

7. - CARATTERI CLIMATICI

COTECCHIA V., SIMEONE V. (*), GABRIELE S. (**)

7.1. - GENERALITÀ SUL CLIMA DELLA REGIONE PUGLIESE

Il clima della regione pugliese varia in relazione alla posizione geografica e alle quote sul livello medio marino delle sue zone. Nel complesso si tratta di un clima mediterraneo caratterizzato da estati abbastanza calde e poco piovose ed inverni non eccessivamente freddi e mediamente piovosi, con abbondanza di precipitazioni durante la stagione autunnale.

Le temperature medie sono di circa 15°C-16°C, con valori medi più elevati nell'area ionico-salentina e più basse nel Sub-Appennino Dauno e Gargano. Le estati sono abbastanza calde, con temperature

(*) Prof. Vincenzo Simeone. Ordinario di Geologia Applicata - Dipartimento di Scienze dell'ingegneria Civile e dell'architettura. Politecnico di Bari.

(**) Ing. Salvatore Gabriele. Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Rende.

medie estive comprese fra i 25°C ed i 30°C e punte di oltre 40°C nelle giornate più calde. Sul versante ionico, durante il periodo estivo, si possono raggiungere temperature particolarmente elevate, anche superiori a 30°C-35°C per lungo tempo. Gli inverni sono relativamente temperati e la temperatura scende di rado sotto lo 0°C, tranne alle quote più alte del Sub-Appennino Dauno e del Gargano. Nella maggior parte della regione la temperatura media invernale non è inferiore a 5°C. Anche la neve, ad eccezione delle aree di alta quota del Gargano e del Sub-Appennino, è rara. Specie nelle Murge meridionali e nel Salento, possono passare diversi anni senza che si verifichino precipitazioni nevose.

Il valore medio annuo delle precipitazioni è estremamente variabile. Le aree più piovose sono il Gargano, il Sub-Appennino Dauno e il Salento sud orientale, ove i valori medi di precipitazione sono superiori a 800 mm/anno. Valori di precipitazione annua in media inferiori a 500 mm/anno si registrano nell'area tarantina e nel Tavoliere. Nella restante porzione del territorio le precipitazioni medie annue sono generalmente comprese fra 500 e 700 mm anno.

Ad una forte variabilità spaziale delle precipitazioni legata alle diverse aree della regione, si associa, in ogni singola area, una forte variabilità del totale annuo registrato per le singole stazioni, come spesso accade nei climi mediterranei. Le variazioni del totale annuo delle precipitazioni da un anno all'altro possono così superare anche il 100% del valore medio.

Le precipitazioni sono in gran parte concentrate nel periodo autunnale (novembre-dicembre) e invernale, mentre le estati sono relativamente secche, con precipitazioni nulle anche per lunghi intervalli di tempo o venti di pioggia intensa molto concentrati, ma di breve durata, specialmente nell'area salentina. Questo clima fa sì che alla ricarica degli acquiferi contribuiscano significativamente solo le precipitazioni del tardo periodo autunnale e quelle invernali. Le precipitazioni del primo autunno e quelle estive, infatti, contribuiscono a ricostituire il contenuto d'acqua negli strati più superficiali. Quelle estive, inoltre, vanno perse in modo significativo anche per evapotraspirazione.

Le precipitazioni che interessano la regione sono legate in prevalenza a perturbazioni di origine

adriatica, provenienti da Nord e dall'area balcanica, che interessano soprattutto il territorio centro settentrionale. Il versante ionico e salentino risente fortemente delle perturbazioni meridionali, che danno luogo ad eventi di pioggia abbondanti, ma concentrati, con precipitazione di breve durata e notevolissima intensità.

Le caratteristiche delle precipitazioni possono influire in maniera rilevante sui meccanismi di infiltrazione e sulla disponibilità di risorse idriche sotterranee; si è perciò ritenuto di approfondire le caratteristiche delle precipitazioni, nonché le variazioni climatiche che hanno interessato la regione nell'ultimo secolo, condizionando l'alimentazione della falda e la disponibilità di risorse idriche sotterranee.

7.2. - CARATTERISTICHE DELLE PRECIPITAZIONI IN PUGLIA

I processi d'infiltrazione delle acque meteoriche nel sottosuolo per l'alimentazione delle falde sotterranee sono complessi e assolutamente non lineari. Il quantitativo di pioggia che può infiltrarsi e alimentare le risorse idriche sotterranee dipende, infatti, da numerose grandezze, legate tanto allo stato del suolo e alle condizioni ambientali, quanto all'intensità delle precipitazioni. Là dove l'intensità di pioggia non è elevata, a parte la componente di evaporazione, l'afflusso meteorico può infiltrarsi negli strati più superficiali del terreno, per poi percolare verso il basso e raggiungere l'acquifero. In caso di precipitazioni intense, invece, superiori alla massima capacità di infiltrazione nel suolo, solo una parte si infiltrerà, mentre il resto finirà per ruscellare, dando luogo al deflusso superficiale. Per la valutazione dell'aliquota di infiltrazione delle acque di pioggia, pertanto, assume grande rilevanza la dinamica delle precipitazioni oltre che il loro quantitativo.

Le precipitazioni molto intense, del resto, essendo spesso fortemente localizzate, non sono sempre colte in maniera affidabile dalla rete dei pluviometri sul territorio, caratterizzate come sono da centri di scroscio di dimensioni minori della distanza fra le stazioni pluviometriche (GABRIELE *et alii*, 2006; COTECCHIA, 2006). Un'analisi approfondita delle precipitazioni può fornire importanti in-

dicazioni sull'affidabilità delle valutazioni riguardo all'effettiva entità degli afflussi e alla loro potenzialità nell'alimentare gli acquiferi sotterranei.

Si è pertanto proceduto ad un'analisi delle caratteristiche delle precipitazioni in Puglia, in modo da evidenziarne la maggiore o minore attitudine ad alimentare le risorse idriche sotterranee regionali, e misurare l'effettiva capacità di cogliere l'entità degli afflussi da parte della rete dei pluviometri. L'indagine, come vedremo, è solo preliminare e qualitativa, tesa com'è ad individuare discriminanti nelle caratteristiche e tipologie delle precipitazioni che investono la regione, suscettibili di condizionare l'alimentazione delle risorse idriche sotterranee.

In particolare si è cercato di evidenziare, per le diverse zone in esame, la prevalenza di eventi di tipo *convettivo*, con precipitazioni intense ma brevi, e di tipo *stratiforme*, con basse intensità e lunga durata.

7.2.1. - *Precipitazioni stratiformi e convettive*

Gli eventi pluviometrici, pur localizzati, si inseriscono in un contesto meteorologico più ampio, che li alimenta in termini di energia e umidità (REALE *et alii*, 2001). Vanno dunque analizzati e interpretati in rapporto a fenomeni di grande e piccola scala, spesso governati dall'orografia. L'ambiente mediterraneo è, in effetti, sede di perturbazioni di tipo ciclonico, ma gli eventi meteorologici convettivi più intensi sembrano essere innescati da strutture molto simili ai cicloni tropicali (EMANUEL, 2005; PYTHAROULIS *et alii*, 2000). Questa tipologia di eventi interessa solitamente limitate porzioni del territorio, per cui la rete di misura delle precipitazioni non permette di percepire il fenomeno in maniera sempre esaustiva. Le celle convettive sono, infatti, di piccole dimensioni (pochi chilometri quadrati), per cui, visto il rapporto tra densità dei pluviometri e dimensione delle celle, solo un evento su dieci viene rilevato nei suoi massimi valori.

In generale è possibile dividere le precipitazioni in due macroclassi: precipitazioni stratiformi e precipitazioni convettive. Le piogge stratiformi, dette anche dinamiche, sono prodotte dagli stratocumuli (SAVIC-JOVICIC & STEVENS, 2008; KOGAN *et alii*, 1995) e sono il risultato di moti ascensionali lenti

(~1 m/s) e piuttosto estesi aerealmente, come quelli associati ai fronti. Le intensità di precipitazione non sono in genere elevate, ma la scala temporale di durata della perturbazione è dell'ordine di qualche giorno, di modo che la pioggia cumulata può anche essere significativa.

Le piogge convettive, invece, sono prodotte da nubi a forte sviluppo verticale come i cumulonembi, caratterizzati al loro interno da alte velocità ascensionali (~1-10 m/s), che occupano scale spaziali di dimensioni minori; da qualche km a qualche centinaio di km per i Sistemi e i Complessi Convettivi a Mesoscala (MCS e MCC). I cumulonembi ben sviluppati si estendono, torreggiando, sino alla stratosfera, dove il moto ascensionale si blocca a causa dell'inversione termica e la sommità della nube è spazzata dai forti venti, formando una caratteristica struttura a pennacchio detta *anvil*. Le precipitazioni convettive, generalmente più intense di quelle stratiformi (LEARY & HOUZE, 1979), sono caratterizzate da una forte variabilità spaziale e temporale, oltre che da una minore durata, essendo la scala temporale dell'ordine dell'ora. Nelle aree in cui c'è una prevalenza di fenomeni convettivi, per giungere ad un'adeguata analisi degli eventi pluviometrici e della loro distribuzione sul territorio, è necessario accoppiare informazioni meteo e dati idrologici (RUDARI *et alii*, 2005; GABRIELE *et alii*, 2006; COTECCHIA, 2006).

Precipitazioni a carattere stratiforme e convettivo possono coesistere (HOUZE, 1997; HOUGHTON, 1968; HALVERSON *et alii*, 1999): ad esempio, ha caratteristiche stratiformi la precipitazione che può svilupparsi dall'*anvil* di un cumulonembo, così come un *cluster* di cumulonembi può svilupparsi lungo la linea di un fronte.

Le proprietà delle precipitazioni, in termini d'intensità e pioggia cumulata al suolo, dipendono, oltre che dalle modalità di salita della massa d'aria e dalla termodinamica e microfisica associata, anche dalla disponibilità di umidità che alimenta il processo di formazione dell'idrometeora. Essendo l'ammontare di vapor d'acqua in una colonna d'aria (acqua precipitabile) intorno a 25 mm alle medie latitudini (TRENBERTH & GUILLEMOT 1994, 1998), ed essendo l'efficienza dei meccanismi di produzione della pioggia non molto alta, intorno al 30% (FANKHAUSER,

1988; FERRIER *et alii*, 1996), è evidente che, in caso di piogge consistenti, deve esserci un meccanismo dinamico di trasporto dell'umidità.

Per quantificare l'attitudine di una data situazione meteorologica ad originare precipitazioni di tipo stratiforme o convettivo si può ricorrere ad indici che caratterizzano tanto la dinamica dell'atmosfera - in modo da tener conto di eventi associati a frontogenesi e instabilità dinamica (indici stratiformi) - quanto la sua termodinamica, in modo da valutare la presenza o meno d'instabilità potenziale (indici convettivi). Per differenziare situazioni stratiformi e convettive è possibile valutare l'instabilità dinamica alla mesoscala tramite il metodo del cosiddetto vettore Q (HOSKINS *et alii*, 1978), nonché stimare la distribuzione delle piogge stratiformi tramite campi meteorologici forniti dall'ECMWF. L'analisi può essere effettuata anche da un punto di vista termodinamico, attraverso indici di misura dell'instabilità convettiva calcolati tramite la *Lifted Parcel Theory* (MANZATO & MORGAN, 2003) e l'indice *Convective Available Potential Energy* (CAPE).

7.2.2. - Caratterizzazione del regime climatico pugliese

Per caratterizzare il regime climatico della Puglia in relazione alla tipologia di precipitazioni, sono stati considerati i massimi annuali delle piogge giornaliere e i dati meteoclimatici, corrispondenti ai giorni in cui questi si sono verificati, effettuandone un'analisi critica.

7.2.2.1. - Selezione degli eventi meteoclimatici

I massimi annuali di pioggia giornaliera, utilizzati per selezionare gli eventi climatici più caratterizzanti, sono stati desunti dall'archivio SIVAPI, il Sistema Informativo del progetto VAPI (Valutazione delle Piene in Italia) realizzato dal CNR-GNDICI (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche). L'archivio contiene le piogge giornaliere dal 1921 al 2002 registrate dalla rete pluviometrica nazionale dell'ex SIMN (Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale), composta da più di 5.000 stazioni distribuite sull'intera penisola italiana.

I dati meteorologici utilizzati sono stati invece desunti dall'archivio ERA-40 (ECMWF ReAnalysis-40), dall'ECMWF (*European Center for Medium Range Weather Forecast*), contenente una rielaborazione di osservazioni meteorologiche dal settembre 1957 all'agosto 2002 (UPPALA, 2001; UPPALA *et alii*, 2005). I campi atmosferici di ri-analisi sono, in effetti, ampiamente utilizzati come serie storiche per analisi climatologiche e idrologiche (WANG *et alii*, 2006; ZHANG *et alii*, 1997; ZHU, 2009; ZENG, 1999).

L'archivio ERA-40 è basato su una tecnica di assimilazione variazionale 3-D (COURTIER *et alii*, 1998; RABIER *et alii*, 1998) e un modello globale a 60 livelli spettrali (T159L60) cui corrisponde una risoluzione spaziale di circa 125 km. Le osservazioni usate per la costruzione di ERA-40 comprendono dati convenzionali e informazioni satellitari, fornite per lo più dal NCAR (*National Center for Atmospheric Research*) ed elaborate in modo innovativo includendo le radianze *raw* misurate dai satelliti nel processo di assimilazione. Particolare cura è stata inoltre prestata ai dati di temperatura superficiale degli oceani e alla distribuzione dei ghiacci sul mare, in collaborazione con l'UKMO (*United Kingdom Meteorological Office*) e l'NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*).

I campi finali di ri-analisi di ERA-40 sono orizzontalmente distribuiti su una griglia di 0.5° e, verticalmente, su 23 diversi livelli di pressione, e sono disponibili ad intervalli di 6 ore di Tempo Universale (TU) di ogni giorno.

I dati meteorologici dell'archivio ERA-40 si sovrappongono all'informazione pluviometrica del SIVAPI per un arco temporale di 44 anni completi, dal 1958 al 2002. In questo intervallo sono stati considerati, per le diverse stazioni pluviometriche del SIVAPI, i corrispondenti massimi annuali delle piogge giornaliere, ottenendo una successione di 44 valori per ogni stazione.

Considerata l'onerosità della gestione dei dati meteo, per la scelta degli eventi meteo è stato utilizzato un criterio di selezione basato sul numero di stazioni che contemporaneamente registrano il loro massimo annuale. In tal modo sono stati selezionati 198 eventi pluviometrici, ordinati in base al numero di stazioni che hanno manifestato, nello stesso giorno, il massimo annuale di precipitazione

giornaliera: si va dalle 618 stazioni del 4/11/1966, alle 4 stazioni dell'evento del 12/12/1963, con una media di circa 90 stazioni per evento.

Ovviamente, in corrispondenza di una celletta della griglia meteorologica vi sono più stazioni pluviometriche a terra, per cui l'informazione di pioggia è stata opportunamente mediata.

Nella figura 7.1 è riportato, sovrapposto alla dislocazione della rete pluviometrica, il grigliato spaziale con le cellette 0.5°x0.5° su cui è disponibile l'informazione atmosferica ricavata dai campi di ri-analisi dell'archivio ERA-40 dell'ECMWF.

La distribuzione dell'estensione spaziale degli eventi, intesa come numero di cellette 0.5°x0.5° coinvolte, è riportata nella figura 7.2, per una media di 23 celle/evento.

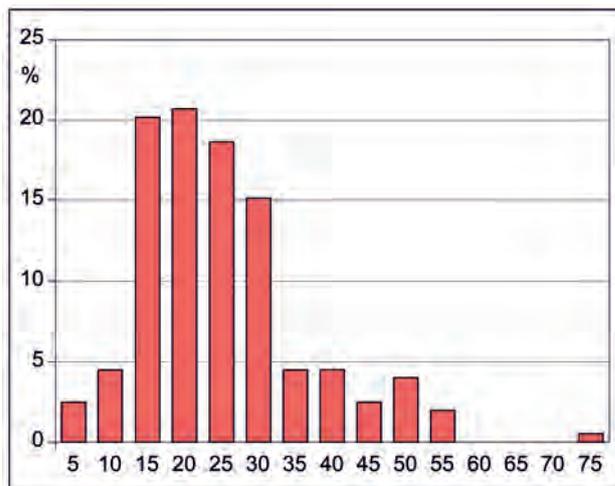


Fig. 7.2 - Distribuzione di frequenza dei pluviometri interni alle cellette 0.5° x 0.5° del grigliato meteo considerato.
 - Frequency distribution of rain gauges within the considered 0.5°x 0.5° meteorological grid cells.

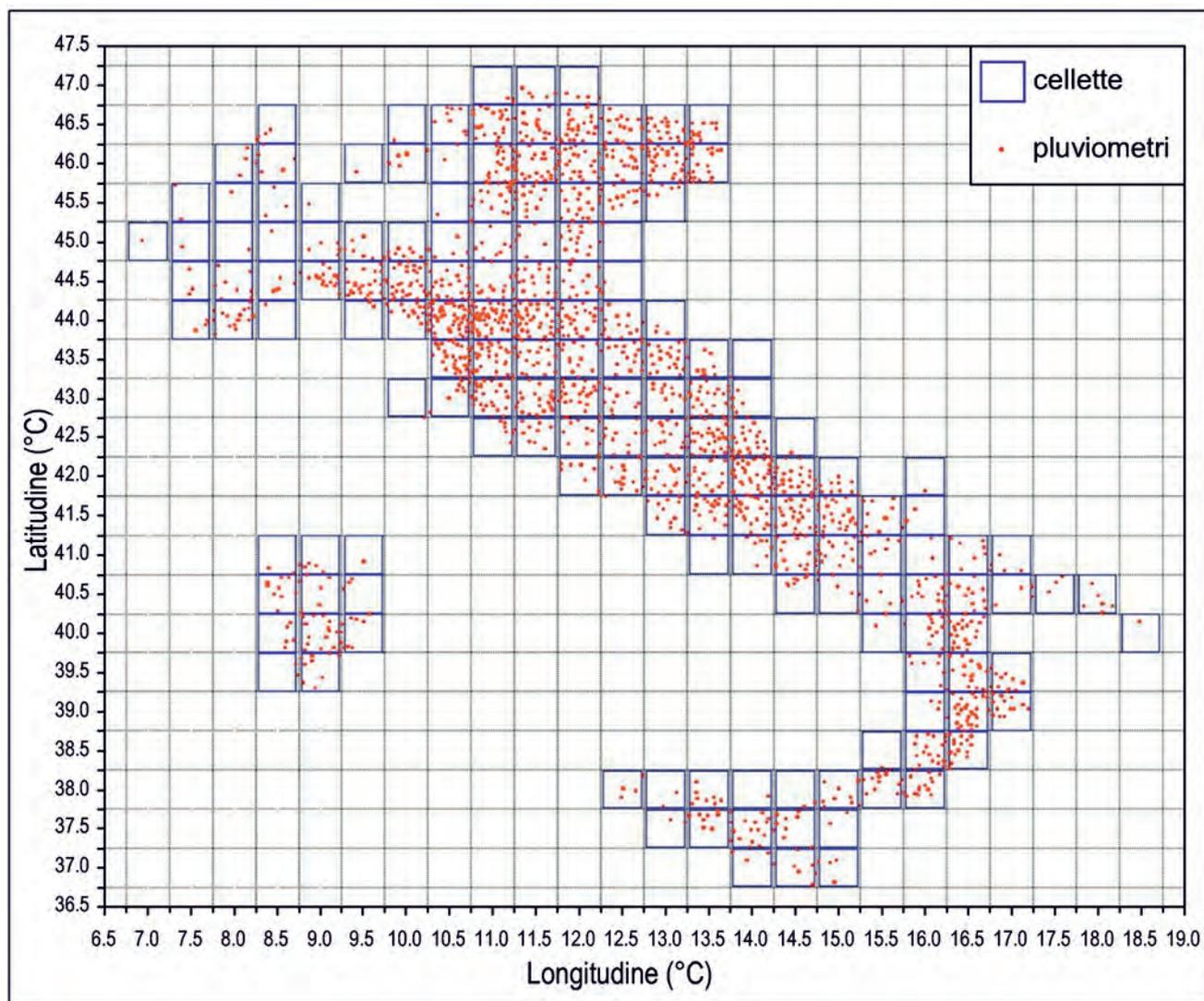


Fig. 7.1 - Rete pluviometrica e grigliato meteo considerato. - Rain gauge network and the considered meteorological grid.

Per ogni celletta sono quindi disponibili, in corrispondenza delle date degli eventi estremi che vi ricadono, parametri meteorologici come temperatura, umidità, direzione del vento, ecc. e i valori degli indici di instabilità calcolati applicando la teoria delle *lift parcel*.

7.2.2.2. - Analisi meteoclimatica

Obiettivo dell'analisi meteoclimatica è stato verificare l'esistenza di possibili differenze climatiche in grado di determinare variazioni del regime pluviometrico per le diverse zone della regione.

Con riferimento alle figure 7.3 e 7.4, si rileva che la direzione di provenienza delle perturbazioni che danno origine a piogge massime annuali di tipo stratiforme è prevalentemente il Sud, con rotazioni che vanno da Sud-Est a Sud-Ovest. In particolare, nella Penisola Salentina, sino alle Murge a Nord di Taranto,

ove il rilievo è trascurabile e l'esposizione al mare Ionio diretta, la direzione prevalente è Sud-Ovest.

Pertanto l'origine delle perturbazioni che interessano il Salento è sicuramente da attribuire ad eventi meteo di natura atlantica che, in presenza di basse pressioni sul Tirreno, si invorticano con rotazione antioraria e attraversano tutta la penisola senza incontrare alcun ostacolo orografico. La presenza delle Murge sembra ostacolare parzialmente i flussi da Sud-Ovest, con le aree sottovento interessate da flussi provenienti da Nord-Est. La stessa direzione dei flussi si riscontra nella parte meridionale del promontorio del Gargano. Per quanto riguarda invece il Tavoliere e il Sub-Appennino Dauno, anche se la direzione di provenienza delle perturbazioni è da Sud, la presenza di un'orografia articolata rende disomogenee le direzioni di provenienza.

Elevate frequenze di piogge di tipo stratiforme, valutate attraverso l'indice QD, si ritrovano esclu-

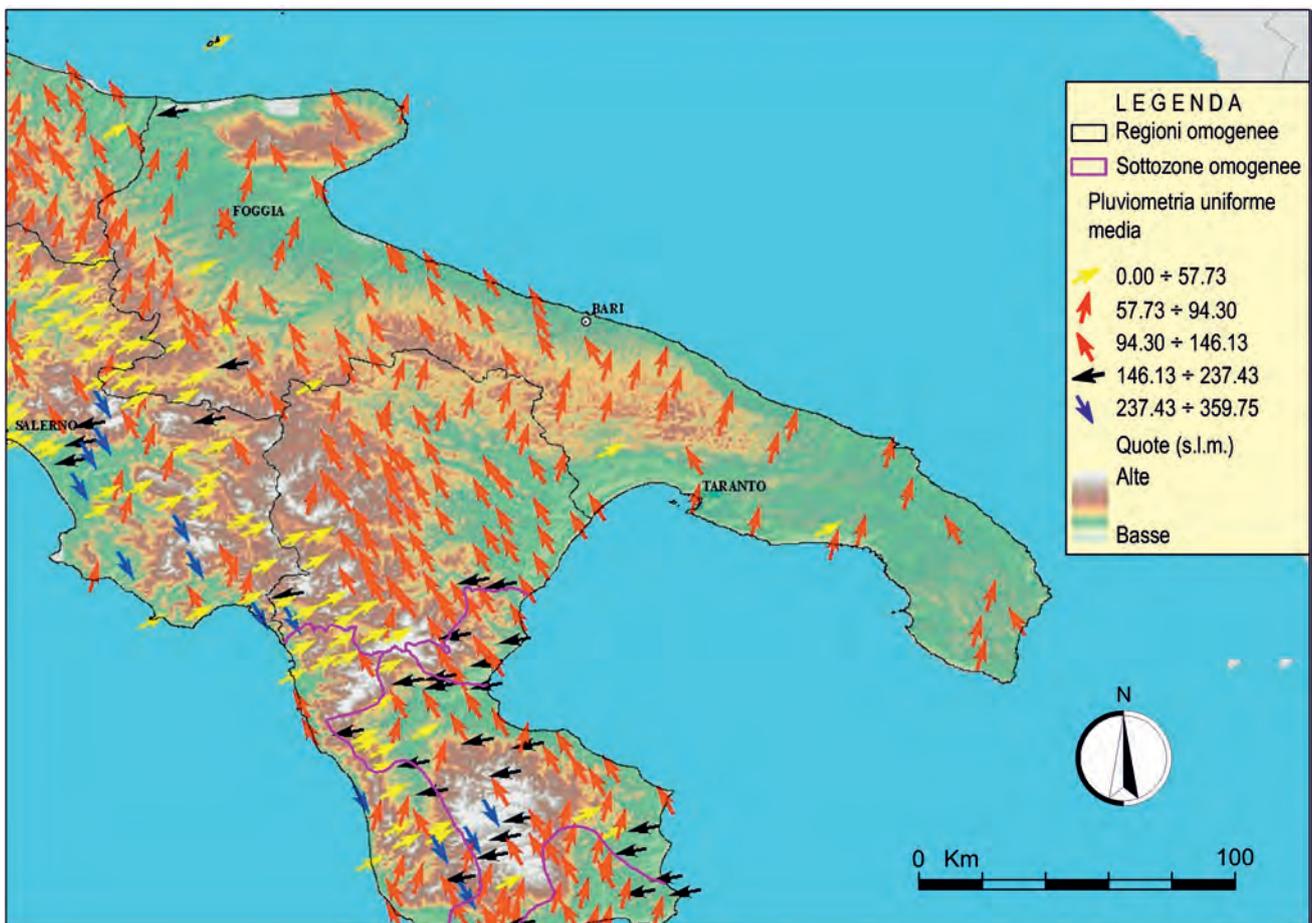


Fig. 7.3 - Direzioni prevalenti delle perturbazioni a carattere stratiforme.
- Prevailing directions of stratiform disturbances.

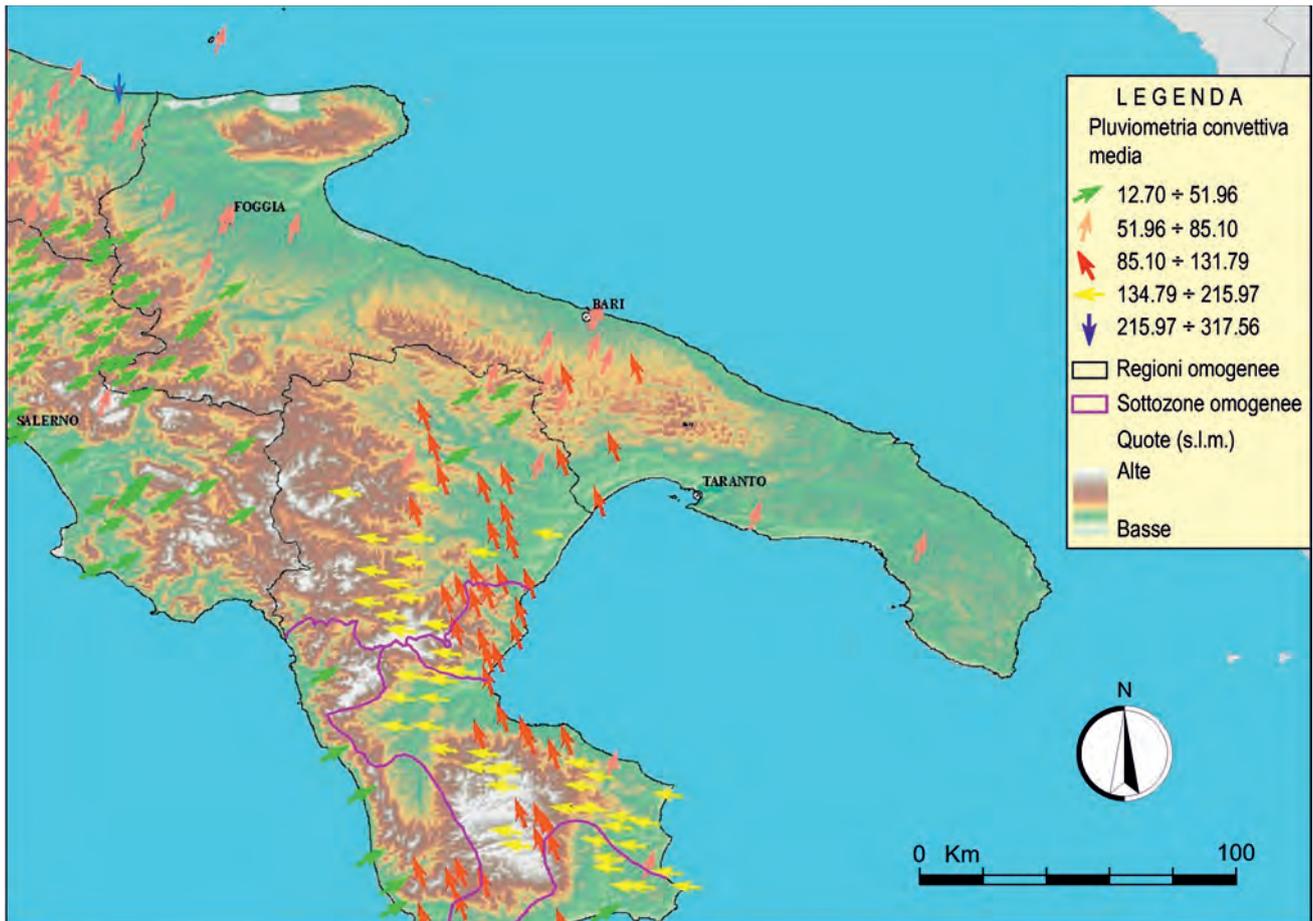


Fig. 7.4 - Direzioni prevalenti delle perturbazioni a carattere convettivo.
- *Prevailing directions of convective disturbances.*

sivamente sottovento alle barriere orografiche (fig. 7.5). Le maggiori frequenze si hanno in corrispondenza del Sub-Appennino Dauno e in parte sul versante Nord delle Murge.

La figura 7.6 mostra invece le frequenze dell'indice CAPE rappresentativo di eventi convettivi. È interessante notare come l'indice sia complementare a QD, rappresentativo degli eventi stratiformi. In tutta la Penisola Salentina sembrano prevalere eventi estremi di tipo convettivo. Il risultato non è inatteso, in quanto l'assenza di barriere orografiche non aiuta la formazione di precipitazioni stratiformi, mentre la vicinanza al mare favorisce eventi convettivi.

In definitiva, da un punto di vista meteorologico, anche se l'analisi si basa su eventi pluviometrici estremi, la Puglia può considerarsi suddivisa in due aree climatiche distinte. Nella zona Nord-Ovest, in corrispondenza di Daunia, Tavoliere e Gargano e della parte settentrionale

della Murgia, prevalgono precipitazioni di tipo stratiforme, mentre nella zona Sud-Est, in corrispondenza della Murgia meridionale e della Penisola Salentina, prevalgono le precipitazioni convettive.

7.2.3. – Conclusioni

Lo studio svolto, benché preliminare, ha mostrato la presenza, in Puglia, di un regime meteorologico caratterizzato da differenze fra la zona Nord occidentale e quella della Murgia meridionale e del Salento.

Nella zona Nord occidentale, infatti, prevalgono precipitazioni di tipo stratiforme, mediamente più distribuite e di minore intensità, che possono dare luogo più facilmente ad infiltrazione e ricarica degli acquiferi. Si tratta di precipitazioni la cui distribuzione è ben rilevata dalla rete pluviometrica.

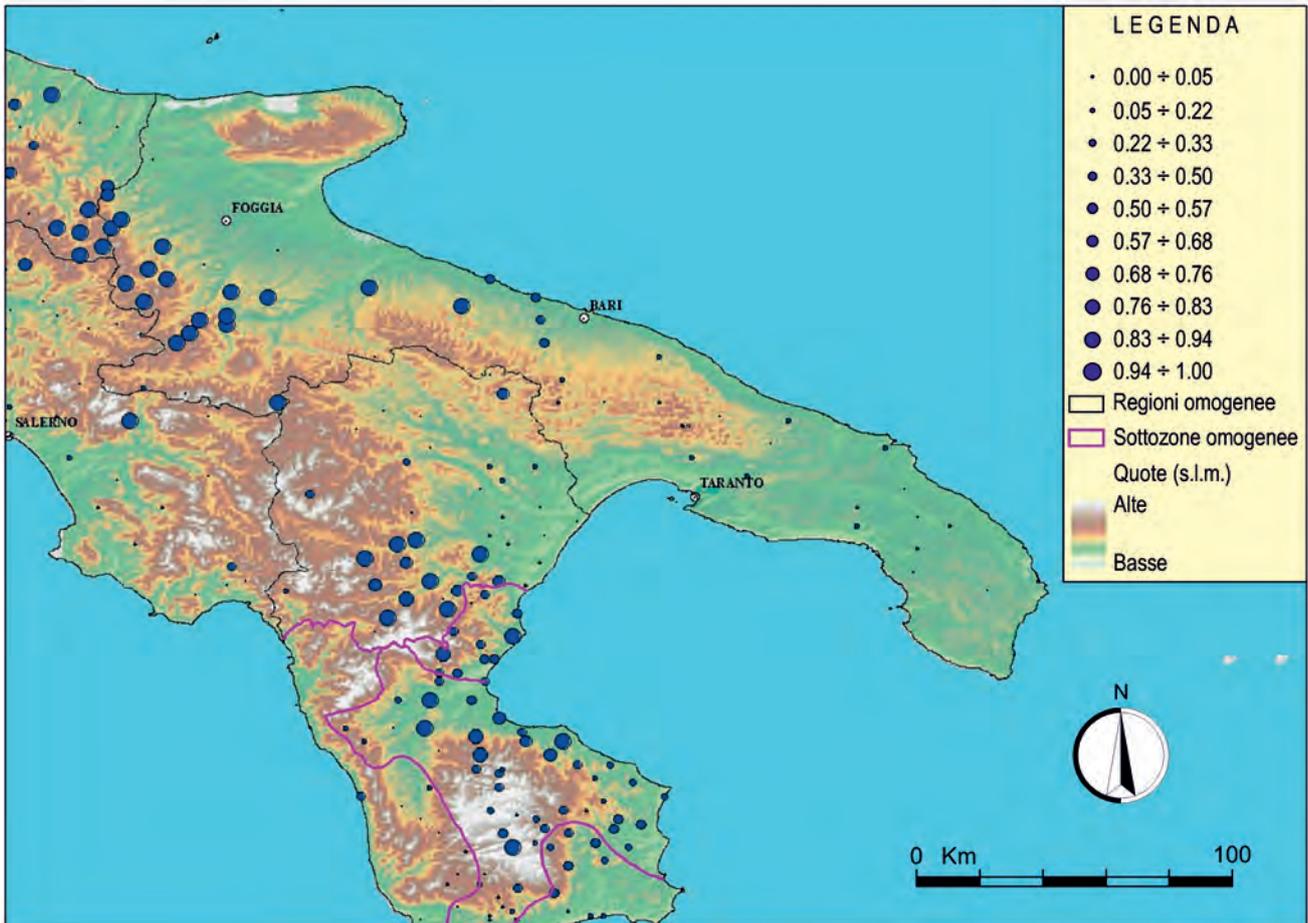


Fig. 7.5 - Localizzazione delle aree ad elevata frequenza di precipitazioni stratiformi eseguita attraverso la determinazione dell'indice Q_D .
 - Localization of the areas with high stratiform precipitation frequency, obtained through determination of the Q_D index.

metrica, la quale consente di valutare in maniera abbastanza affidabile gli afflussi potenzialmente utili per la ricarica della falda. Nella zona della Murgia meridionale e del Salento prevalgono invece precipitazioni di tipo convettivo che hanno, anche a parità di totale di pioggia, un impatto meno rilevante sull'alimentazione delle falde idriche, in ragione della forte intensità. Si tratta di precipitazioni la cui reale distribuzione spaziale non è sempre colta dalla rete pluviometrica.

Nella Puglia meridionale, quindi, pur dotata di totali di precipitazioni annue comparabili, se non più bassi, a quelli della Puglia settentrionale, si hanno precipitazioni di maggiore intensità, proprio in virtù della presenza di precipitazioni di tipo convettivo. Queste ultime possono dar luogo a fenomeni di deflusso improvviso e occasionale, senza riuscire a contribuire in maniera sempre rilevante alla ricarica degli acquiferi.

7.3. - TREND CLIMATICI IN ATTO NELLA REGIONE PUGLIA

Da diversi anni è in corso un ampio dibattito a proposito delle variazioni climatiche che interessano la Puglia e più in generale l'Italia meridionale (SIMEONE, 2001; COTECCHIA *et alii*, 2003; RACIOPPI & SIMEONE, 2003; POLEMIO & CASARANO, 2008; CHERUBINI *et alii*, 2008; CALOIERO *et alii*, 2011; DOGLIONI, 2011). In particolare, gli studi condotti hanno evidenziato, in tutta l'Italia meridionale, una diminuzione delle precipitazioni concentrata soprattutto durante il periodo invernale, con modesti incrementi nel periodo estivo.

Considerato il rilevante impatto che le variazioni climatiche di medio-lungo periodo possono avere sulla disponibilità e la qualità delle risorse idriche sotterranee, si è proceduto all'analisi di

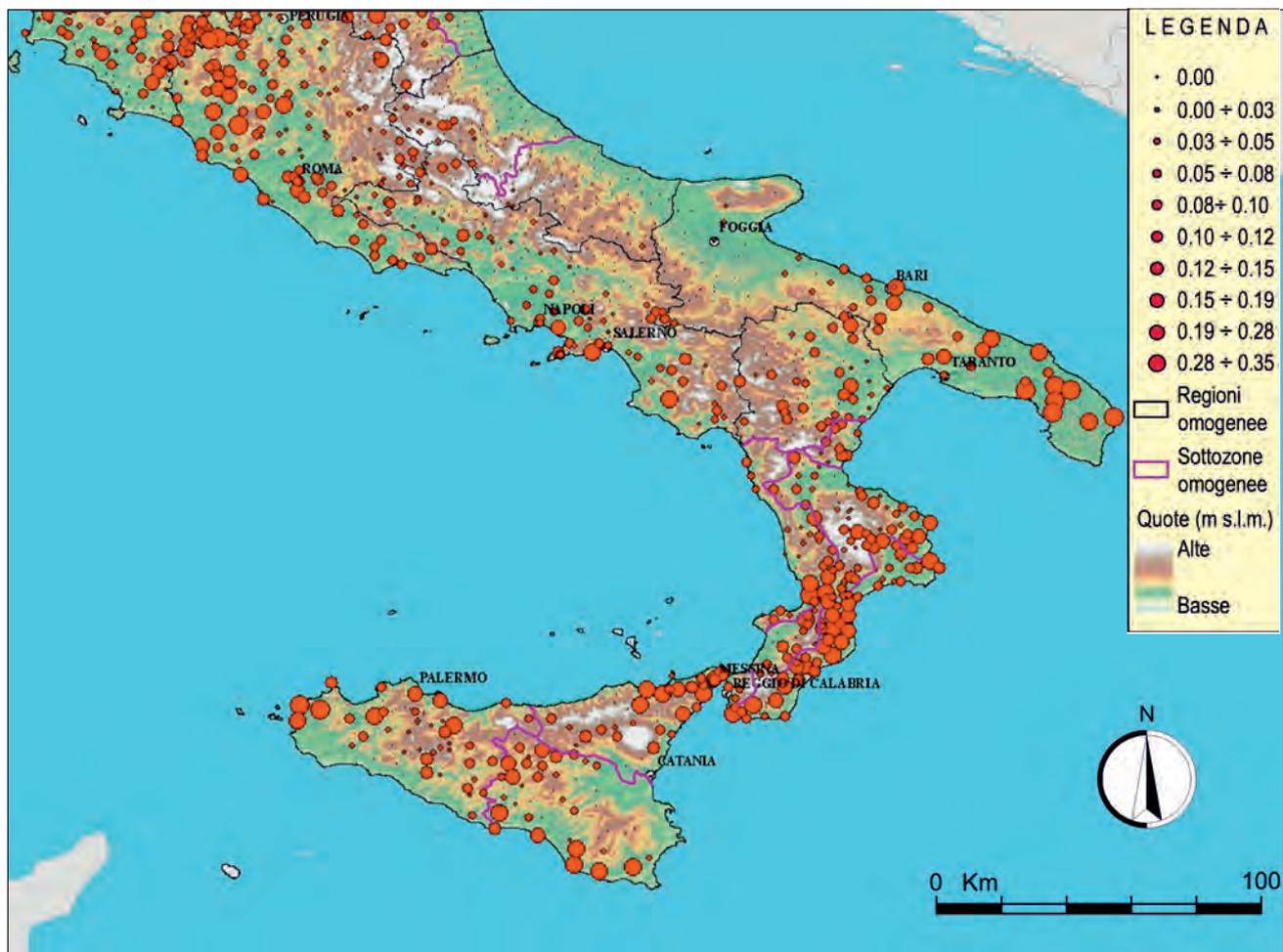


Fig. 7.6 - Localizzazione delle aree ad elevata frequenza di precipitazioni convettive eseguita attraverso la determinazione dell'indice CAPE.
 - Localization of areas with high frequency of convective precipitation through determination of the CAPE index.

dati di pioggia registrati alle stazioni pluviometriche presenti sul territorio pugliese nell'ultimo secolo. A tal fine si sono considerate le stazioni pluviometriche del Servizio Idrografico e Mareografico del Ministero dei lavori Pubblici, poi Servizi Tecnici Nazionali e dal 2003 della Regione Puglia, i cui dati di pioggia misurati sono riportati sugli annali idrologici pubblicati dal Servizio idrografico a partire dal 1921. L'ultimo anno considerato nell'analisi è il 2008. Per alcune stazioni pluviometriche sono stati considerati i totali annui delle precipitazioni relativi agli anni antecedenti all'istituzione del Servizio Idrografico, facendo riferimento, in particolare, ai dati raccolti nelle pubblicazione n. 1 e n. 4 del Servizio Idrografico e Mareografico, che raccolgono i dati rilevati prima dell'istituzione del Servizio stesso, a partire dal XIX secolo.

7.3.1. - Analisi delle precipitazioni totali annue nel periodo 1921÷2008

L'analisi dei *trend* climatici in atto è stata eseguita attraverso lo studio nel tempo del totale annuo delle precipitazioni. Sono state scelte 70 stazioni pluviometriche (fig. 7.7), caratterizzate da lunghe serie storiche con poche lacune, così da consentire una copertura completa del territorio regionale.

Per individuare e studiare eventuali *trend* climatici, i dati di pioggia sono stati rielaborati individuando dei valori medi rappresentativi. Il totale di pioggia annua è, infatti, una grandezza soggetta a forti fluttuazioni nel corso del tempo che mal si presta a regressioni di tipo lineare. Per attenuare, dunque, l'influenza della naturale variabilità annua delle precipitazioni ed evidenziare meglio eventuali *trend* di variazione in atto, si è scelto di utilizzare

una grandezza più stabile, ossia la media trentennale delle precipitazioni (SIMEONE, 2001; RACIOPPI & SIMEONE, 2003). Di norma 30 anni è un periodo di tempo adeguato per valutare il valore medio della piovosità in un determinato sito. In assenza di variazioni climatiche, infatti, la media trentennale delle precipitazioni misurate in una stessa stazione pluviometrica in trentenni differenti dovrebbe subire variazioni molto modeste. Variazioni percentualmente significative della media trentennale possono, pertanto, essere ritenute sintomatiche di variazioni climatiche degne di rilievo.

Si è dunque fatto riferimento alla media mobile trentennale delle precipitazioni, calcolando, per ogni anno, il valore della precipitazione media dei trenta anni precedenti. Essa, per il generico anno i ,

è pari a (SIMEONE, 2001):

$$h_{30}(i) = \frac{\sum_{n=i-29}^i h(n)}{30} \quad (7.1)$$

dove $h(n)$ è l'altezza di pioggia annua misurata nell'anno n -simo. Per ogni stazione pluviometrica considerata è stata quindi analizzata la serie storica dei valori $h_{30}(i)$ invece della serie storica dei totali annui delle precipitazioni. Ad ogni anno è stato associato un valore di precipitazione pari alla precipitazione media dei trenta anni precedenti. La procedura è applicabile solo nel caso in cui si disponga di lunghe serie storiche di dati. La generica serie storica di totali annui di precipitazione, infatti, si riduce di 29 unità, in quanto non è possibile cal-

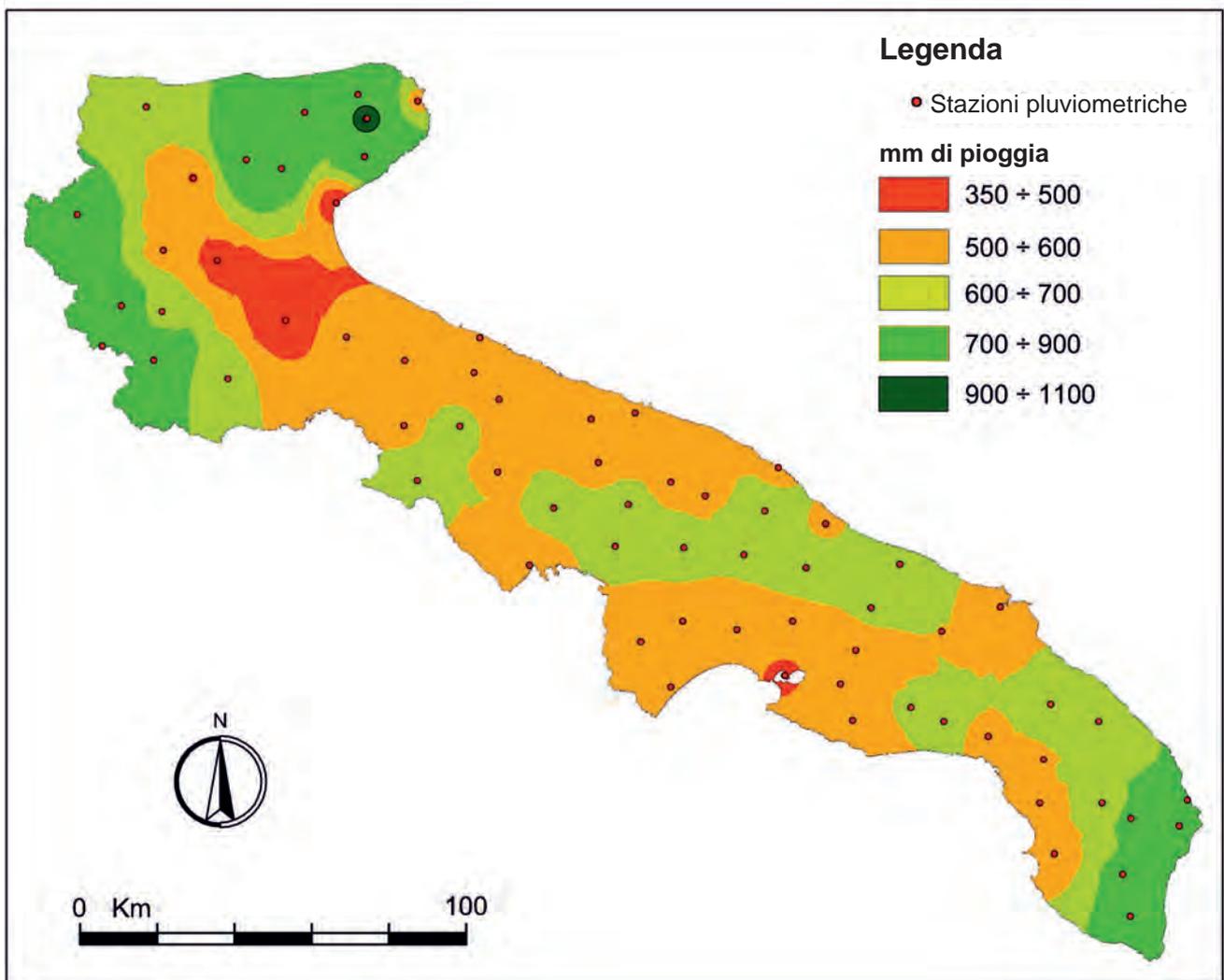


Fig. 7.7 - Stazioni pluviometriche considerate nell'analisi dei trend climatici con indicazione delle isoiete medie annue del trentennio di riferimento 1961÷1990.
- Rain gauge stations considered in the analysis of climate trends, with indication of the mean annual isohyets of the thirty-year reference period 1961÷1990.

colare la grandezza $h_{30}(i)$ per i primi 29 anni. Per poter effettuare valutazioni significative sui *trend* climatici sulla base di questo parametro, è quindi necessaria una serie storica particolarmente lunga, tale che, anche se ridotta di 29 unità, consenta di disporre di una serie di valori di $h_{30}(i)$ sufficientemente lunga.

Gran parte delle stazioni pluviometriche qui considerate dispone di serie storiche di dati che hanno inizio nei primi anni 20 del secolo scorso e terminano nel 2008. Il numero di dati acquisito è quindi sufficiente per poter applicare la procedura descritta ed evidenziare i *trend* di variazione delle precipitazioni. Per alcune stazioni, come già detto, si è potuta estendere la serie storica fino al XIX secolo. Queste ultime saranno trattate nel paragrafo 7.3.2.

È stata eseguita anche la normalizzazione della media trentennale delle precipitazioni rispetto al valore medio relativo all'anno Idrologico internazionale 1961÷1990 (WMO,1996), introducendo il rapporto percentuale $R_{30/90}(i)$:

$$R_{30/90}(i) = \frac{h_{30}(i)}{h_{30}(1990)} 100 \quad (7.2)$$

Questa grandezza esprime percentualmente la variazione del parametro $h_{30}(i)$ definito dall'equazione 7.1 rispetto al valore che lo stesso assume considerando come trentennio di riferimento il periodo 1961÷1990, ossia $h_{30}(1990)$. Valori di $R_{30/90}(i)$ maggiori di 100 sono caratteristici di periodi più piovosi rispetto al trentennio di riferimento, mentre valori minori di 100 sono sintomatici di periodi più secchi di quello di riferimento. L'andamento della media mobile trentennale normalizzata rappresenta quindi lo scostamento delle precipitazioni rispetto alle isoiete rappresentate nella figura 7.7, le quali sono state determinate a partire dalle medie trentennali calcolate nel periodo di riferimento 1961÷1990.

Le elaborazioni sono state eseguite raggruppando le stazioni pluviometriche in 7 gruppi corrispondenti ad altrettante aree regionali: Gargano, Sub-Appennino Dauno, Tavoliere di Foggia, Murgia, Piana di Brindisi, Arco Ionico Tarantino e Salento. A meno del Sub-Appennino Dauno, esse coincidono con le aree idrogeologiche secondo cui

è stato suddiviso il territorio regionale nel presente lavoro, analizzate nei capitoli 13÷18.

7.3.1.1. – G a r g a n o

Dall'analisi degli andamenti della media trentennale delle precipitazioni misurate nelle 8 stazioni pluviometriche ubicate nel Gargano è possibile rilevare che nel periodo considerato (1921÷2008) si è avuta una generale riduzione dell'apporto meteorico. La media mobile trentennale delle precipitazioni ha, infatti, subito una riduzione di circa 100 mm, con una punta massima di decremento, registrata dalla stazione di Bosco Umbra, dell'ordine di 200 mm (fig. 7.8a). È interessante osservare che la riduzione di precipitazioni si concentra essenzialmente negli anni Ottanta. Una riduzione, quindi, localizzata in un intervallo temporale abbastanza ristretto, e solo in parte recuperata in seguito.

Dall'analisi dell'andamento della media mobile trentennale normalizzata è possibile rilevare, per tutte le stazioni, un primo periodo piovoso, che va dal 1950 fino all'inizio degli anni Ottanta, seguito da una netta decrescita. La media trentennale normalizzata si stabilizza verso la metà degli anni Novanta su valori inferiori a quelli del trentennio di riferimento 1961÷1990 (fig. 7.8b).

Nel complesso si evidenzia quindi, per il Gargano, una riduzione degli apporti meteorici concentrata essenzialmente in un quindicennio, a cavallo degli anni Ottanta, cui segue un periodo di parziale recupero del totale delle precipitazioni, ma su valori comunque inferiori a quelli precedenti agli anni Ottanta.

7.3.1.2. - S u b - A p p e n n i n o D a u n o

Le stazioni pluviometriche ubicate nel Sub-Appennino Dauno hanno fornito andamenti delle precipitazioni nel tempo tra loro differenti. Non è stato possibile definire andamenti chiari ed univoci, forse per il basso numero di stazioni presenti. La stazione di Ascoli Satriano presenta un andamento chiaramente decrescente della media mobile trentennale. In particolare si osserva una graduale riduzione delle precipitazioni in quasi tutto il

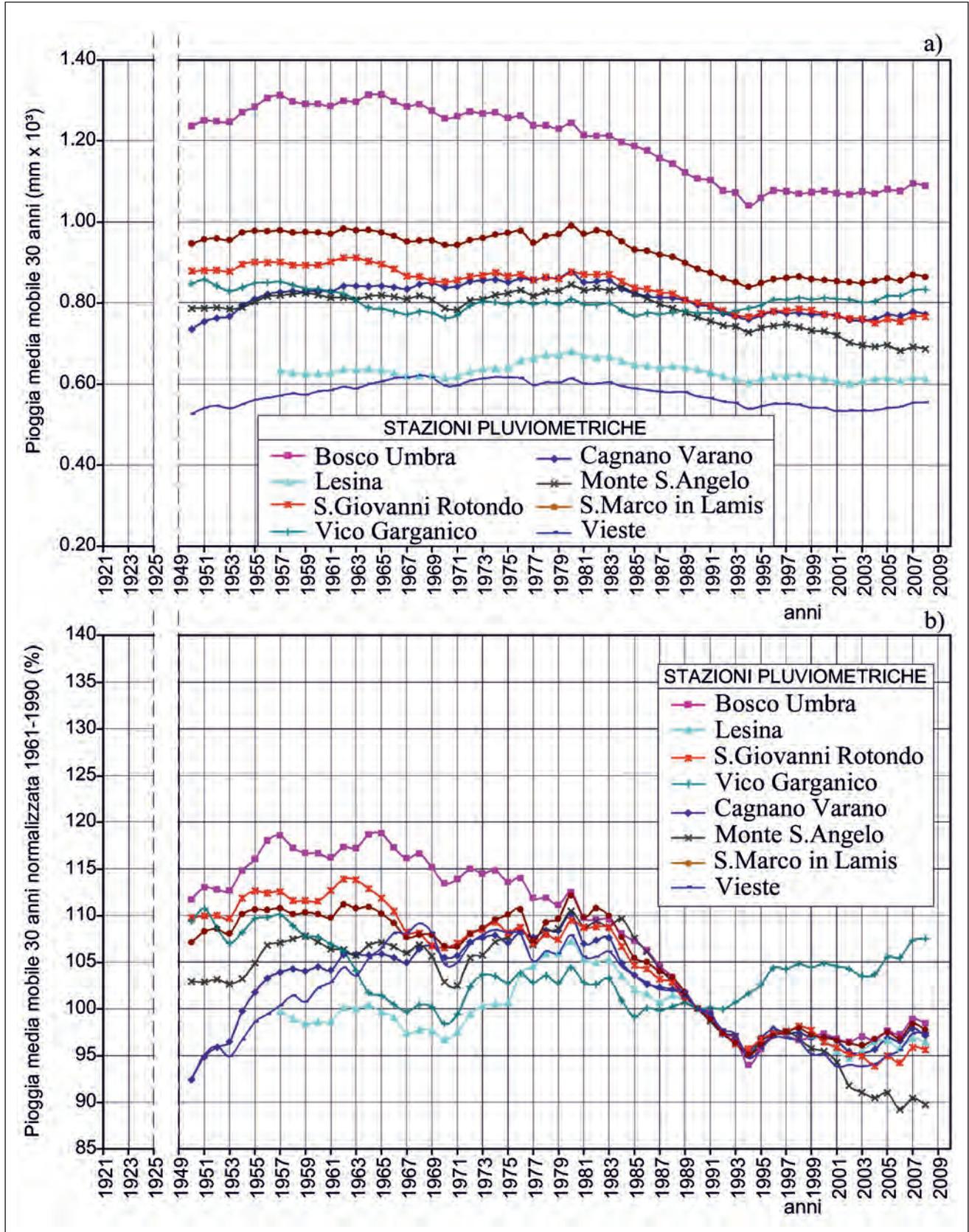


Fig. 7.8 - Gargano: a) Medie mobili trentennali delle precipitazioni annue nel periodo 1921÷2008; b) media mobile normalizzata $R_{30/90(i)}$ rispetto al trentennio di riferimento 1961÷1990.

- Gargano: a) thirty-year mobile average of annual precipitation in the period 1921÷2008; b) normalized mobile average $R_{30/90(i)}$ with respect to the reference thirty-year period 1961÷1990.

periodo di tempo considerato, con un decremento complessivo pari a circa 300 mm. Per le altre stazioni pluviometriche, ossia Biccari, Bovino e Pietramontecorvino, è possibile rilevare oscillazioni irregolari. Le stazioni evidenziano un incremento delle precipitazioni prodottosi dall'inizio del periodo di osservazione sino all'inizio degli anni Ottanta, cui segue un periodo di riduzione. Complessivamente si è verificata una variazione positiva della media mobile pari a 50-75 mm, che si ritiene rientri nell'ambito delle oscillazioni naturali, senza evidenziare un *trend* climatico rilevante (fig. 7.9a).

La media mobile trentennale normalizzata, relativa alla stazione di Ascoli Satriano, presenta una riduzione di circa il 40% nel periodo di osservazione. Viceversa, per le altre stazioni pluviometriche, è possibile rilevare un'iniziale fase di lieve crescita (5-10%), cui segue un decremento a partire dai primi anni Ottanta, in cui la riduzione percentuale delle precipitazioni rispetto al periodo di riferimento 1961÷1990 è stata di circa il 15% (fig. 7.9b).

7.3.1.3. - Tavoliere di Foggia

Le stazioni pluviometriche ubicate nel Tavoliere di Foggia hanno registrato un andamento pressoché omogeneo delle precipitazioni. Si registrano piccole oscillazioni, con alternanza di periodi di crescita e decrescita della media mobile, tale che il valore delle precipitazioni misurato nel 2008 è, in media, dello stesso ordine di quello determinato per il primo anno di calcolo (1921÷1950) (fig. 7.10a). In particolare, si rileva un lieve incremento delle precipitazioni che si protrae sino all'inizio degli anni Ottanta, seguito da un periodo di decrescita sino all'inizio degli anni Novanta, quindi una stabilizzazione che dura sino ad oggi.

Dall'analisi delle medie mobili trentennali normalizzate rispetto al periodo di riferimento 1961÷1990 si rileva che la riduzione delle precipitazioni avutasi sino all'inizio degli anni '80 è dell'ordine del 10% rispetto all'anno idrologico internazionale, con punte del 25%. Solo per la stazione di Ortanova si ha una decrescita pressoché continua del 25% (fig. 7.10b).

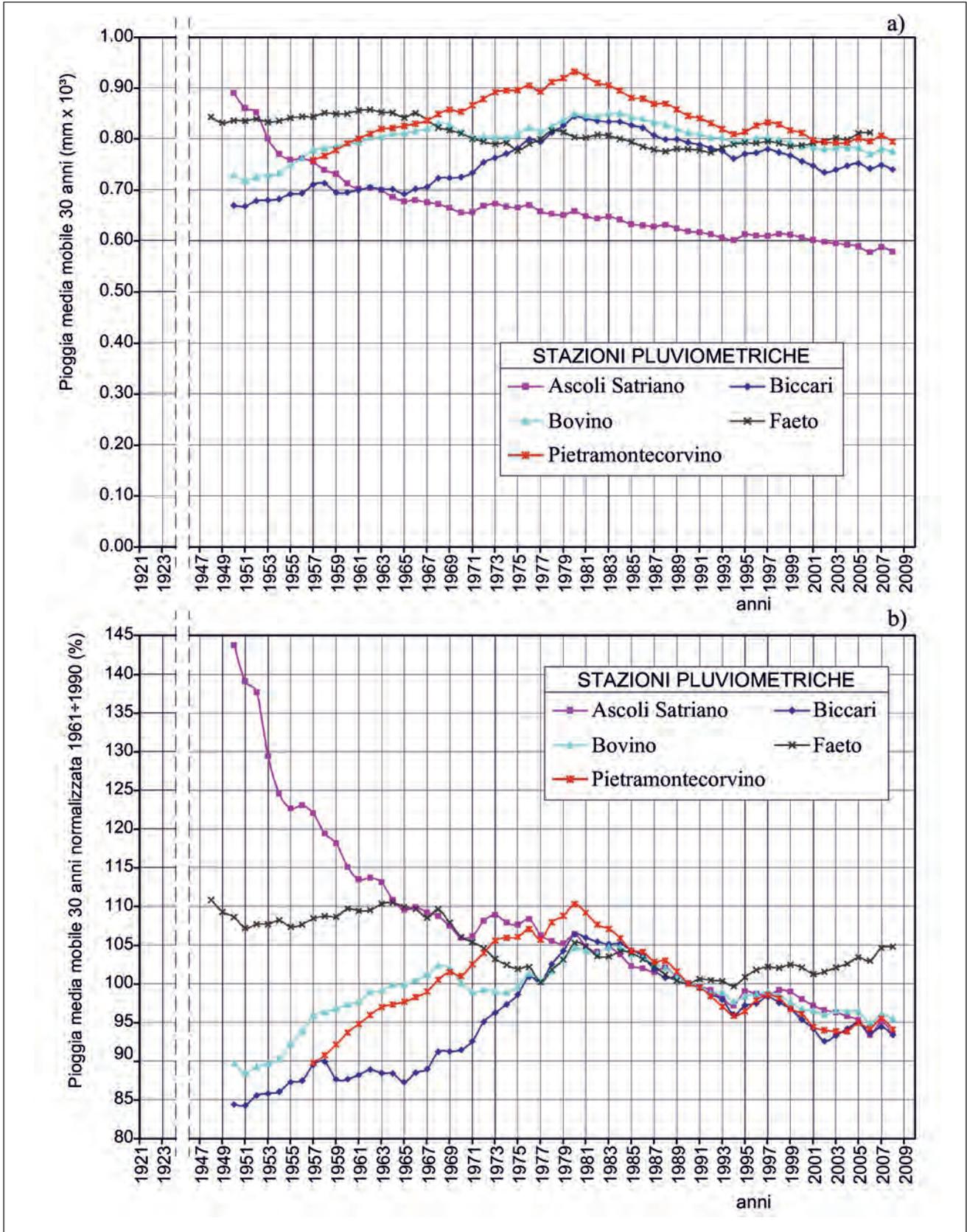
7.3.1.4. - Murgia

Le stazioni pluviometriche ubicate nella Murgia presentano un andamento delle precipitazioni caratterizzato da oscillazioni irregolari, con alternanza di periodi di crescita e riduzione. I valori della media trentennale delle precipitazioni, calcolati con riferimento all'anno 2008, sono compresi tra 750 mm e 450 mm, e non molto distanti da quelli relativi al periodo 1921÷1950 (fig. 7.11a). In ogni caso tutte le stazioni evidenziano un periodo di minimo in corrispondenza della metà degli anni Novanta.

Con riferimento alle medie normalizzate rispetto al periodo di riferimento 1961÷1990, considerando le stazioni nella loro globalità, è possibile rilevare andamenti caratterizzati da forti oscillazioni, essenzialmente non sincronizzate, con una netta riduzione avutasi tra l'inizio degli anni Ottanta e la metà degli anni Novanta. Successivamente, dopo un breve periodo di incremento, si registra una stabilizzazione dei valori di precipitazione su valori prossimi a quelli del trentennio di riferimento (fig. 7.11b). Il fenomeno è ben evidenziato dal diagramma di fig. 7.11c, dove è riportato il comportamento medio complessivo di tutte le stazioni considerate. È evidente un periodo di oscillazioni che caratterizza tutte le stazioni dall'inizio del periodo di misura sino all'inizio degli anni Ottanta, cui segue una decrescita sino all'inizio degli anni Novanta. Negli ultimi 10 anni si ha poi una fase stazionaria.

7.3.1.5. - Piana di Brindisi

Nella Piana di Brindisi sono state prese in considerazione due stazioni pluviometriche, Latiano e Brindisi. La stazione pluviometrica di Brindisi ha presentato una media trentennale, calcolata con riferimento all'anno 2008, leggermente superiore rispetto a quella del 1950, mentre per la stazione di Latiano si è avuto grossomodo uno stesso valore (fig. 7.12a). In generale non è possibile parlare di *trend* climatici in atto. Tuttavia, entrambe le stazioni evidenziano una riduzione delle precipitazioni tra la fine degli anni Settanta e l'inizio degli anni Novanta. Un'evenienza, questa, chiaramente mostrata dall'andamento delle medie mobili trentennali normalizzate rispetto al periodo di riferimento



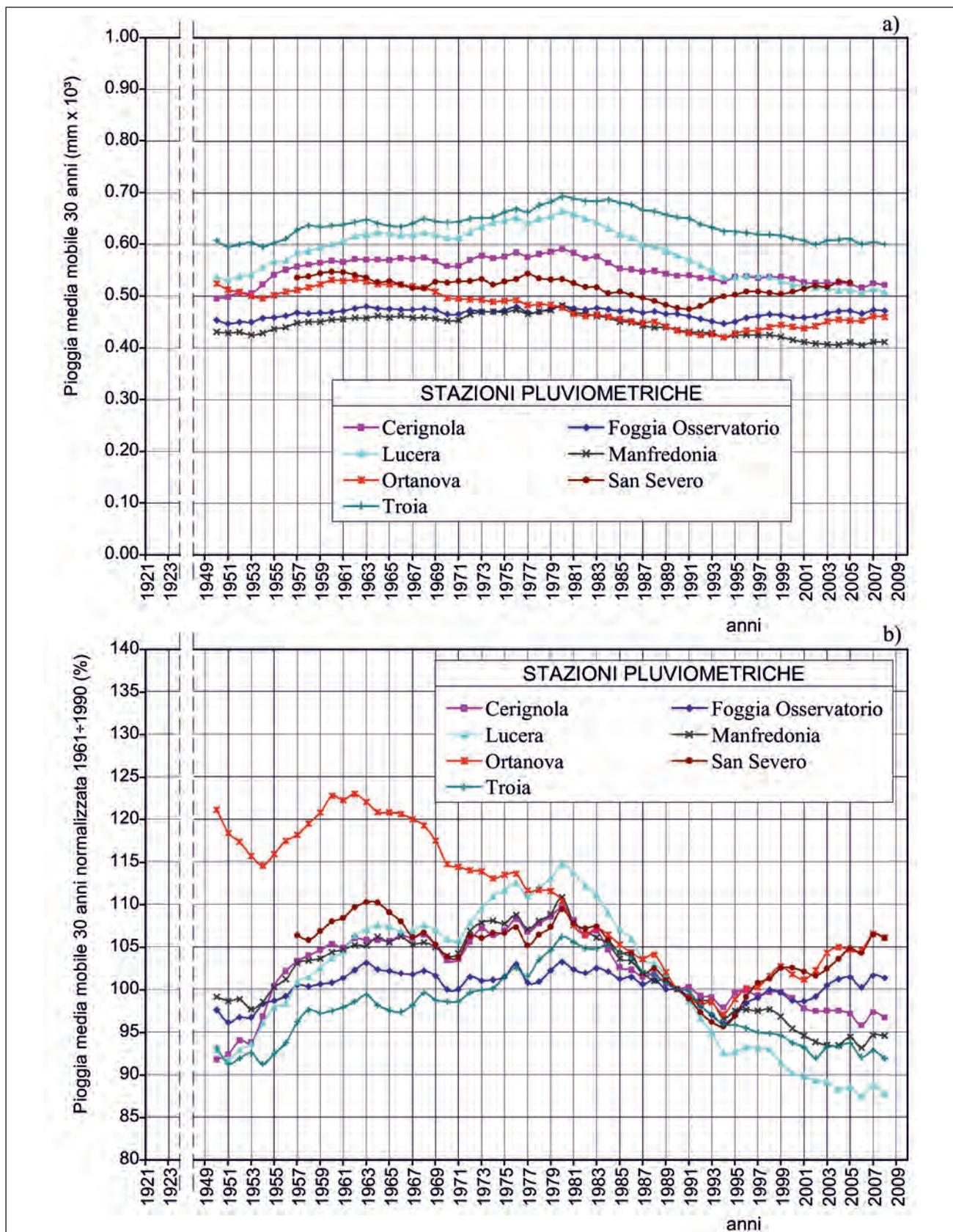


Fig. 7.10 - Tavoliere: a) Medie mobili trentennali delle precipitazioni annue nel periodo 1921÷2008; b) Media mobile normalizzata $R_{30/90(i)}$ rispetto al trentennio di riferimento 1961÷1990.

- Tavoliere: a) Thirty-year mobile averages of annual precipitation in the period 1921÷2008; b) Normalized mobile average $R_{30/90(i)}$ with respect to the reference thirty-year period 1961÷1990.

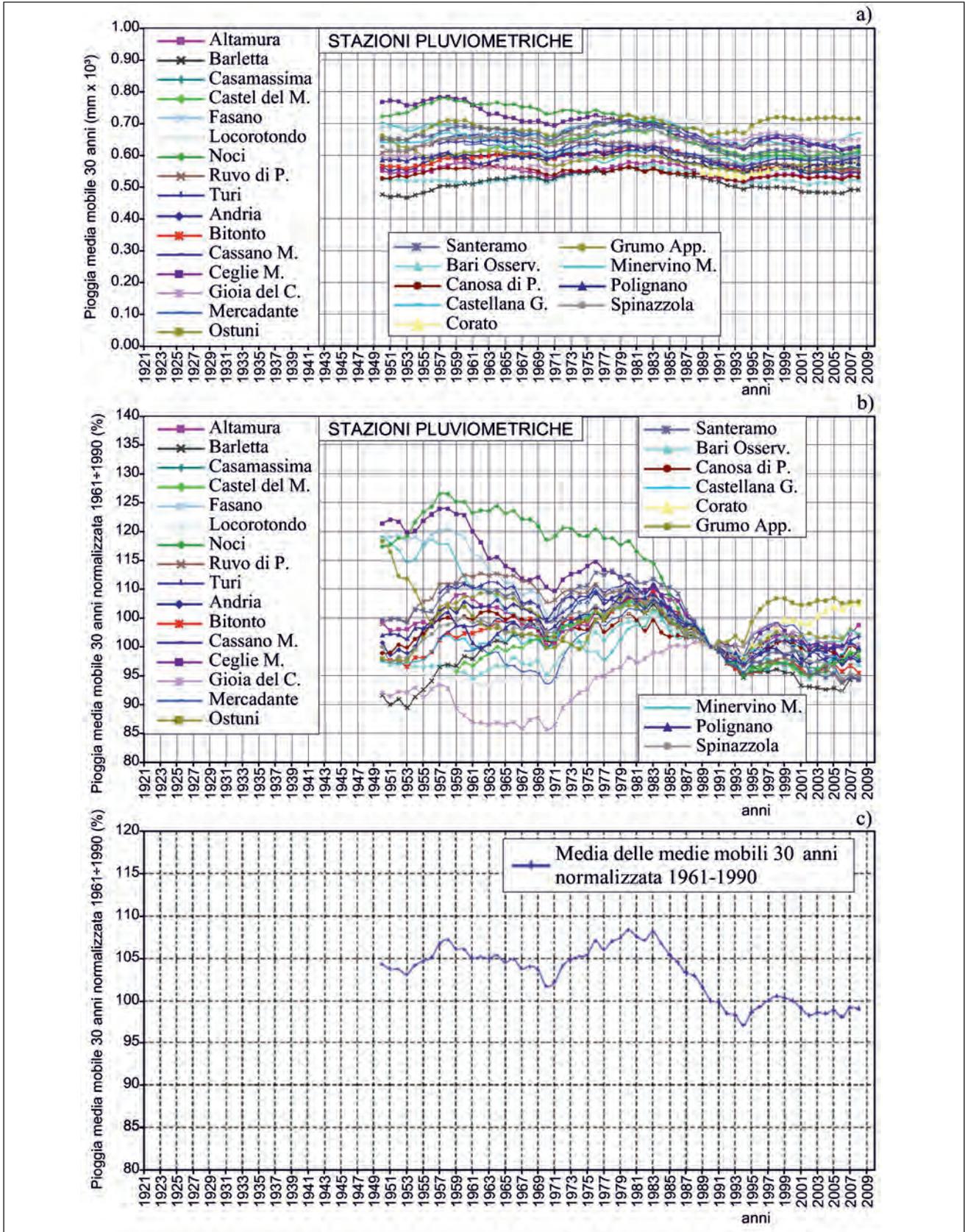


Fig. 7.11 - Murgia: a) Medie mobili trentennali delle precipitazioni annue nel periodo 1921÷2008; b) media mobile normalizzata $R_{30/90(i)}$ rispetto al trentennio di riferimento 1961÷1990; c) valore medio di $R_{30/90(i)}$ calcolato nel periodo 1921÷2008 per tutte le stazioni.

- Murgia: a) Thirty-year mobile averages of annual precipitation in the period 1921÷2008; b) Normalized mobile average $R_{30/90(i)}$, with respect to the reference thirty-year period 1961÷1990; c) Average value of $R_{30/90(i)}$ calculated in the period 1921÷2008 for all the rain gauges.

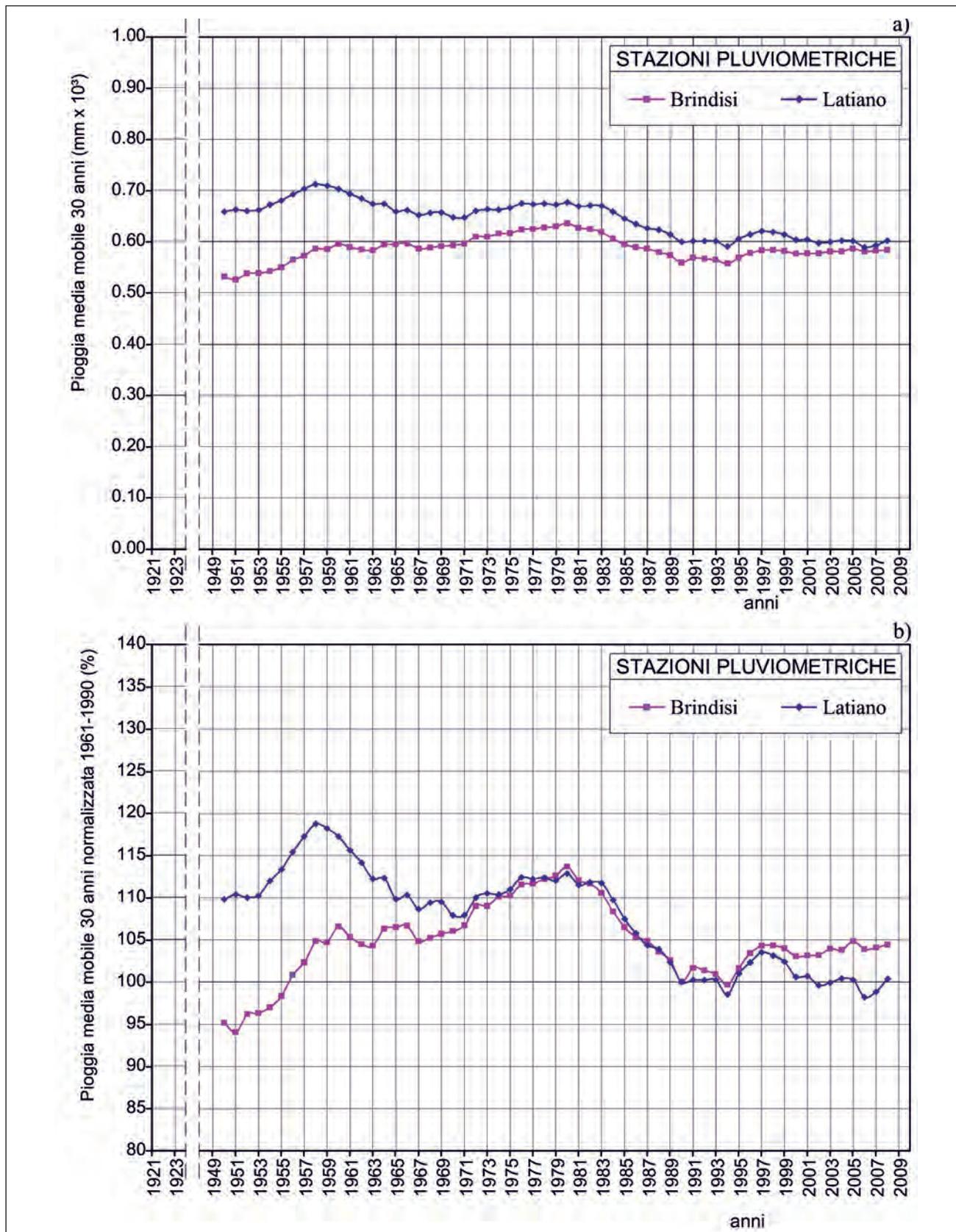


Fig. 7.12 - Piana di Brindisi: a) Medie mobili trentennali delle precipitazioni annue nel periodo 1921÷2008; b) media mobile normalizzata $R_{30/90(i)}$ rispetto al trentennio di riferimento 1961÷1990.

- Brindisi Plain: a) Thirty-year mobile averages of annual precipitation in the period 1921÷2008; b) Normalized mobile average $R_{30/90(i)}$ with respect to the reference thirty-year period 1961÷1990.

1961÷1990 (fig. 7.12b), che indicano una certa stabilizzazione delle precipitazioni negli ultimi 10 anni di osservazione.

7.3.1.6. - Arco Ionico Tarantino

Tutte le stazioni pluviometriche ubicate nell'area dell'Arco Ionico Tarantino hanno mostrato significative oscillazioni della media mobile trentennale delle precipitazioni che si sviluppano in modo abbastanza sincrono. Globalmente, i valori iniziali registrati nel periodo 1920÷1950 variano tra 600 mm e 420 mm, mentre quelli determinati nel 2008 (1979÷2008), ultimo anno di osservazione, sono compresi tra 550 mm e 450 mm. Si osserva quindi una generale riduzione del valore massimo delle precipitazioni e un incremento di quello minimo, che determina un'omogeneizzazione dei totali annuali di pioggia, misurati per le varie stazioni (fig. 7.13a). Ciò indica la tendenza ad una maggiore omogeneità dell'apporto meteorico nell'area idrogeologica considerata. In ogni caso è evidente una riduzione delle precipitazioni tra la fine degli anni Ottanta e l'inizio degli anni Novanta.

L'analisi dell'andamento delle medie mobili trentennali, normalizzate rispetto al periodo di riferimento 1961÷1990, consente di rilevare, per tutte le stazioni considerate, un minimo di detto parametro, misurato tra la fine degli anni Sessanta e l'inizio degli anni Settanta, cui segue una fase di crescita sino alla metà circa degli anni Ottanta, quindi una nuova e più marcata fase di decrescita sino alla metà degli anni Novanta (fig. 7.13b). Durante gli anni Novanta si ha poi nuovamente un lieve incremento delle precipitazioni, cui segue una stabilizzazione fino al 2008.

7.3.1.7. - Salento

L'andamento delle precipitazioni rilevato per le stazioni pluviometriche del Salento presenta forti analogie con quello dell'Arco Ionico Tarantino. Si è, infatti, registrata una variazione delle medie mobili trentennali delle precipitazioni caratterizzata da oscillazioni irregolari, con alternanza di periodi di crescita e di decrescita (fig. 7.14a). In ogni caso è evidente la riduzione delle precipitazioni sviluppa-

tasi tra la fine degli anni Settanta e l'inizio degli anni Novanta, cui segue una fase di precipitazioni stabili.

Considerando tutte le stazioni pluviometriche nel loro insieme, i valori iniziali delle medie trentennali delle precipitazioni calcolate nel 1950 variano tra 850 mm e 520 mm, mentre quelli determinati nel 2008 sono compresi tra 750 mm e 530 mm. Si ha quindi, come per l'Arco Ionico Tarantino, una riduzione del valore massimo della media trentennale delle precipitazioni ed un aumento, anche se in minima misura, di quello minimo. La variabilità delle precipitazioni tra le stazioni passa quindi dagli iniziali 330 mm agli attuali 220 mm (fig. 7.14a). Anche in tal caso, pertanto, si rileva una tendenza ad una maggiore omogeneità dell'apporto meteorico nell'unità idrogeologica considerata.

Nel complesso non sembrano evidenziarsi veri e propri *trend* climatici per il Salento, come evidenziato anche dalle medie mobili trentennali normalizzate rispetto al periodo di riferimento 1961÷1990 (fig. 7.14b). Considerata la discreta omogeneità di comportamento delle stazioni pluviometriche considerate, si è rappresentato il valore medio, calcolato per tutte le stazioni del Salento, della media mobile trentennale, normalizzata rispetto al periodo di riferimento 1961÷1990 (fig. 7.14c). Quest'ultima ben evidenzia il crollo delle precipitazioni, verificatosi grossomodo tra gli anni Ottanta e Novanta, e la successiva stabilizzazione, caratteristici dell'intera Penisola Salentina.

7.3.1.8. - Incidenza della distanza dal mare sulla variazione delle precipitazioni

Le principali aree di alimentazione dei più importanti acquiferi regionali, ossia quelli cretaci presenti nel Gargano, Murgia e Salento e quello quaternario del Tavoliere di Foggia, sono ubicati nelle porzioni di territorio più interne, ossia a notevole distanza dalla costa. Per poter evidenziare possibili differenze nell'andamento nel tempo delle precipitazioni al variare della distanza dalla costa, si è operata una suddivisione tra stazioni pluviometriche vicine alla costa e stazioni interne, ubicate cioè ad una distanza dalla costa maggiore di 10 km (figg. 7.15÷7.19). Ovviamente non sono state prese

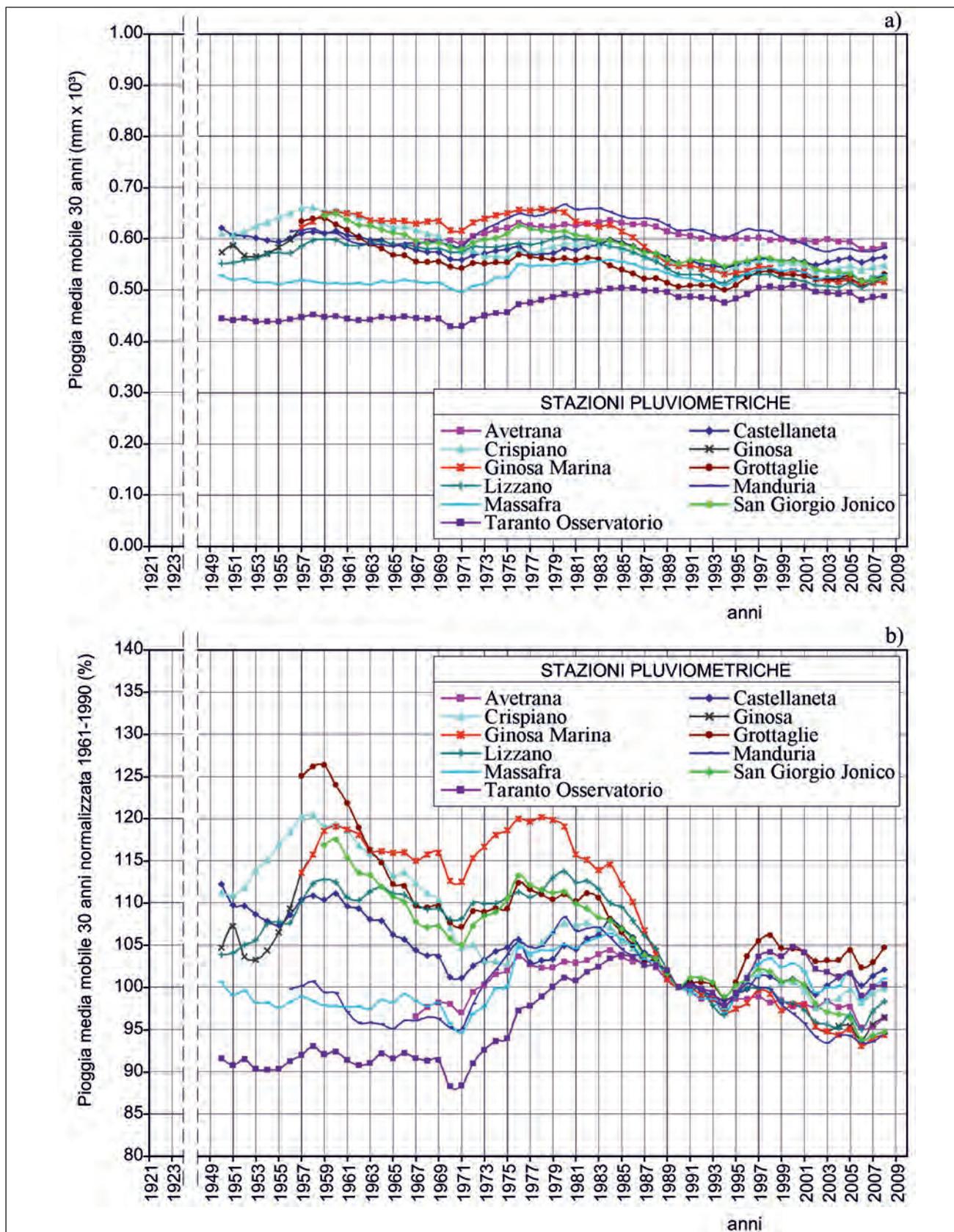


Fig. 7.13 - Arco Ionico Tarantino: a) Medie mobili trentennali delle precipitazioni annuali nel periodo 1921÷2008; b) media mobile normalizzata $R_{30/90(i)}$ rispetto al trentennio di riferimento 1961÷1990.

- Ionian Arch of the Gulf of Taranto: a) Thirty-year mobile averages of annual precipitation in the period 1921÷2008; b) Normalized mobile average $R_{30/90(i)}$ with respect to the reference thirty-year period 1961÷1990.

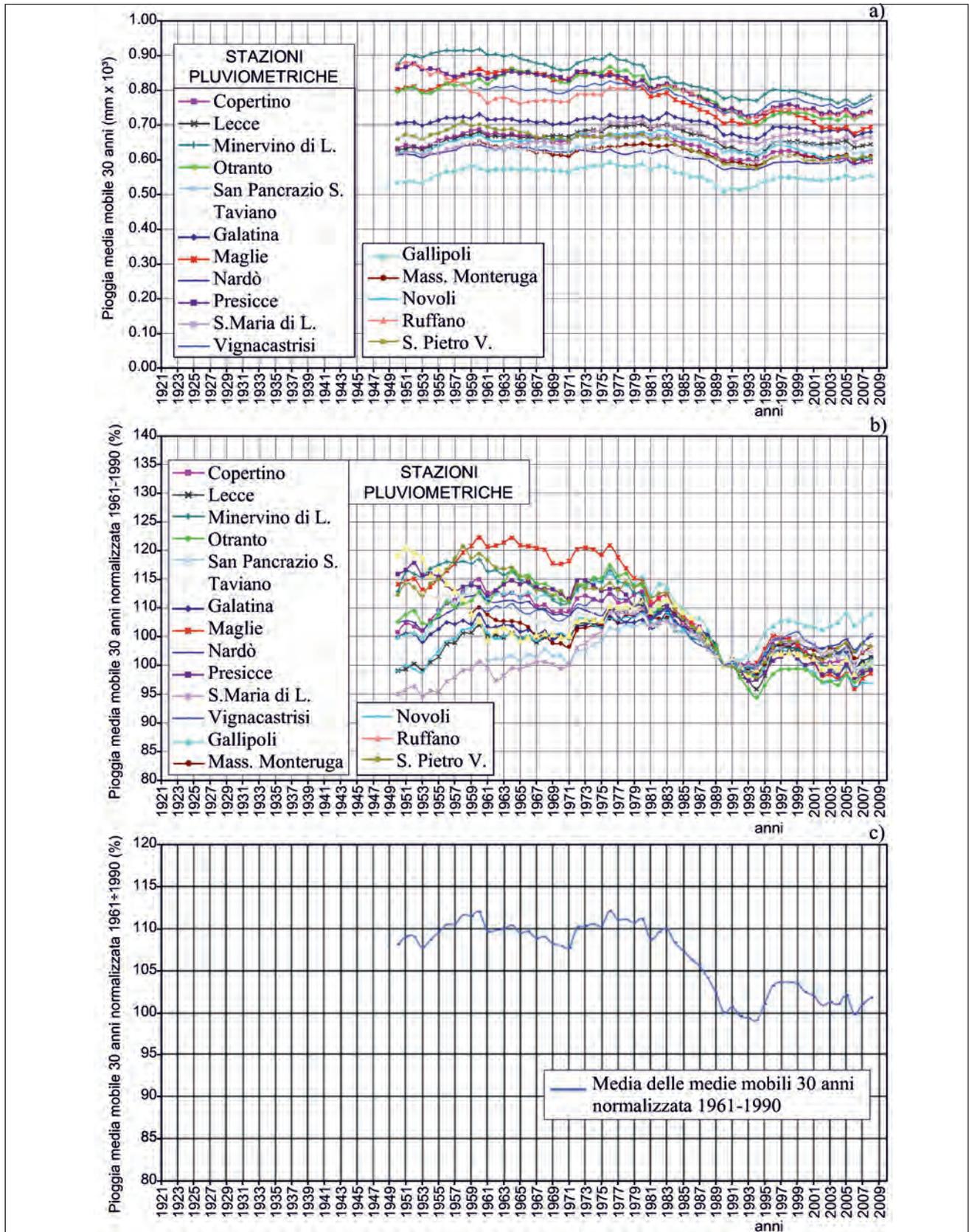


Fig. 7.14 - Salento: a) Medie mobili trentennali delle precipitazioni annue nel periodo 1921÷2008; b) Media mobile normalizzata $R_{30/90(i)}$ rispetto al trentennio di riferimento 1961÷1990; c) valore medio di $R_{30/90(i)}$ calcolato nel periodo 1921÷2008 per tutte le stazioni.

- Salento: a) Thirty-year mobile averages of annual precipitation in the period 1921 ÷ 2008; b) Normalized mobile average $R_{30/90(i)}$ with respect to the reference thirty-year period 1961÷1990; c) Mean value of $R_{30/90(i)}$ calculated in the period 1921÷2008 for all the rain gauges.

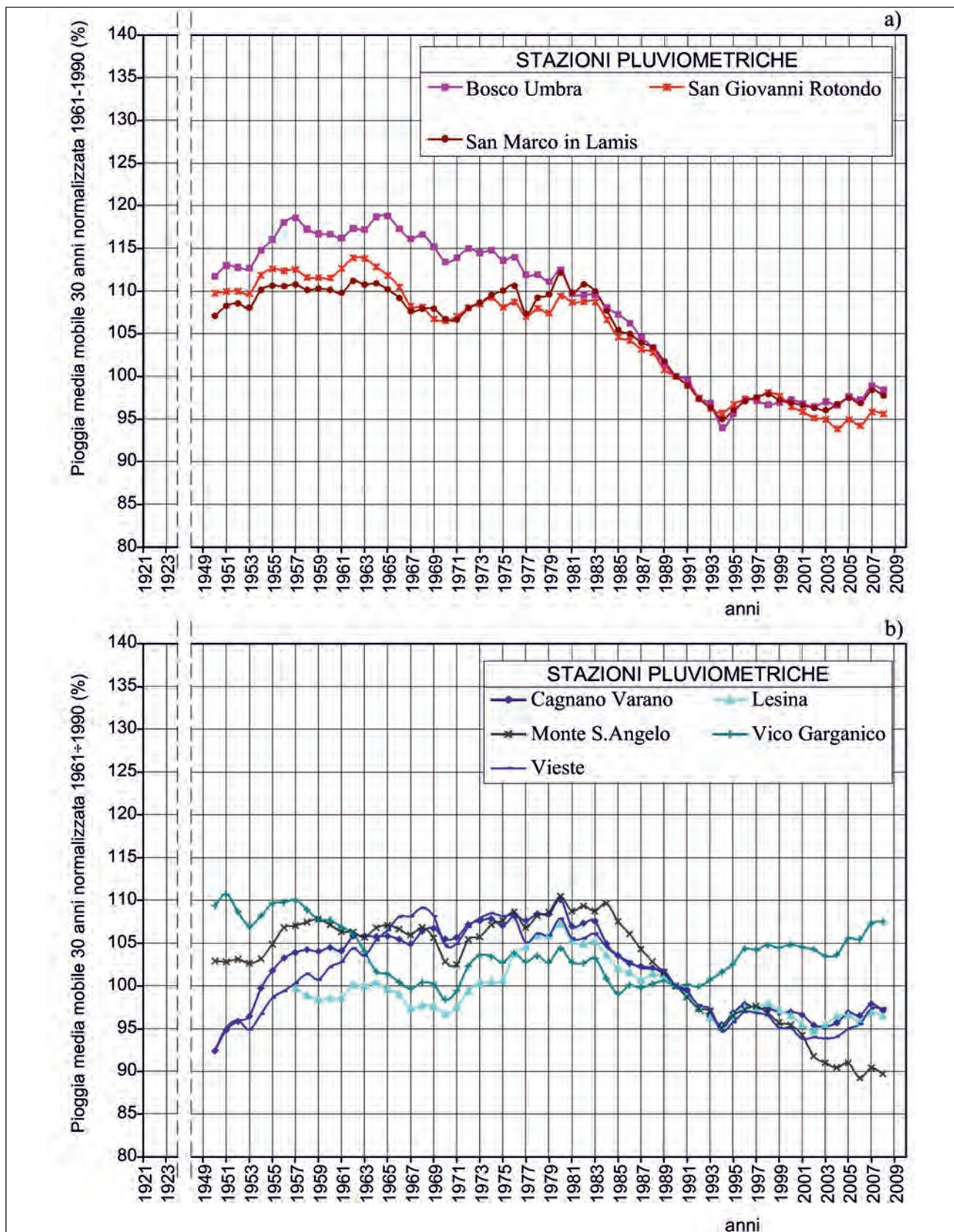


Fig. 7.15 - Gargano. Media mobile normalizzata $R_{30/90(i)}$ calcolata nel periodo 1921÷2008 e riferita al trentennio di riferimento 1961÷1990: a) stazioni pluviometriche poste "nell'entroterra" (distanza maggiore di 10 km dalla costa); b) stazioni pluviometriche prossime alla costa.

- Gargano. Normalized mobile average $R_{30/90(i)}$ calculated in the period 1921÷2008 and relative to the thirty-year reference period 1961÷1990: a) rain gauge stations located "inland" (more than 10 km from the coast); b) rain gauge stations near the coast.

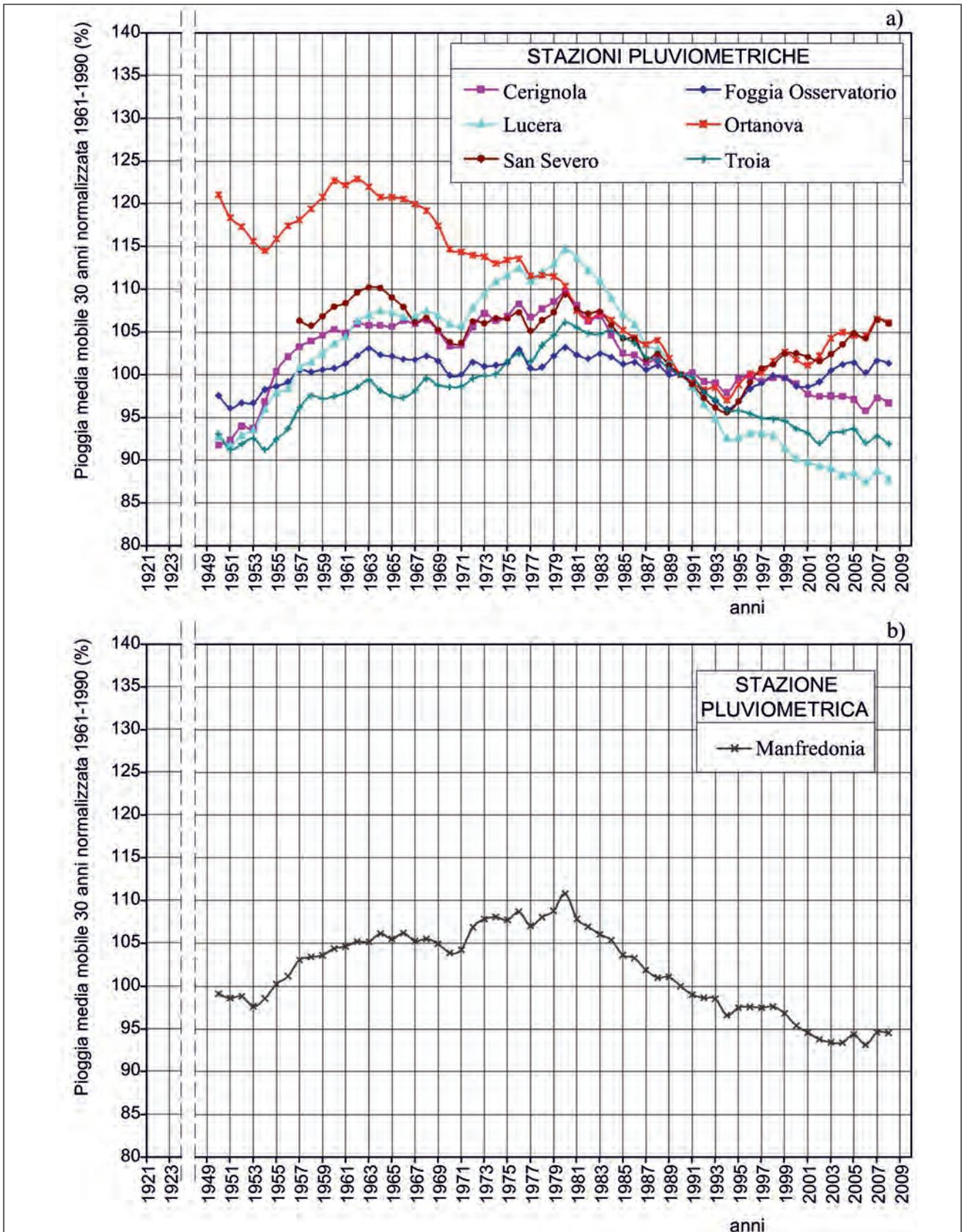


Fig. 7.16 - Tavoliere. Media mobile normalizzata $R_{30/90(i)}$ calcolata nel periodo 1921÷2008 e riferita al trentennio di riferimento 1961÷1990: a) stazioni pluviometriche poste “nell’entroterra” (distanza maggiore di 10 km dalla costa); b) stazione pluviometrica prossima alla costa.

- Tavoliere. Normalized mobile average $R_{30/90(i)}$ calculated in the period 1921÷2008 and relative to the thirty-year reference period 1961÷1990: a) rain gauges located inland (more than 10 km from the coast); b) rain gauge near the coast.

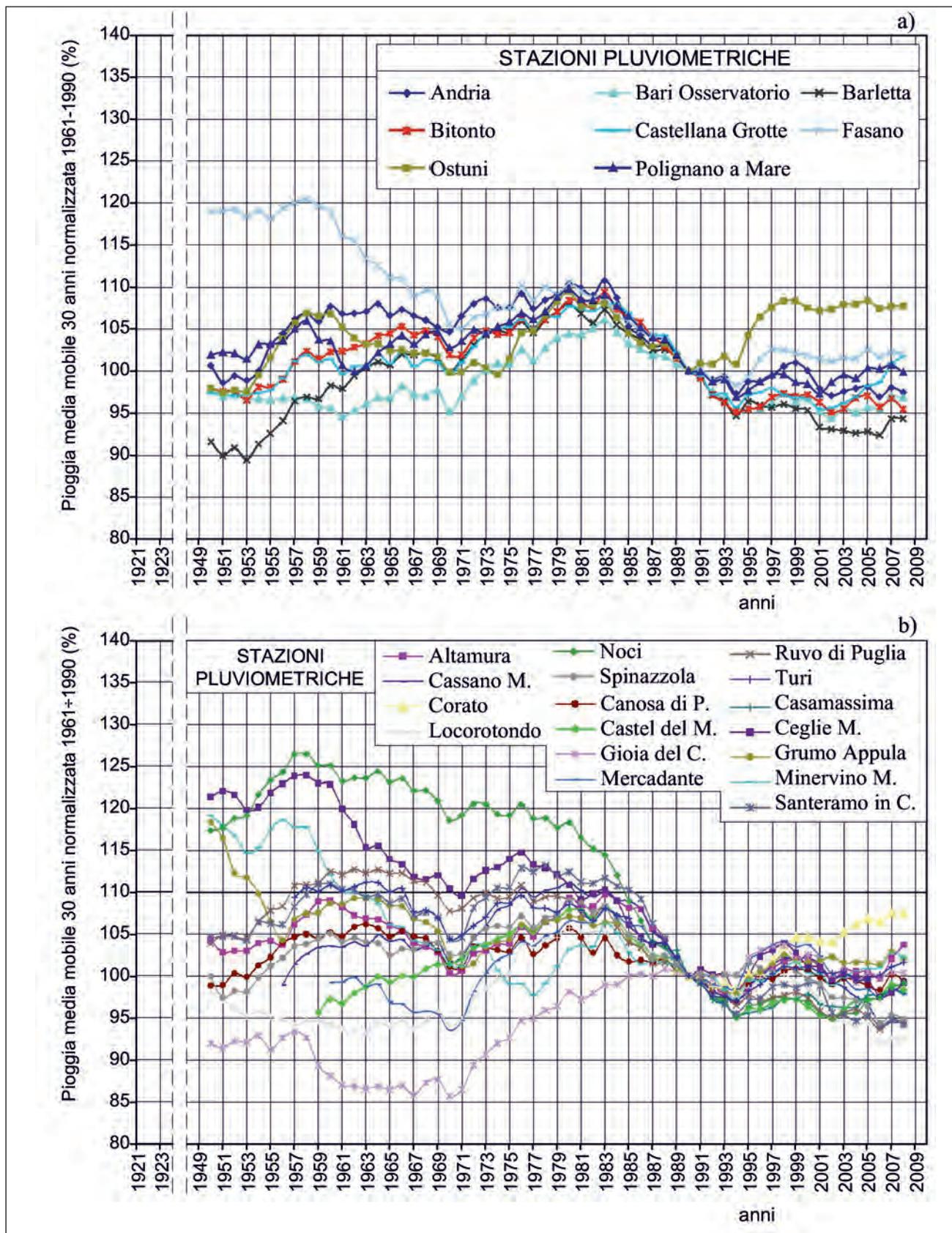


Fig. 7.17 - Murgia. Media mobile normalizzata $R_{30/90(i)}$ calcolata nel periodo 1921÷2008 e riferita al trentennio di riferimento 1961÷1990: a) stazioni pluviometriche poste “nell’entroterra” (distanza maggiore di 10 km dalla costa); b) stazioni pluviometriche prossime alla costa.

- Murgia. Normalized mobile average $R_{30/90(i)}$ calculated in the period 1921÷2008 and relative to the thirty-year reference period 1961÷1990: a) rain gauges located inland (more than 10 km from the coast); b) rain gauges near the coast.

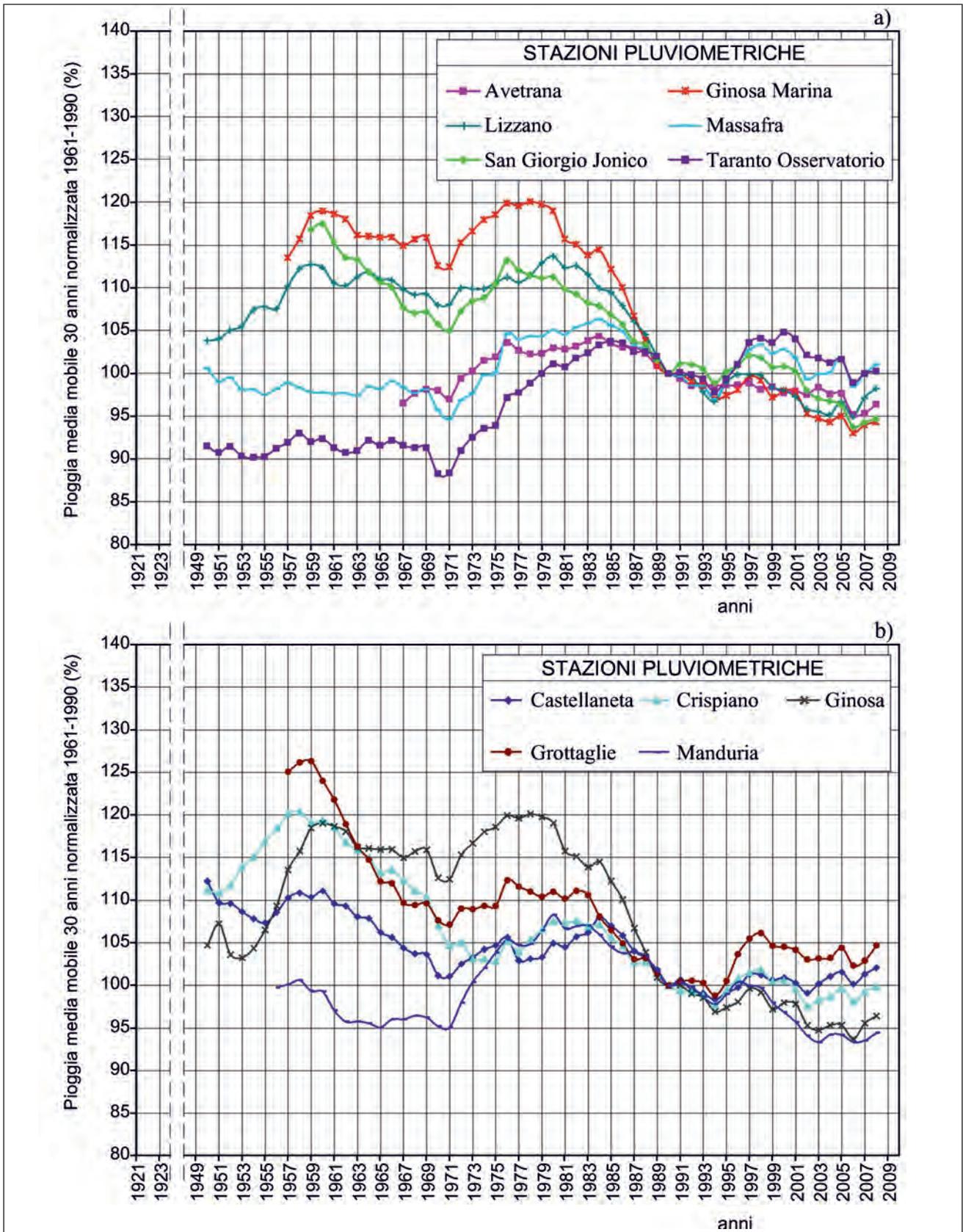


Fig. 7.18 - Arco Ionico Tarantino. Media mobile normalizzata $R_{30/90(i)}$ calcolata nel periodo 1921÷2008 e riferita al trentennio di riferimento 1961÷1990: a) stazioni pluviometriche poste “nell’entroterra” (distanza maggiore di 10 km dalla costa); b) stazioni pluviometriche prossime alla costa.
 – Ionian Arch of the Gulf of Taranto. Normalized mobile average $R_{30/90(i)}$ calculated in the period 1921÷2008 and relative to the thirty-year reference period 1961÷1990: a) rain gauges located inland (more than 10 km from the coast); b) rain gauges near the coast.

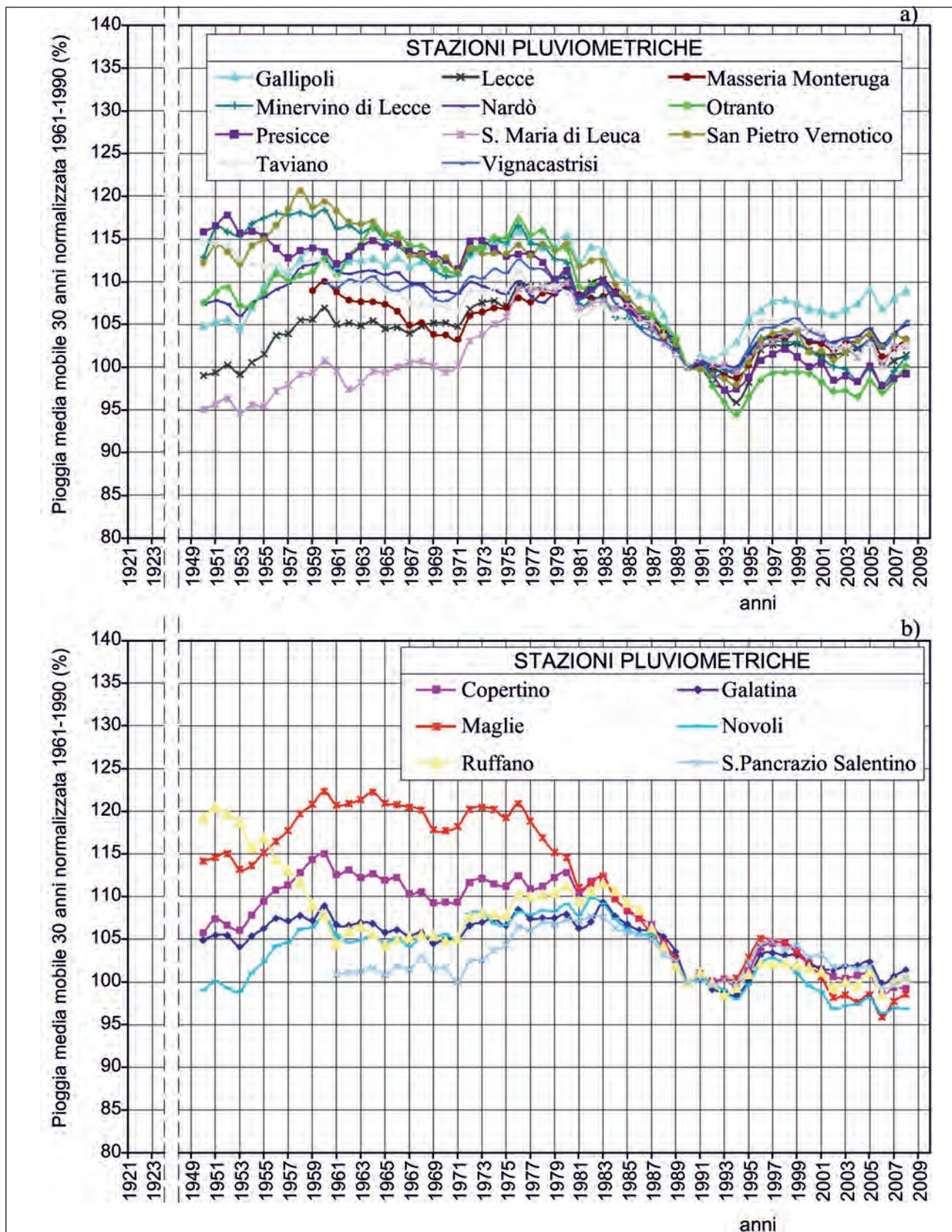


Fig. 7.19 - Salento. Media mobile normalizzata $R_{30/90(i)}$ calcolata nel periodo 1921÷2008 e riferita al trentennio di riferimento 1961÷1990: a) stazioni pluviometriche poste "nell'entroterra" (distanza maggiore di 10 km dalla costa); b) stazioni pluviometriche prossime alla costa.

- Salento. Normalized mobile average $R_{30/90(i)}$ calculated in the period 1921÷2008 relative to the thirty-year and reference period 1961÷1990: a) rain gauges located inland (more than 10 km from the coast); b) rain gauges near the coast.

in considerazione le aree del Sub-Appennino Dauno e della Piana di Brindisi, visto che la prima non presenta aree costiere e la seconda non dispone di pluviometri interni.

È interessante osservare che là dove si rileva una decrescita delle precipitazioni, questa è generalmente più accentuata nelle zone interne, caratterizzate di norma da precipitazioni totali più abbondanti (fig. 7.7). Ciò accade, in modo più accentuato e generalizzato per il Gargano. I fenomeni osservati comportano quindi un'omogeneizzazione delle precipitazioni sul territorio regionale, in quanto le riduzioni riguardano soprattutto aree interessate da precipitazioni maggiori. Si tratta di un dato importante perché proprio nelle zone più interne si verifica generalmente la principale alimentazione degli acquiferi.

7.3.1.9 - Considerazioni generali sulle variazioni delle precipitazioni osservate nel periodo 1921÷2008

L'analisi svolta nei paragrafi precedenti ha evidenziato interessanti variazioni delle precipitazioni relativamente al territorio pugliese. Lo studio dell'andamento nel tempo della media trentennale delle precipitazioni, e di quella normalizzata rispetto al periodo di riferimento 1961÷1990, ha evidenziato una generale riduzione delle precipitazioni. Riduzione lieve, tranne in alcuni casi, come nella stazione pluviometrica Bosco Umbra del Gargano o in quella di Ascoli Satriano del Sub-Appennino Dauno.

Abbracciando con uno sguardo d'insieme tutte le stazioni pluviometriche, si evince una diminuzione delle precipitazioni in tutte le aree idrogeologiche regionali a cavallo degli anni Ottanta. Questa fase, durata circa 10 anni, ha fatto ipotizzare, almeno sino a poco tempo fa, che il fenomeno potesse assumere forme molto più accentuate di quelle effettivamente riscontrate. Nell'ultimo decennio di osservazione, ossia a partire dalla fine degli anni Novanta, si rileva una generale stabilizzazione delle precipitazioni. Va osservato che su quasi tutto il territorio regionale la riduzione delle precipitazioni verificatasi durante gli anni Ottanta è stata recuperata solo in parte.

L'analisi non indica, comunque, evidenti *trend* climatici in atto, ma rileva come, in modo più o meno periodico, la nostra regione vada incontro ad importanti periodi in cui le precipitazioni meteoriche sono in media molto ridotte e la fase di siccità può durare a lungo.

7.3.2. - Analisi delle stazioni pluviometriche che dispongono di dati di pioggia a partire dal XIX secolo

Per alcune delle stazioni pluviometriche pugliesi sono disponibili lunghe serie storiche, con una notevole mole di dati anche antecedenti al 1921, anno di istituzione del Servizio Idrografico e Mareografico. In particolare, sono stati considerati i dati di 10 stazioni pluviometriche per le quali si dispone di dati di pioggia misurati a partire dal XIX secolo. Nella tabella 7.1 sono indicate le stazioni pluviometriche considerate e il periodo di tempo in cui si dispone di dati pluviometrici.

Come si può osservare, la stazione pluviometrica con la serie storica più lunga è quella di Locorotondo (1829 ÷ 2008), ma esistono parecchie stazioni dotate di lunghe serie storiche. Per queste ultime si sono potute effettuare analisi di più lungo periodo che hanno consentito di analizzare meglio le variazioni delle precipitazioni nel tempo.

Tab. 7.1 - *Stazioni pluviometriche considerate per la valutazione dell'Indice di siccità ed indicazione del relativo periodo di osservazione dei dati di pioggia.*

– Rain gauges used for assessment of the drought index and the corresponding rainfall data observation period.

Stazione pluviometrica	Periodo di osservazione dati pluviometrici	
Brindisi	1877	2008
Castellaneta	1877	2008
Crispiano	1916	2008
Foggia Osservatorio	1895	2008
Ginosa	1887	2008
Lecce	1875	2008
Lizzano	1916	2008
Locorotondo	1829	2008
Massafra	1881	2008
Taranto	1887	2008

7.3.2.1. - Analisi delle medie mobili trentennali delle precipitazioni

Nelle figure 7.20 e 7.21 è rappresentato, per le stazioni considerate, l'andamento nel tempo delle medie mobili trentennali e delle medie mobili trentennali normalizzate rispetto al periodo di riferimento 1961÷1990. La stazione di Locorotondo, che dispone della serie più lunga, indica una riduzione delle precipitazioni molto importante che ha inizio già nella seconda metà del XIX secolo e termina all'inizio degli anni Cinquanta del secolo scorso. Durante questo lungo periodo le precipitazioni si sarebbero ridotte di ben 300 mm. Una riduzione presente, pur in forma più ridotta, anche nelle serie storiche di altre stazioni, ad eccezione di Lecce e Taranto, che sembrano caratterizzarsi per una maggiore stazionarietà.

In ogni caso, il fenomeno è più evidente per la stazione di Locorotondo, dove si dispone di una più lunga serie storica ed è possibile intravedere il *trend* evolutivo, spesso mascherato da oscillazioni periodiche. Si osservano, infatti, oscillazioni della media trentennale anche significative

(superiori al 15%) sia in negativo sia in positivo, che mascherano il fenomeno generale. Terminata la riduzione generale delle precipitazioni, ossia a partire dall'inizio degli anni Cinquanta, inizia una fase di leggera crescita, cui segue la netta decrescita che ha caratterizzato il periodo compreso fra gli anni Ottanta e i primi anni Novanta, come già evidenziato nei paragrafi precedenti. È interessante osservare che il crollo delle precipitazioni avutosi a cavallo degli anni Ottanta assume una valenza molto minore se inserito in un contesto più ampio. La riduzione delle precipitazioni evidenziata dalla stazione di Locorotondo tra la fine del XIX secolo e la prima metà del secolo scorso è, infatti, molto maggiore per quantità e durata, di quella osservata di recente. Una riduzione, questa, comunque, indagata con un numero ridotto di pluviometri, per cui è impossibile estendere all'intera regione quanto osservato. Si tratta tuttavia di una decrescita congruente con la fase di uscita dalla cosiddetta "piccola età glaciale", periodo compreso fra il 1600 e il 1850 e caratterizzato in tutta Europa da un clima particolarmente freddo e piovoso.

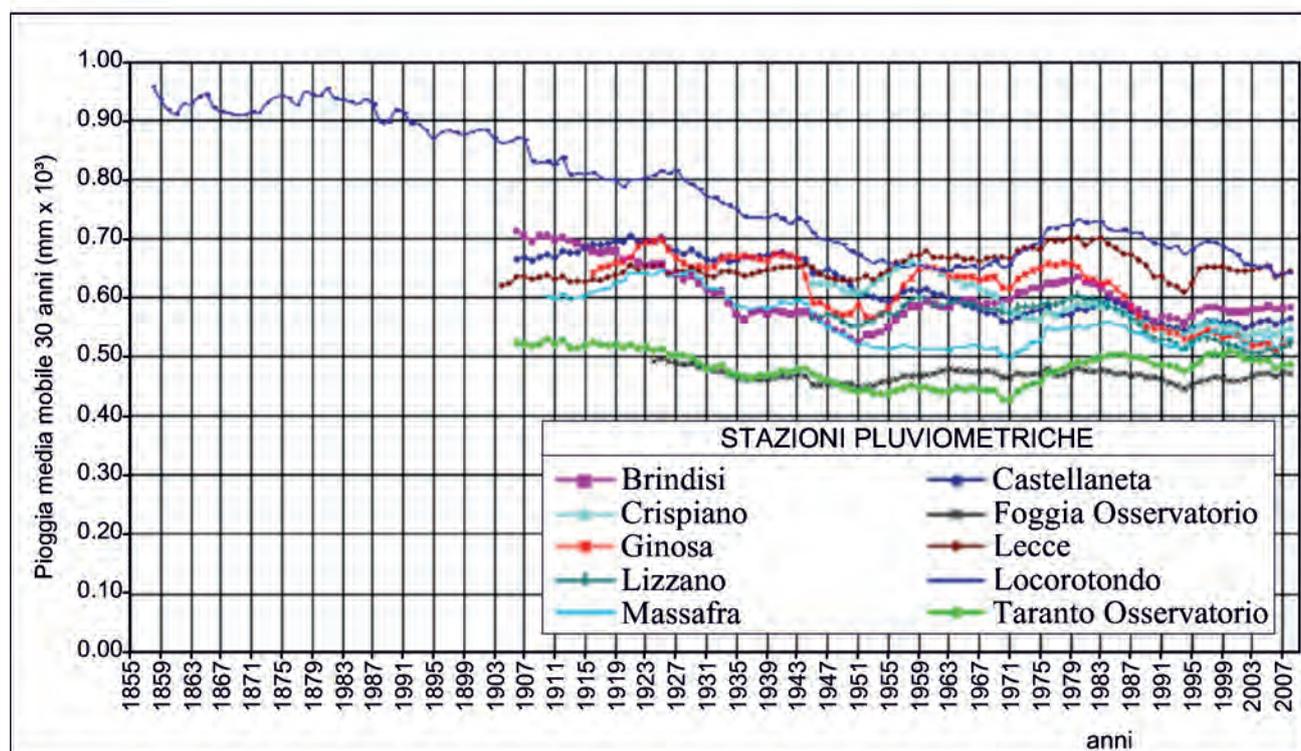


Fig. 7.20 - Medie mobili trentennali delle precipitazioni annue per le stazioni pluviometriche presentanti serie storiche che hanno inizio prima del 1921.
 - *Thirty-year period mobile averages of annual precipitation for the rain gauges having historical time series starting before the year 1921.*

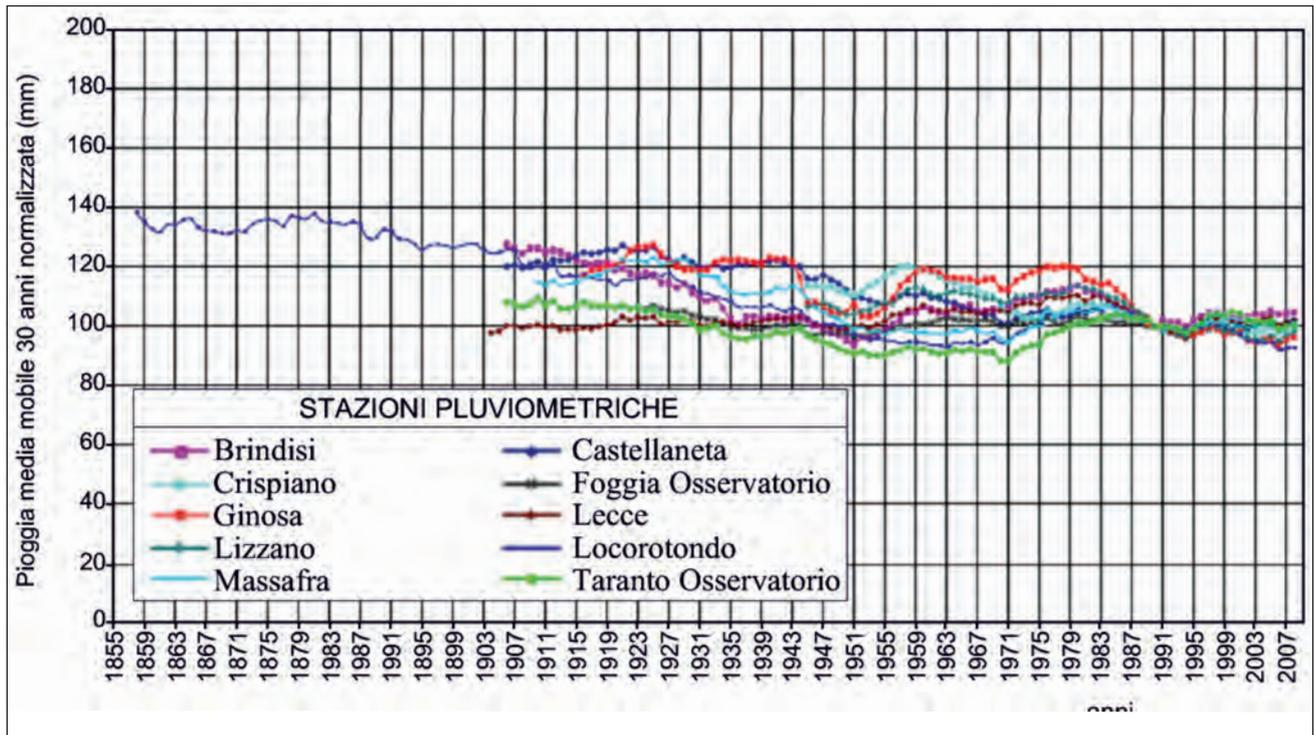


Fig. 7.21 - Medie mobili trentennali normalizzate rispetto al periodo di riferimento 1961÷1990 delle precipitazioni annue per le stazioni pluviometriche presentanti serie storiche che hanno inizio prima del 1921.

- Thirty-year period mobile averages normalized with respect to the reference period 1961÷1990 of annual precipitation for the rain gauges having historical time series starting before the year 1921.

7.3.2.2. - Variazione della distribuzione stagionale delle precipitazioni

Le precipitazioni che concorrono maggiormente all'alimentazione delle risorse idriche sotterranee sono quelle relative alla stagione invernale, in particolare al trimestre novembre-gennaio. Le precipitazioni relative alla stagione estiva, in particolare al trimestre giugno-agosto, sono invece poco influenti ai fini dell'alimentazione delle risorse idriche sotterranee, poiché, in un ambiente climatico mediterraneo, vanno in gran parte perse per evapotraspirazione.

Si è deciso di analizzare soprattutto le caratteristiche delle precipitazioni, per poter valutare se le variazioni osservate e descritte nei paragrafi precedenti siano uniformemente distribuite all'interno dell'anno o se interessano invece maggiormente solo alcuni mesi. Detta analisi è stata svolta solo per le stazioni di cui si dispone di dati a partire dal XIX secolo.

Come mostra bene la figura 7.22, è interessante osservare che i *trend* di decrescita rilevati nel trimestre invernale novembre-gennaio sono congruenti

con quelli osservati facendo riferimento all'intero anno, così come analizzati nei paragrafi precedenti. Considerando il periodo che va dai primi anni Ottanta fino alla metà degli anni Novanta, che abbiamo visto caratterizzato da una forte decrescita delle precipitazioni annuali, è possibile rilevare che la riduzione delle precipitazioni è ancora più importante percentualmente se si considera il solo trimestre invernale novembre – gennaio (fig. 7.22a). In detto periodo le precipitazioni estive subiscono infatti un incremento. Quanto esposto evidenzia, insomma, che il calo delle precipitazioni è concentrato soprattutto nel periodo invernale, ed è dunque ancora più rilevante agli effetti dell'alimentazione degli acquiferi regionali. Se si analizza il trimestre estivo, invece, si osserva un complessivo calo della media trentennale delle precipitazioni a partire dall'inizio degli anni Venti, con un'inversione di tendenza a partire dagli anni Cinquanta. Un comportamento, questo, più o meno generalizzato e riferibile a tutte le stazioni considerate, ma che diventa estremamente differenziato a partire dai primi anni Ottanta (fig. 7.22b).

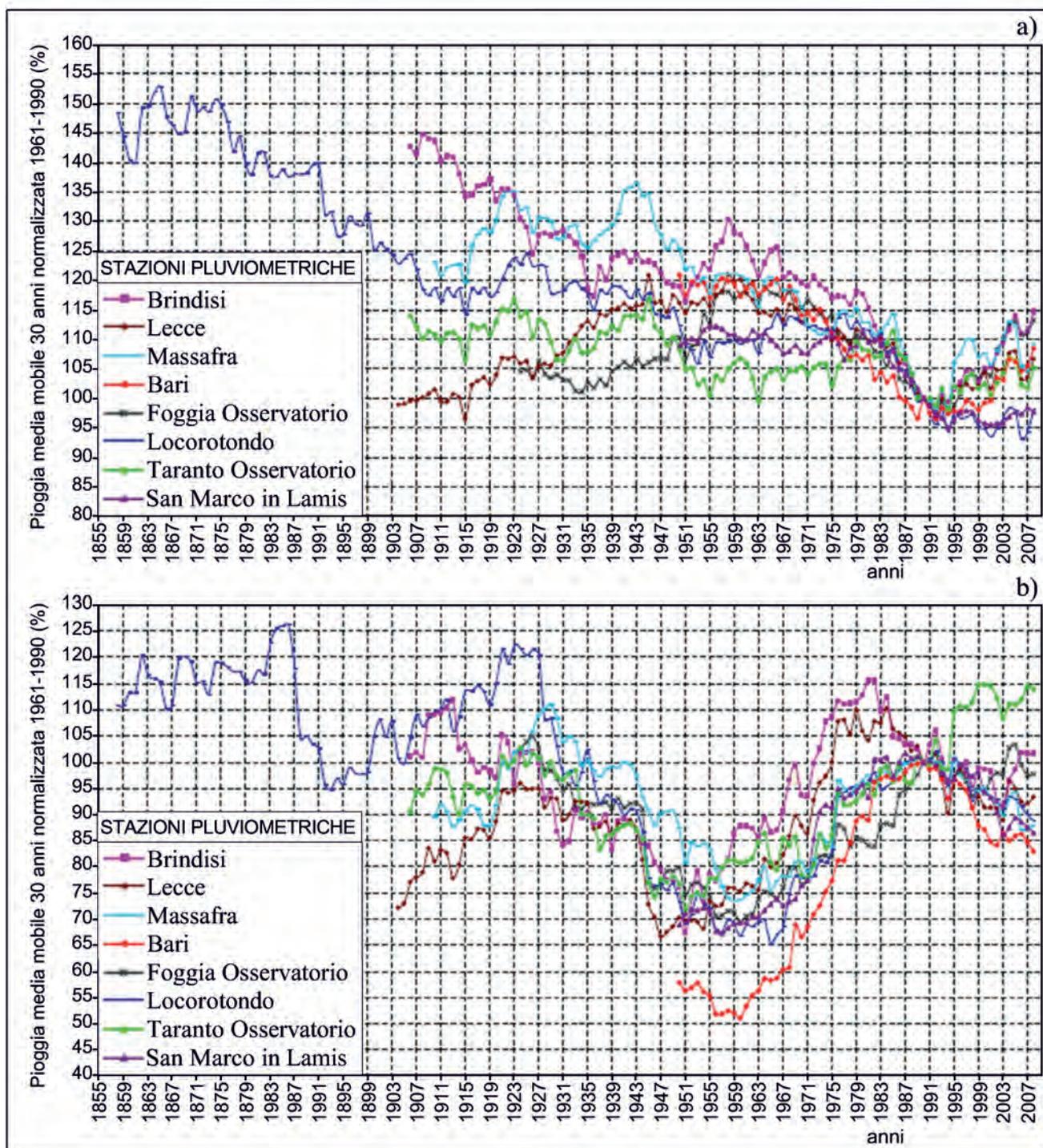


Fig. 7.22 - Medie mobili trentennali normalizzate rispetto al periodo di riferimento 1961÷1990 delle precipitazioni annue per le stazioni pluviometriche presentanti serie storiche che hanno inizio prima del 1921: a) trimestre invernale (Novembre-Gennaio); b) trimestre estivo (Giugno-Agosto).

- Thirty-year period mobile averages normalized with respect to the reference period 1961÷1990 of annual precipitation for the rain gauges having historical time series starting before the year 1921: a) winter quarter (November-January); b) summer quarter (June-August).

7.3.2.3 - Indice di siccità

Gli indici di siccità consentono di sintetizzare e rappresentare in maniera facilmente comprensibile i *trend* climatici. Molti indici di siccità con-

sentono di misurare quante precipitazioni, per un dato periodo di tempo, hanno deviato dalla norma stabilita su base statistica, come l'indice di siccità SPI sviluppato dall'Università del Colorado (tab. 7.2; MCKEE *et alii*, 1993). Nel caso in

Tab. 7.2 - Valori dell'Indice di siccità secondo la classificazione di MCKEE et alii, 1993.

– Drought index values as classified by MCKEE et alii, 1993.

Valori dell'Indice di siccità	
> + 2,00	Estremamente umido
+ 1,50 ÷ + 1,99	Molto umido
+ 1,00 ÷ + 1,49	Moderatamente umido
- 0,99 ÷ + 0,99	Quasi normale
- 1,00 ÷ - 1,49	Moderatamente asciutto
- 1,50 ÷ - 1,99	Severamente asciutto
< -2,00	Estremamente asciutto

esame si è ritenuto rappresentativo calcolare l'indice SPI facendo riferimento alla precipitazione media annuale dei 30 anni (Δt) antecedenti al generico anno t ed a quella avutasi nel trentennio di riferimento, quest'ultimo assunto pari al valore dell'anno idrologico medio internazionale (1961÷1990; WMO, 1996):

$$SPI_{t,\Delta t} = \frac{(X_{t,\Delta t} - \overline{X_{t,\Delta t}})}{S_{t,\Delta t}} \quad (7.3)$$

dove:

$SPI_{t,\Delta t}$ = Indice di siccità riferito alle precipitazioni dell'anno t con riferimento alle precipitazioni dei Δt anni antecedenti;

$X_{t,\Delta t}$ [mm] = Valore medio di pioggia dei Δt anni antecedenti all'anno t ;

$\overline{X_{t,\Delta t}}$ [mm] = Valore medio di pioggia del trentennio di riferimento (1961÷1990);

$S_{t,\Delta t}$ = Deviazione Standard.

L'indice di siccità è stato calcolato solo per le 10 stazioni dotate di serie storiche più lunghe, che hanno inizio prima del 1921.

L'indice di siccità così determinato (fig. 7.23) subisce continue oscillazioni. Nell'ambito della forte variabilità riscontrata è possibile tuttavia evi-

denziare valori dell'indice di siccità superiori a +2, ad indicare un clima estremamente umido, con maggior frequenza nel periodo precedente al 1930 circa. A partire dagli anni Trenta invece, si registrano anni in cui l'indice di siccità assume anche valori inferiori a -2, ad indicare un clima estremamente asciutto. In ogni caso, a completamento delle analisi sinora svolte, l'andamento dell'indice di siccità indica l'estrema variabilità del clima pugliese, caratterizzato da continue oscillazioni che, pur non avendo carattere di periodicità regolare, comportano il continuo susseguirsi di periodi secchi e periodi umidi.

7.3.3. – Conclusioni

L'analisi delle precipitazioni eseguita sulla base dei dati disponibili nel periodo 1921÷2008 ha evidenziato l'estrema variabilità del clima pugliese. Si è tuttavia riscontrata una significativa riduzione delle precipitazioni a cavallo degli anni Ottanta. Alcune stazioni che dispongono di dati di pioggia a partire dal XIX secolo, hanno rilevato una continua e più importante riduzione delle precipitazioni che ha segnato la seconda metà del XIX secolo e la prima metà del secolo scorso. Non è possibile tuttavia estendere un simile comportamento all'insieme del territorio regionale, visto l'esiguo numero di stazioni in possesso di dati antecedenti al 1921.

Il calo delle precipitazioni si concentra soprattutto durante la stagione invernale, fenomeno che ne accentua l'incidenza sull'alimentazione degli acquiferi regionali. È stato verificato, inoltre, che la riduzione delle precipitazioni è maggiore per le stazioni pluviometriche più distanti dalla costa. Anche quest'ultima evenienza incide negativamente sulla ricarica delle falde, in quanto le principali aree di alimentazione degli acquiferi regionali sono poste, in genere, a notevole distanza dalla costa. Considerato che le stazioni interne presentano, in genere, maggiori totali annuali delle precipitazioni, la riduzione osservata ha comportato un'omogeneizzazione nella distribuzione delle piogge su scala regionale.

La riduzione delle piogge osservata - non troppo rilevante, nel complesso, almeno nell'ul-

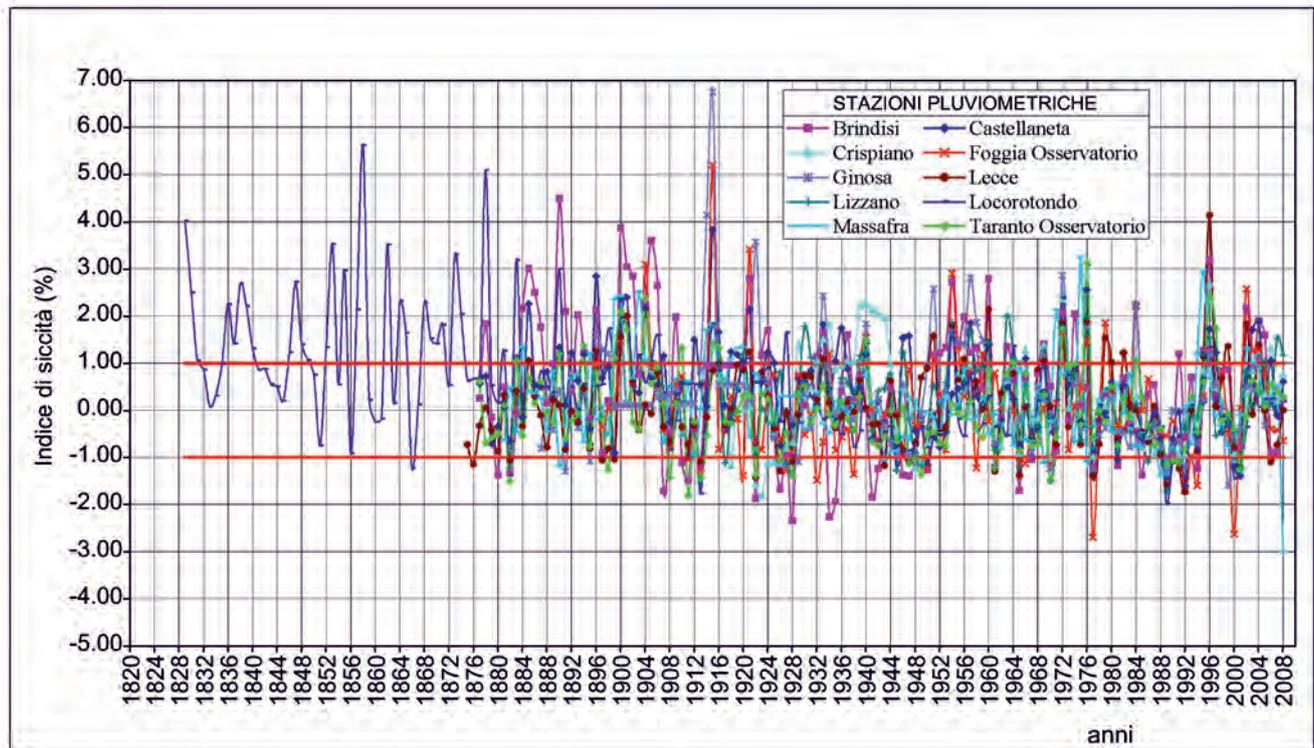


Fig. 7.23 - Indice di siccità determinato per le stazioni pluviometriche della Puglia con serie storiche a partire dal 1829 fino al 2008.
- Drought index calculated for the rain gauge stations of Apulia having historical time series from 1829 until 2008.

timo cinquantennio - non sembra indicare un *trend* climatico suscettibile di avere, a breve, effetti preoccupanti sulla ricarica delle falde regionali nel lungo periodo. Si rileva, tuttavia, il susseguirsi di periodi di siccità in grado di influenzare negativamente il ravvenamento delle falde, visto che proprio in tali periodi gli emungimenti dagli acquiferi regionali aumentano a causa della riduzione delle risorse idriche superficiali.

Con la stessa ciclicità con cui si presentano periodi di siccità si presentano, infatti, problemi di approvvigionamento idrico regionale. Detta ciclicità caratterizza inoltre il livello di attenzione dell'opinione pubblica e della comunità scientifica che si sofferma a riflettere sulle conseguenze delle variazioni climatiche, soprattutto in termini di disponibilità di risorse idriche e di vulnerabilità del territorio agli eventi climatici estremi: piogge abbondanti e concentrate o prolungati periodi di siccità. Un anno ci si lamenta che gli invasi sono vuoti, ma la stagione dopo, arriva un'alluvione che sposta l'attenzione sui problemi legati alla sicurezza del territorio, in attesa di un nuovo pe-

riodo di siccità.

L'analisi dei dati presentata in questo sintetico capitolo illumina sul carattere fisiologico delle variazioni climatiche della Puglia, regione soggetta a periodi siccitosi che possono essere brevi o durare 10 anni cui seguono, in genere, annate particolarmente piovose. Alcuni pluviometri sembrano indicare una ben più importante caduta delle precipitazioni avvenuta in tempi non sospetti, oltre un secolo fa. Non vanno perciò alimentati inutili allarmismi in seguito a periodi siccitosi, né falsi ottimismo in periodi particolarmente piovosi. Il carattere fisiologico e periodico delle variazioni climatiche dovrebbe invece rappresentare un *input* per chi è chiamato alla pianificazione e gestione delle risorse idriche in generale, e in particolare di quelle sotterranee. La pianificazione idrica della nostra regione, ma anche di gran parte del mondo mediterraneo, dovrebbe infatti avere carattere pluriennale. Le variazioni cicliche sono, del resto, ricorrenti nella storia. Già nella Genesi si parla di sette anni di abbondanza e di sette anni di carestia, a testimoniare la necessità di una attenzione pluriennale

alle problematiche del clima e dell'approvvigionamento idrico sin dall'antichità. Sono noti, poi, i cicli di Bruckner, che individuava, nel suo monumentale lavoro del 1890 sulle oscillazioni climatiche a partire dal 1700 (BRUCKNER, 1890; COTECCHIA, 1991), una periodicità media di 35 anni, che caratterizza l'alternarsi di periodi freddi e umidi con periodi caldi e secchi.

Le serie storiche dei dati di pioggia analizzati hanno rilevato scarti molto elevati, sicché valori di pioggia pari al doppio o alla metà di quelli medi sono quasi normali ed hanno un'alta probabilità di verificarsi. Un anno siccitoso, quindi, non rappresenta di per sé un evento eccezionale e di questo la pianificazione idrica dovrebbe tener conto. Una conclusione, questa, scaturita dall'analisi di lunghe serie storiche di dati oggi disponibili, i quali illuminano sulla necessità di non condizionare la pianificazione idrica a brevi periodi di osservazione, oppure ad un ipotetico comportamento medio del clima, bensì di adottare scelte basate su analisi pluriennali che tengano conto della estrema variabilità del clima pugliese. Il più delle volte le valutazioni fatte in fase di pianificazione e gestione hanno invece carattere annuale. Lo sviluppo della nostra società ha cercato poi di creare condizioni che minimizzassero gli impatti della reale distribuzione nel tempo e nello spazio delle risorse idriche superficiali e sotterranee. Sono state quindi create opere di accumulo (grandi laghi artificiali) e sistemi di captazione delle risorse idriche sotterranee per garantire la disponibilità idrica in tutti i periodi, indipendentemente dall'entità e dalla distribuzione delle precipitazioni. Tuttavia queste opere non sono riuscite ad eliminare le conseguenze dell'intrinseca variabilità della distribuzione delle precipitazioni, così come dimostrano le esperienze sinora accumulate dalla nostra regione.

Variazioni importanti tanto nell'entità quanto nella distribuzione delle precipitazioni possono quindi comportare notevoli problemi ai sistemi di gestione delle risorse idriche superficiali e sotterranee, oltre che alla sicurezza del territorio; un aspetto, questo, comunque non trattato nel presente lavoro.