliografia

Servizio Idrogeologico Nazionale, 1973. La nevosità in Italia nel quarantennio 1921/1960, pubblicazione n°26 del servizio.

Rogers, R. R., and M. K. Yau, 1989. A short course in cloud physics, 3rd Ed., Butterworth-Heinemann, 290 pp.

Pruppacher, H. R., and J. D. Klett, 1997. Microphysics of clouds and precipitation, 2nd Ed, Kluwer Acad. Publ., 954 pp.

V. Pavan, R. Tomozeiu, C. Cacciamani and M. Di Lorenzo, 2008. Daily precipitation observations over Emilia-Romagna: mean values and extremes.

R. Quadrelli, V. Pavan and F. Molteni, 2000. Winter time variabilità of Mediterranean precipitation and its links with large-scale circulation anomalies.

S. C. Scherrer and C. Appenzeller, 2006. Swiss alpine snow pack variability: Major patterns and links to local climate and large-scale flow.

M. Cannarozzo, L. Liuzzo, L. V. Noto e F. Viola, 2006. distribuzione spaziale dei trend pluviometrici in Sicilia (1921/2000)

D. Micu, 2009. Snow pack in the Romanian Carpathians under changing climatic conditions.

Barnston, A. G. and Livezey, R. E., 1987: Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Weather Rev.*, 115, 1083-1126.

E. Kalnay, M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, R. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne, and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Am. Met. Soc.*, 77, 437-471.

R. Kistler, E. Kalnay, W. Collins, S. Saha, G. White, J. Woollen, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, M. Kanamitsu, V. Kousky, H. van den Dool, R. Jenne, and M. Fiorino, 2001: The NCEP/NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. *Bull. Am. Met. Soc.*, 82, 247-268.

Appendice

Codici MATLAB per il calcolo della significatività dei trend (TEST di MANN)

```
S=0
Z=0

for i=2:1:n
    for j=1:1:i-1
        Y = sign(Gg(i)-Gg(j))
        S=S+Y
    end
end

sigma= sqrt((n*(n-1)*(2*n+5))/18)

if S>0
    Z=((S-1)/sigma)
end

if S<0
    Z=((S+1)/sigma)
end
```

dove Gg è il nome del file da cui sono letti i dati, e n è il numero di dati presenti nella serie, fornito dall'utente.

Ringraziamenti

Al termine di questo lavoro i miei più sentiti ringraziamenti vanno alla dott.ssa Valentina Pavan, che mi ha seguito passo passo nello svolgimento della tesi, con dedizione ed impegno. La ringrazio anche per il prezioso aiuto nella digitalizzazione dei dati della neve utilizzati. Insieme a lei ringrazio Rodica Tomozeiu per il prezioso aiuto nella parte statistica di questa tesi, e tutte le persone che lavorano al Servizio Idrometeorologico dell'ARPA che sono state disponibili a fornirmi tutti i programmi e le mappe di cui ho avuto bisogno.

Ringrazio infine il Prof. Vincenzo Levizzani, che ha seguito lo sviluppo di questo lavoro, fornendomi importanti consigli e correzioni.

Al termine di questo corso di studi ringrazio soprattutto i miei genitori e mia sorella, che mi hanno permesso di arrivare fin qui e mi hanno sempre sostenuto.