

LUCA SALVATI - LUIGI PERINI

IL PESO (IN)SOSTENIBILE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO (*)

Introduzione. – La maggior parte dei pareri scientifici concorda sulle responsabilità umane nel favorire i cambiamenti del clima. I rapporti ufficiali dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1), basati su analisi a scala globale di lunghe serie di dati termometrici, riferiscono che, a partire dal 1861, la temperatura media al suolo sia andata gradualmente aumentando fino ai giorni nostri. Nel corso del ventesimo secolo è stato stimato un incremento complessivo di circa 0,6 °C, di cui un buon 25%, pari a circa 0,15 °C, può essere attribuito a un particolare andamento delle temperature che si è manifestato negli ultimi due decenni del secolo. L'origine di tali incrementi, però, non è del tutto scontata. Le misurazioni termometriche disponibili, pur se realizzate secondo metodo scientifico e con strumentazioni adeguate, possono aver risentito anche degli effetti di un «riscaldamento» indotto da cause non propriamente meteo-climatiche. È facile immaginare, infatti, che molte fra le stazioni meteorologiche funzionanti da più lungo tempo e, per tale ragione, considerate riferimenti basilari per attestare eventuali variazioni, si ritrovino attualmente a operare in un contesto ambientale diverso da quello originario. Questo, ad esempio, è accaduto a molte stazioni meteorologiche che sono state inglobate nel tessuto urbano che oggi risentono palesemente degli effetti dell'isola di calore prodotta dalla città.

I rapporti dell'IPCC – al di là di tendenze e/o variazioni non significative, soprattutto per molte aree dell'emisfero meridionale – forniscono tuttavia elementi di valutazione a suffragio del cambiamento climatico. Le misurazioni effettuate con palloni-sonda mostrano che, a partire dagli anni Cinquanta, la temperatura negli strati più bassi dell'atmosfera (fino a circa 8 km di altezza) è andata global-

(*) Questo articolo rappresenta il terzo di una serie di contributi forniti dagli autori e dedicati ai temi del cambiamento climatico in Italia; il primo, che ha affrontato i temi della siccità e della carenza idrica nel Mezzogiorno, è stato pubblicato nel fascicolo 4/2010 di questo «Bollettino». Il secondo, pubblicato nel fascicolo 2/2011, ha esaminato il clima italiano e la sua evoluzione nell'arco degli ultimi decenni, fornendo un quadro sintetico anche degli impatti sul sistema agricolo nazionale.

(1) Organismo scientifico di supporto e consulenza sui cambiamenti climatici istituito dalle Agenzie WMO e UNEP dell'ONU.

mente aumentando con un tasso medio di $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decennio. Le cause più direttamente correlate a questa evenienza sono state individuate nell'assottigliamento dello strato di ozono stratosferico, nella presenza sempre più massiccia di aerosol in atmosfera e in fenomeni ricorrenti come quello che va sotto il nome di El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Anche le osservazioni da satellite, che in tempi più recenti hanno affiancato le misurazioni a terra, a partire dalla fine degli anni Settanta, indicano un *trend* positivo della temperatura superficiale pari a circa $0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decennio. Il riscaldamento risulterebbe principalmente a carico delle regioni tropicali e sub-tropicali, ma anche ad altre latitudini sono stati evidenziati segnali significativi del *trend* termico. Nell'emisfero settentrionale, ad esempio, si è assistito negli ultimi 40-50 anni alla diminuzione della copertura nevosa invernale (-10%), alla riduzione del periodo di congelamento di fiumi e laghi (-2 settimane), al diffuso ritiro dei ghiacciai, all'assottigliamento della calotta artica (-40% in estate), all'innalzamento della temperatura e del livello medio del mare (10-20 cm nel corso del XX secolo).

Oltre al generalizzato riscaldamento, nell'emisfero settentrionale si sono manifestate nel secolo scorso altre variazioni importanti: è globalmente diminuita la frequenza di basse temperature estreme (gelate), mentre è leggermente aumentata quella delle temperature più elevate; si è mediamente ridotta l'escursione termica giornaliera; è cresciuto l'apporto pluviometrico (alle medie e alte latitudini) mediamente di $0,5\text{-}1\%$ per decennio ma, se si considera l'incidenza dei fenomeni meteorici più intensi, gli incrementi percentuali, relativi alla seconda metà del secolo, salgono mediamente al $2\text{-}4\%$. In diverse aree del Pianeta, infine, è aumentata la frequenza e l'intensità di periodi siccitosi, in particolare negli ultimi decenni e soprattutto in Asia e in Africa.

Tutte le alterazioni osservate a carico degli andamenti del clima sono messe in relazione a due possibili cause che agiscono in concomitanza fra loro: la prima è connessa all'intrinseca variabilità associata ai sistemi climatici, la seconda dipende invece da fattori esterni di origine sia naturale sia antropica. Nel primo caso, ad esempio, viene chiamata in causa la stessa attività solare. Recenti studi hanno infatti stimato che la luminosità media solare è cresciuta dello $0,035\%$ fra il ciclo 1980-1991 e il ciclo 1991-2002. Ciò è stato messo in relazione a una possibile influenza del sole sul riscaldamento globale attraverso uno studio fenomenologico di come la temperatura della superficie terrestre reagirebbe ai cicli solari di 11 e 22 anni (Scafetta e West, 2005). Le responsabilità riconducibili all'uomo, connesse principalmente all'utilizzo di combustibili fossili e alla deforestazione, sembrerebbero invece riguardare l'elevata concentrazione di CO_2 che, negli ultimi 250 anni, è aumentata di circa il 31% raggiungendo un livello mai toccato da 420.000 anni a questa parte (Perini, 2004). È da notare come tutti i fattori del cambiamento climatico (presunti o reali che siano) possano essere in grado di alterare il bilancio radiativo del sistema Terra-Atmosfera (*radiative forcing*) ⁽²⁾ e generare un surriscaldamento generale (si pensi, ad esempio, alle cre-

(2) Misura dell'influenza esercitata da un fattore esterno sul bilancio radiativo del sistema Terra-Atmosfera espresso in termini di guadagno o perdita di energia (Wm^{-2}).

scenti concentrazioni di gas serra in atmosfera) ⁽³⁾. Gli effetti conseguenti a tali alterazioni dei regimi climatici non sono facilmente ipotizzabili, sia per l'enorme fattore di scala dei fenomeni in gioco, sia per le complesse e non sempre ben acclarate interazioni fra le diverse grandezze climatiche. In ogni caso, ipotizzando il persistere delle attuali tendenze, è plausibile pensare a ripercussioni sul ciclo idrologico con variazioni significative a carico degli agro-ecosistemi e ricadute sulla complessiva disponibilità di acqua dolce. Aumenterà, probabilmente, la frequenza di fenomeni estremi (alluvioni, siccità, uragani, ondate di caldo), mentre lo scioglimento progressivo di ghiacciai e delle calotte polari porterà un innalzamento del livello del mare, salinizzazione delle falde costiere, alterazione delle correnti marine.

La geografia, in qualità di scienza che studia, interpreta, descrive e rappresenta la Terra nei suoi aspetti fisici e antropici, può portare un contributo innovativo alla comprensione delle variazioni climatiche e delle sue possibili conseguenze. Ad esempio, coniugandosi con le discipline statistico-quantitative, può fornire, dal punto di vista fisico ed ecologico, strumenti idonei all'analisi dei *patterns* spaziali e delle tendenze temporali, con particolare riferimento alla cartografia tematica informatizzata. L'interazione fra ambiente e società, poi, è tema di particolare interesse per la geografia umana, in particolare nei riguardi dell'adattamento al cambiamento climatico. Infine, l'approccio della geografia economica ai possibili impatti negativi del clima su specifici settori produttivi (si pensi soprattutto all'agricoltura, ma non solo) è altrettanto di grande e concreto interesse. Numerosi sono i contributi di sintesi sul tema (citiamo, a titolo di esempio: Pinna, 1996, 1998, 2004; Spinelli, 2003), indirizzati anche a rivendicare e stimolare un ruolo della geografia nello studio del cambiamento climatico, una maggiore interazione con le altre discipline coinvolte (ecologia, fisica, agronomia, geologia, economia ecc.), una doverosa ragionevolezza, scevra da sensazionalismi, nell'analisi dei dati del passato, delle tendenze recenti, degli scenari futuri.

Proposta per una proiezione di breve periodo. – Per contribuire a una valutazione realistica del cambiamento climatico e delle sue conseguenze è possibile adottare diversi approcci a seconda che occorra formulare ipotesi sugli andamenti globali o locali, a breve, medio o a lungo termine, e che se si analizzino una o più variabili meteo-climatiche. Ad esempio, un modo per preconizzare gli scenari climatici futuri è quello di dedurre, mediante modelli deterministici, i

(3) Vapore acqueo, anidride carbonica (CO₂), ozono (O₃), metano (CH₄), protossido di azoto (N₂O) sono naturalmente presenti in atmosfera; la loro concentrazione può variare per cause antropiche ma anche per cause naturali (come avviene, ad esempio, in corrispondenza di eruzioni vulcaniche). Altre sostanze riscontrabili in atmosfera derivano invece quasi esclusivamente da cause indotte dall'uomo: idrofluorocarburi (HFC), perfluorocarburi (PFC) ed esafluoruro di zolfo (SF₆). I paesi firmatari del Protocollo di Kyoto hanno sottoscritto un accordo per ridurre sensibilmente le emissioni di gas serra. L'Italia, con la legge 120 del 2002, ha ratificato tale accordo impegnandosi formalmente a ridurre, nel periodo 2008-2012, le proprie emissioni del 6,5% rispetto ai livelli di riferimento del 1990.

mutamenti dello stato fisico e dei moti di circolazione dell'atmosfera inseriti in un contesto di altrettanto possibili evoluzioni a scala globale dello sviluppo economico, della crescita demografica, delle emissioni di gas eccetera che, secondo le ipotesi dell'IPCC, produrrebbero diversi scenari di concentrazioni in atmosfera di particolari elementi chimici, quali il biossido di carbonio e il metano, in grado di influenzare significativamente i fenomeni meteorologici e l'andamento climatico (Stöckle e altri, 2001).

I modelli utilizzati per ottenere le simulazioni appartengono per lo più alla famiglia dei Global Circulation Models (GCM). Essi derivano concettualmente dai modelli di previsione atmosferica ma, rispetto a quest'ultimi, operano a un grado di risoluzione spaziale più basso (~300 km) coprendo però un più ampio intervallo di tempo (diverse decine di anni), come richiesto dalle simulazioni di stampo climatico. Attraverso opportune tecniche di *downscaling* i dati elaborati dai GCM possono essere interpolati a scale di maggior dettaglio (~50 km) per soddisfare esigenze operative e di ricerca. Allo stato attuale delle conoscenze, tuttavia, nessuna simulazione climatica di tipo deterministico può essere considerata una vera e propria previsione e, in ogni caso, le serie di dati che si possono così ottenere comportano un certo decadimento della qualità dell'informazione, soprattutto riguardo alla variabilità delle grandezze considerate, nonché una qualche difficoltà a rappresentare correttamente il *pattern* spaziale di circolazione atmosferica e la casistica degli eventi estremi come, in particolare, è stato dimostrato per la temperatura massima e le precipitazioni piovose. Recentemente, proprio al fine di superare i limiti intrinseci dei modelli deterministici, si sta affermando un approccio che segue la logica *ensemble* (ossia considerare un insieme di condizioni iniziali differenti) che consente di estrarre l'informazione attraverso l'analisi delle diverse distribuzioni di variabilità ottenute.

Nel caso del presente studio ⁽⁴⁾, considerato l'obiettivo di individuare scenari climatici adatti a una scala nazionale di dettaglio per simulare gli impatti del cambiamento climatico nel breve periodo, ad esempio sull'agricoltura e sulla produzione di cibo, sulla conservazione e utilizzazione sostenibile delle risorse idriche, è possibile adottare una metodologia semplificata riferita alle sole variabili temperatura e precipitazione (Salvati e altri, 2008).

Considerata la valenza territoriale (nazionale) del presente studio, al fine di garantire la coerenza spaziale delle elaborazioni, è stato scelto di delineare i possibili quadri climatici futuri attraverso opportune proiezioni dei dati del passato prescindendo da ogni altro vincolo condizionante. Per semplicità di espressione, quindi, la definizione di *scenario climatico* è qui attribuita al solo insieme delle condizioni meteo-climatiche prefigurate. La base dati meteorologica utilizzata è costituita dalle serie di dati giornalieri dei 544 nodi di griglia afferenti l'intero territorio nazionale. Il periodo preso in esame va dal 1961 al 2003.

(4) Gran parte dei dati e delle informazioni di base utilizzati in questo lavoro derivano dall'attività di ricerca degli autori nell'ambito del progetto «CLIMAGRI – Cambiamenti Climatici e Agricoltura» coordinato dall'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria per conto del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali.

I segnali probatori di cambiamento climatico, come in precedenza già richiamato, convergono principalmente intorno alle alterazioni dei regimi termo-pluviometrici. Per tale ragione si è scelto di classificare i singoli anni sulla base della temperatura media annua e della precipitazione totale annua. La tecnica utilizzata fa riferimento a una metodologia statistica in grado di riconoscere e classificare oggettivamente gli elementi costitutivi di un universo o di un campione statistico significativo (Mardia, Kent e Bibby, 1979). La catalogazione di entità misurabili in categorie diverse rappresenta, infatti, un esempio di identificazione statistica che, partendo dall'osservazione multidimensionale della realtà, può ottenere una classificazione delle entità considerate senza definire le classi a priori: questo è proprio l'obiettivo delle tecniche statistiche che vanno sotto il nome di analisi di raggruppamento (*cluster analysis*). Dentro i gruppi formati, le entità sono mutualmente surrogabili, anche se in ciascuna classe potranno essere individuati profili comuni che individueranno pertanto entità «simili» o comunque «somialtanti» (Rizzi, 1985). La *cluster analysis*, pertanto, consente di generare sia ipotesi di ricerca e scenari futuri in condizioni di scarsa (o nulla) ripetibilità sperimentale, sia di identificare tipi e profili sintetici appartenenti a gruppi individuati a posteriori sulla base di una collezione di descrittori quali-quantitativi (Fabbris, 1997).

Al fine di generare scenari climatici a breve termine è stato pertanto seguito un approccio basato sul criterio del «what... if», ossia è stata effettuata la partizione delle annate climatiche, connotate da forte eterogeneità complessiva, in sottogruppi con caratteristiche più omogenee, utili per poter trarre proiezioni basate non su strumenti probabilistici, ma sul riconoscimento degli andamenti climatici affini. Tale approccio appare di rilevante interesse se applicato a un contesto ambientale molto eterogeneo, quale quello italiano che, nel periodo preso in considerazione, ha sperimentato annate climatiche caratterizzate da scostamenti più o meno consistenti dall'andamento «normale». Poiché l'obiettivo principale è generare proiezioni climatiche di breve periodo a elevata risoluzione spaziale e di interesse agroambientale, attraverso la procedura operativa, mediante l'algoritmo *k-means*, sono state suddivise le annate climatiche in un numero limitato di partizioni funzionalmente omogenee. L'ottimizzazione della procedura ha consentito di individuare una partizione idonea formata da cinque gruppi o *clusters*. Tale partizione è stata tipizzata a posteriori mediante un «profilo climatico» dei gruppi ottenuti tramite analisi statistica descrittiva.

I risultati della clusterizzazione, a corredo di ciascuna dimensione climatica analizzata (medie annue di temperatura e totali annui di precipitazione), riportano alcune informazioni supplementari riguardanti gli indici di posizione e di dispersione (media e deviazione standard) che consentono di verificare l'effettiva separazione di ciascun *cluster* dagli altri. Infine, è stato possibile computare, per ogni unità statistica sottoposta all'analisi, la distanza dal centro del corrispondente *cluster* di appartenenza. Tale misura appare di rilevante importanza in quanto la classificazione può avvalersi di uno strumento di valutazione interpretabile come un indice di bontà «media» della stessa classificazione (Fabbris, 1997). Le cinque partizioni (*clusters*) ottenute sono popolate numericamente in maniera diffe-

Tab. 1 – *Partizione delle annate climatiche secondo cluster analysis basata sulla temperatura media annua (sinistra) e sulle precipitazioni medie annue (destra)*

Cluster	Numero anni	T media (°C)	ΔT (°C)	Cluster	Numero anni	% annua (mm)	Δ Prec. (mm)
1	6	13,4	0,2	a	11	861	41
2	6	13,4	0,2	b	11	861	40
3	14	13,0	-0,1	c	2	781	-40
4	5	12,6	-0,6	d	13	735	-85
5	12	14,0	0,8	e	6	645	-176

Il ΔT e Δ Prec. sono calcolati rispettivamente sulla temperatura media annua e sulle precipitazioni totali annue nazionali (13,2 °C per la temperatura e 821 mm per le precipitazioni). Il periodo di riferimento analizzato è il trentennio 1961-1990

Fonte: nostra elaborazione su dati CRA-CMA

rente, ma risultano piuttosto omogenee dal punto di vista degli scostamenti (tab. 1) rispetto alla temperatura media del periodo di riferimento 1961-1990 (13,2 °C).

I *clusters* 1, 2 e 5 individuano anni mediamente più caldi rispetto al riferimento climatico. In dettaglio, i gruppi 1 e 2 presentano un ΔT di 0,2 °C e includono anni appartenenti a tutti i decenni del periodo considerato, mentre il gruppo 5 include gli anni con le manifestazioni termiche più estreme posizionandosi in media di 0,8 °C al di sopra del riferimento climatico 1961-1990. L'anno 2003, in particolare, rappresenta l'esempio più significativo evidenziando un'anomalia così marcata da presentare in assoluto anche la più elevata distanza di legame dal centro del rispettivo *cluster* (il numero 5). Si noti, inoltre, che gli anni che partecipano al quinto *cluster*, a parte il 1961, sono tutti compresi fra il 1988 e il 2003, indicando un evidente e progressivo riscaldamento come descritto a livello nazionale e su scala più ampia. Il gruppo 3 raggruppa gli anni con una configurazione tendenzialmente più vicina alla norma climatica, mentre il gruppo 4 ha raccolto un gruppo ristretto di annate, comprese fra il 1965 e il 1984, decisamente più fredde rispetto al riferimento climatico (tab. 2).

Ponendosi l'obiettivo di generare proiezioni climatiche applicabili a possibili futuri scenari di riscaldamento globale, è stata focalizzata maggiormente l'attenzione sui gruppi 1, 2 e 5. Tuttavia, è stato deciso di considerare anche il gruppo 3 che, in quest'analisi, è chiamato a supportare l'ipotesi di un cambiamento climatico nullo o del tutto trascurabile ($T=$). I *clusters* 1 e 2, inoltre, hanno manifestato una sostanziale omogeneità per quanto riguarda la distribuzione dei valori di temperatura media annua, come comprovato anche dai risultati del test *t* (tutti i confronti osservati con $p > 0,05$). Pertanto, essi sono stati considerati come un unico gruppo cui è stata attribuita la rappresentatività di uno scenario «intermedio» collegabile all'ipotesi di un debole riscaldamento ($T+$). Il gruppo 5 prefigura, invece, una condizione di più marcato riscaldamento: le sue caratteristiche in termini di temperatura media rappresentano lo scenario «estremo» ($T++$). Si ricorda, infine, che il gruppo 4, espressione di annate decisamente «fredde» ($T-$),

Tab. 2 – *Classificazione delle annate climatiche 1961-2003 sulla base della precipitazione totale annua media e della temperatura annua media*

<i>Anno</i>	<i>Prec.</i>	<i>Temp.</i>	<i>Anno</i>	<i>Prec.</i>	<i>Temp.</i>
1961	P++	T++	1983	P-	T=
1962	P++	T+	1984	P++	T+
1963	P++	T+	1985	P-	T-
1964	P++	T=	1986	P-	T-
1965	P++	T+	1987	P++	T-
1966	P++	T=	1988	P-	T++
1967	P++	T=	1989	P-	T=
1968	P++	T+	1990	P-	T++
1969	P++	T+	1991	P-	T+
1970	P++	T+	1992	P-	T++
1971	P++	T+	1993	P-	T-
1972	P++	T+	1994	P- -	T++
1973	P-	T+	1995	P- -	T=
1974	P-	T+	1996	P++	T+
1975	P++	T+	1997	P- -	T++
1976	P++	T+	1998	P- -	T++
1977	P-	T-	1999	P-	T++
1978	P++	T+	2000	P-	T++
1979	P++	T+	2001	P- -	T++
1980	P++	T+	2002	P++	T++
1981	P-	T+	2003	P- -	T++
1982	P++	T-			

Fonte: nostra elaborazione su dati CRA-CMA

non è stato considerato per la successiva definizione degli scenari climatici in quanto numericamente poco consistente.

A fini esplorativi e nell'intento di trovare conferme aggiuntive al criterio «termometrico» utilizzato per classificare le annate climatiche, si è ritenuto opportuno reiterare la stessa tecnica di raggruppamento non gerarchica adottando una variabile diversa. È stato scelto, pertanto, di utilizzare quale descrittore la precipitazione piovosa anche in ragione del fatto che il suo *trend* climatico è generalmente contrapposto a quello della temperatura. Anche in questo caso i risultati dell'analisi multivariata hanno consentito di pervenire a una tipizzazione delle annate climatiche sulla base di profili sufficientemente omogenei di totali di precipitazione piovosa annua. Inoltre, è stata verificata una certa coerenza fra le partizioni delle annate ottenute con le due differenti grandezze, precipitazione e temperatura, ottenendo una prova empirica dell'assunto che ad anni mediamente poco piovosi corrispondono anomalie termometriche, generalmente positive, anche consistenti.

Dal punto di vista pluviometrico, come già avvenuto per la temperatura, è stata ottenuta la partizione delle 43 annate in 5 *clusters* omogenei (tab. 1), ordinati in base alla precipitazione totale annua media secondo un gradiente pluvio-

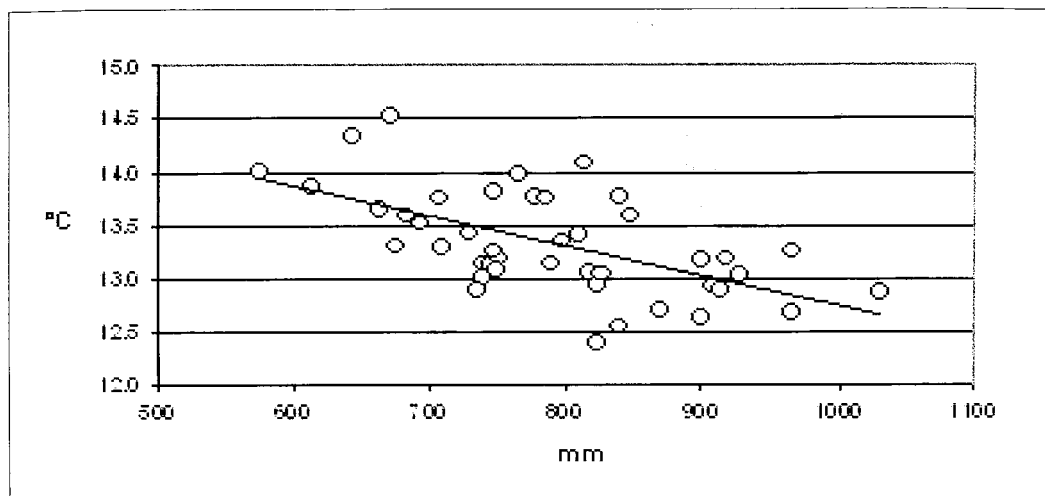


Fig. 1 – *Relazione fra precipitazione totale annua (mm) e temperatura media annua (°C) in Italia*

Valori medi stimati su 544 nodi della griglia Italia) – Modello lineare di stima: $T_{med} = -0,003 \cdot Prec + 15,572$; $R^2 = 0,35$ ($p < 0,001$, d.f. = 41)

Fonte: nostra elaborazione su dati CRA-CMA

metrico decrescente. Il gruppo di anni più umidi è incluso nel *cluster* «a», che presenta una precipitazione media di 861 mm. In questo gruppo, a parte il 1996 e il 2002, vengono rappresentate soprattutto le annate dei decenni Settanta e Ottanta. Nel gruppo «b» risultano classificati gli anni umidi appartenenti al primo decennio del periodo di studio, dal 1961 al 1971, che presentano anch'essi una precipitazione media di circa 861 mm. Il *cluster* «c» è rappresentato da due sole annate, il 1977 e il 2000, con una precipitazione media che si attesta intorno ai 781 mm. Il gruppo «d» include anni mediamente secchi, generalmente appartenenti ai decenni Ottanta e Novanta, ed è caratterizzato da una precipitazione media di circa 735 mm. Il *cluster* «e», infine, include gli ultimi anni della serie storica, caratterizzati da una generalizzata riduzione degli apporti meteorici, tanto che la media di questo gruppo si attesta su 645 mm, oltre 175 mm in meno rispetto alla climatologia di riferimento.

Analogamente a quanto già fatto nel caso della temperatura, la classificazione ottenuta dall'analisi multivariata condotta sui dati di precipitazione piovosa è stata riorganizzata alla luce delle seguenti considerazioni: *a)* la sostanziale somiglianza, in termini di valore medio, dei gruppi «a» e «b» ha suggerito la fusione dei due *clusters* in un unico gruppo di annate classificabili come annate umide (P++); *b)* la limitata numerosità del *cluster* «c» ha suggerito la sua fusione con quello più simile in termini di precipitazione media (il *cluster* «d») venendo così a rappresentare il gruppo che descrive le annate mediamente secche (P-); *c)* il *cluster* «e», infine, è stato designato per descrivere le annate estremamente secche (P--). In definitiva, gli anni del periodo 1961-2003 sono

Tab. 3 – Confronto tra annate classificate congiuntamente in base alla temperatura e alla precipitazione piovosa

<i>Prec. / Temp.</i>	<i>T-</i>	<i>T=</i>	<i>T+</i>	<i>T++</i>	<i>Totale</i>
P++	5	10	5	2	22
P-	-	4	6	5	13
P--	-	-	1	5	6
Totale	5	14	13	13	43

Fonte: nostra elaborazione su dati CRA-CMA

stati tipizzati sia in base alla piovosità (utilizzando tre classi di precipitazione annua: P++, P-, P--), sia in base alla temperatura annua (utilizzando quattro classi: T-, T=, T+, T++), come mostrato nella tabella 3.

Incrociando gli attributi di ciascun anno in una tabella di contingenza (tab. 3), si può evincere come gli anni più secchi (P--) siano anche i più caldi in 5 casi su 6, e come gli anni mediamente secchi (P-) siano anche quelli moderatamente caldi (T+) o, addirittura, molto caldi (T++) in complessivi 11 casi su 15. Una forte eterogeneità viene riscontrata per gli anni maggiormente umidi (P++), che sono classificabili come anni freddi solo in 5 casi su 22.

A tal riguardo, una ulteriore evidenza empirica circa la corrispondenza fra annate calde e secche viene dall'esame grafico della relazione fra precipitazioni piovose e temperatura medie annue. Nonostante alcuni evidenti *outliers* (per esempio l'annata 2003), si evince infatti una relazione negativa e significativa ($p < 0,001$) fra le due variabili (fig. 1).

Un'applicazione dedicata: il profilo agroclimatico degli scenari e le possibili conseguenze sull'agricoltura. – In relazione alle analisi effettuate e ai risultati ottenuti, è stato possibile individuare tre scenari climatici, indicati in questo lavoro con le sigle S_0 , S_1 e S_2 . Tali scenari, come già descritto, risultano intrinsecamente descritti dalle caratteristiche climatiche di specifici anni opportunamente associati sulla base di un'appropriata classificazione (tab. 4). Il primo scenario, denominato S_0 , risulta basato su un insieme di 14 anni ⁽⁵⁾ e rappresenta una sostanziale invarianza della temperatura media annua rispetto alle condizioni climatiche di riferimento. Lo scenario è definito dalle annate climatiche appartenenti al *cluster* 3 e presenta una temperatura media annua di 13,0 °C, leggermente al di sotto del valore climatico (13,1 °C). Lo scenario S_1 può essere invece associato all'ipotesi di un moderato innalzamento termico. La temperatura media annua raggiungerebbe in questo caso un valore di 13,4 °C marcando un incremento di oltre +0,2 °C rispetto alla climatologia. Lo scenario è descritto sulla base delle caratteristiche meteo-climatiche ricavate dai 12 anni ⁽⁶⁾ lassificati nel *cluster* 1 (6

(5) 1962, 1963, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1979, 1981, 1991, 1996.

(6) 1964, 1966, 1967, 1977, 1982, 1983, 1985, 1986, 1987, 1989, 1993, 1995.

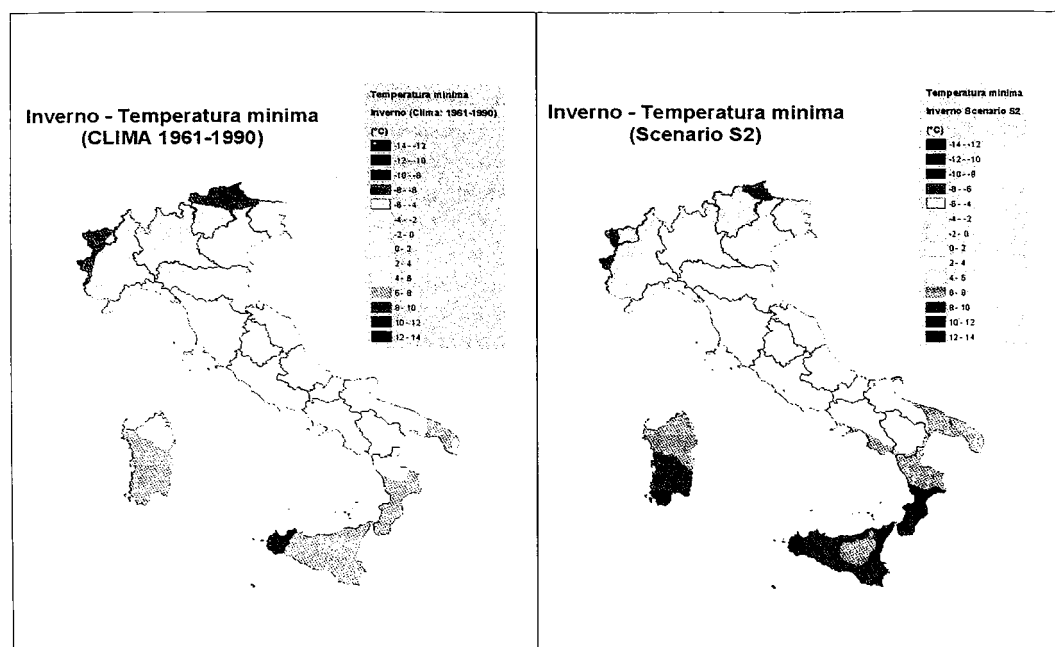


Fig. 2 – Valori medi climatici della temperatura minima in inverno (periodo 1961-1990) (sinistra) e valori medi della temperatura minima in inverno (scenario climatico S_2) (destra)

Fonte: nostra elaborazione su dati CRA-CMA

anni) e nel *cluster* 2 (6 anni). Lo scenario S_2 , infine, contempla l'ipotesi di una temperatura media annua attestata intorno ai 14,0 °C e, quindi, fa riferimento a un incremento termico di quasi un grado centigrado rispetto ai riferimenti climatici. Le caratteristiche di scenario sono derivate in questo caso dai 12 anni ⁽⁷⁾ appartenenti al *cluster* 5 che, a parte le eccezioni costituite dal 1961 e dal 1988, ingloba gli anni più recenti della serie storica utilizzata.

Le differenze di temperatura fra uno scenario e l'altro, così come lo scarto termico positivo degli stessi scenari rispetto alla climatologia di riferimento, delineano abbastanza bene la tendenza verso un generalizzato riscaldamento atmosferico. A una più attenta analisi degli scenari, tuttavia, è possibile evidenziare una nutrita serie di aspetti particolari che, associati o conseguenti all'aumento delle temperature, attestano la molteplicità dei fenomeni in discussione e la complessità delle interazioni fra le diverse grandezze meteo-climatiche, il territorio e la stagionalità (si vedano le figg. 2, 3 e 4).

Nel caso della temperatura minima (tab. 5), gli incrementi calcolati a partire dai valori climatici appaiono mediamente più consistenti che non nel caso della temperatura massima. In particolare, poi, è la stagione invernale a mostrare le varia-

(7) 1961, 1988, 1990, 1992, 1994, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003.

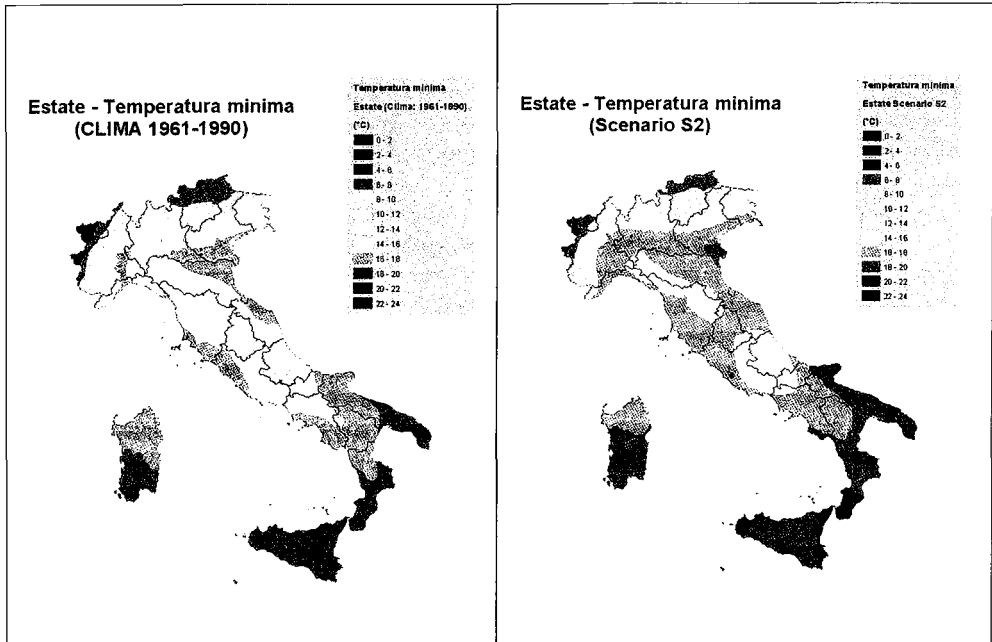


Fig. 3 – Valori medi climatici della temperatura minima in estate (periodo 1961-1990) (sinistra) e valori medi della temperatura minima in estate (scenario climatico S_2) (destra)

Fonte: nostra elaborazione su dati CRA-CMA

zioni più macroscopiche, soprattutto al Nord e al Centro dove si evidenziano picchi fino a $+1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto ai valori medi stagionali del clima di riferimento. Ciò significa un balzo in avanti delle temperature minime che, in termini biologici, è suscettibile di comportare variazioni significative rispetto alle attuali condizioni ambientali. In ogni caso, anche nei restanti ambiti territoriali la variazione dei valori delle temperature minime fanno presagire una crescita considerevole in inverno. In Sicilia, ad esempio, lo scostamento rispetto al riferimento climatico è in assoluto fra i più elevati della stagione ($+1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ per S_0 , $+1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ per S_1 , $+1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ per S_2). Per quanto riguarda le variazioni a carico delle temperature minime nel corso delle altre stagioni dell'anno, principalmente in quelle di transizione, primavera e autunno, si può evidenziare una sostanziale invarianza o, addirittura, una lieve flessione in corrispondenza dello scenario S_0 e, parzialmente, anche in corrispondenza dello scenario S_1 (solo per la primavera). Nella stagione estiva l'incremento delle temperature minime appare in genere abbastanza contenuto, soprattutto al Sud, in Sicilia e in Sardegna, leggermente più consistente al Nord e al Centro.

Per quanto riguarda le temperature massime, le variazioni positive emergono esplicitamente solo negli scenari S_1 e S_2 , mentre lo scenario S_0 mostra temperature poco o per nulla diverse dal quadro climatico di riferimento e, in alcuni casi, anche leggermente più basse. La stagione invernale si conferma, anche in que-

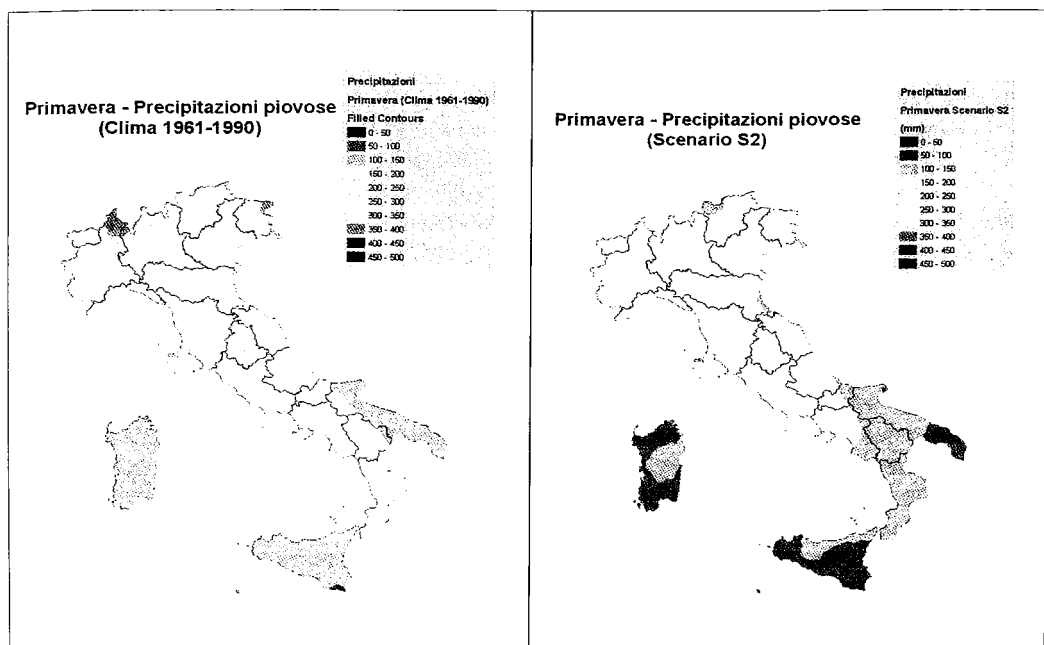


Fig. 4 – Totali medi climatici della precipitazione piovosa in primavera (periodo 1961-1990) (sinistra) e totali medi della precipitazione piovosa in primavera (scenario climatico S_2) (destra)

Fonte: nostra elaborazione su dati CRA-CMA

sto caso, il periodo dell'anno in cui si concentrano i segnali del surriscaldamento atmosferico: gli incrementi medi nazionali delle temperature massime risultano uguali a 1,1 °C, 1,2 °C e 1,6 °C rispettivamente per gli scenari S_0 , S_1 e S_2 . Al Sud e in Sicilia, in particolare, lo scostamento dai valori climatici raggiunge in inverno il valore record di +1,8 °C (scenario S_2) anche se la variazione più importante in termini relativi corrisponde all'incremento di 1,2 °C stimato per le temperature massime invernali al Nord (scenario S_2). La primavera è il secondo periodo dell'anno che, subito dopo l'inverno, prevede variazioni di una certa importanza a carico dei valori di temperatura massima. Variazioni di un certo rilievo emergono anche in estate dove però gli incrementi previsti per lo scenario più estremo (S_2) non sono particolarmente ampi. L'aumento dei valori massimi, come già accennato, risulta comunque più contenuto rispetto a quello stimato per la temperatura minima.

Per quanto riguarda le precipitazioni piovose, i vari scenari mettono in luce una generalizzata diminuzione dei totali di pioggia. In media, rispetto ai totali climatici di riferimento, la quantità di pioggia persa ogni anno a livello nazionale ammonterebbe a circa 73 mm per lo scenario S_0 , 114 mm per lo scenario S_1 , 130 mm per lo scenario S_2 . La gran parte delle perdite di pioggia, fino a circa il 60% del totale annuo, si concentra soprattutto nella stagione invernale e in quel-

Tab. 4 – *Scenari climatici individuati sulla base delle temperature medie annue. Il ΔT è calcolato rispetto ai valori climatici del periodo di riferimento 1961-1990*

Scenario	Numero anni	Tmedia annua (°C)	ΔT (°C)
S ₀	14	13,0	-0,1
S ₁	12	13,4	0,2
S ₂	12	14,0	0,8

Fonte: nostra elaborazione su dati CRA-CMA

la primaverile, mentre in autunno, stagione egualmente penalizzata sotto tale aspetto, l'entità della contrazione delle precipitazioni sembra assumere una tendenza opposta all'aumento delle temperature: più elevate, infatti, risultano le diminuzioni di pioggia previste in autunno dallo scenario S₀ (circa il 30%), più contenute, invece, quelle previste dallo scenario S₂ (circa il 15%). Ciò, probabilmente, può essere spiegato dalla maggiore incidenza di fenomeni meteorici estremi conseguenti a un più intenso e prolungato surriscaldamento estivo. Anche dal punto di vista della distribuzione geografica, la diminuzione delle precipitazioni contemplata dagli scenari appare piuttosto articolata. Nello scenario S₀, ad esempio, Sicilia e Sardegna accuserebbero una diminuzione complessiva delle precipitazioni compresa tra il 17 e il 21%, mentre sul resto del territorio nazionale le perdite sarebbero più contenute variando da un minimo del 5% a un massimo del 9%. A un ulteriore innalzamento delle temperature, come ipotizzato dagli scenari S₁ e S₂, la riduzione degli apporti pluviometrici sfiorerebbe il 20% al Nord, il 17% al Centro, salirebbe al 25-26% al Sud e in Sardegna, si attesterebbe intorno al 12% in Sicilia. Proprio le minori perdite accusate in Sicilia costituiscono una controtendenza alla generale e progressiva riduzione delle precipitazioni dovuta, nel caso particolare, a un incremento degli apporti piovosi nelle stagioni autunnale e invernale.

Dal punto di vista agricolo, l'innalzamento delle temperature preconizzato dagli scenari qui proposti comporta variazioni nel quadro climatico generale anche a carico di altre variabili. Nel caso dell'evapotraspirazione, dal confronto con gli andamenti climatici riferiti al 1961-1990, emergono cambiamenti significativi durante tutto l'arco dell'anno anche se, di volta in volta, di segno diverso. Nelle stagioni invernale e autunnale, infatti, si evidenzia per i vari scenari un *trend* negativo che comporterebbe nei casi più estremi una riduzione dei flussi di ET₀ del 40% e oltre; in primavera si avrebbe invece un sostanziale allineamento al comportamento climatico, mentre in estate, a fronte di valori di temperatura complessivamente più elevati, consegue un incremento di evapotraspirazione compreso mediamente fra il 5 e il 15% a seconda dello scenario considerato. Nel caso delle gelate, definite come occorrenza di temperature inferiori a 0 °C, i vari scenari delineano una generale e sostanziale attenuazione di tali evenienze. È necessario però sottolineare, ancora una volta, che il rischio reale per le colture agricole è rappresentato dal carattere di accidentalità dell'evento, soprattutto quando si palesa durante le fasi fenologiche più vulnerabili come, ad

Tab. 5 – Valori di temperatura minima, massima e precipitazioni piovose stimati per vari scenari climatici e diverse aree territoriali

<i>T_{min}</i> (°C)	<i>Inverno</i>				<i>Primavera</i>				<i>Estate</i>				<i>Autunno</i>			
	<i>Clima</i>	<i>S₀</i>	<i>S₁</i>	<i>S₂</i>	<i>Clima</i>	<i>S₀</i>	<i>S₁</i>	<i>S₂</i>	<i>Clima</i>	<i>S₀</i>	<i>S₁</i>	<i>S₂</i>	<i>Clima</i>	<i>S₀</i>	<i>S₁</i>	<i>S₂</i>
Nord	-2,4	-1,1	-1,7	-1,1	3,8	3,7	3,7	4,6	12,1	12,1	12,4	13,1	5,8	5,7	5,9	6,1
Centro	2,3	3,5	3,4	3,8	6,8	6,9	6,9	7,5	15,3	15,3	15,7	16,3	9,8	9,7	10,0	10,4
Sud	5,7	7,0	7,0	7,2	9,4	9,5	9,5	9,9	18,2	18,2	18,5	19,2	13,0	12,9	13,2	13,5
Sicilia	7,8	9,2	9,3	9,5	10,6	10,6	10,5	11,1	19,3	19,2	19,7	20,2	15,2	15,0	15,5	15,8
Sardegna	6,4	7,6	7,7	7,6	9,2	9,2	9,3	9,7	17,7	17,6	18,1	18,5	13,3	13,1	13,5	13,7
<i>T_{max}</i> (°C)	<i>Inverno</i>				<i>Primavera</i>				<i>Estate</i>				<i>Autunno</i>			
	<i>Clima</i>	<i>S₀</i>	<i>S₁</i>	<i>S₂</i>	<i>Clima</i>	<i>S₀</i>	<i>S₁</i>	<i>S₂</i>	<i>Clima</i>	<i>S₀</i>	<i>S₁</i>	<i>S₂</i>	<i>Clima</i>	<i>S₀</i>	<i>S₁</i>	<i>S₂</i>
Nord	4,6	5,3	5,3	5,8	13,2	13,0	13,5	14,8	22,8	22,8	23,1	24,0	14,5	14,2	14,5	14,6
Centro	10,0	11,1	11,2	11,6	16,8	16,6	17,1	18,0	27,1	27,1	27,4	28,4	19,3	19,0	19,4	19,7
Sud	12,7	14,0	14,2	14,5	18,2	18,1	18,4	19,2	28,3	28,1	28,7	29,7	21,4	21,1	21,7	22,1
Sicilia	14,5	15,9	16,0	16,3	18,9	18,8	19,2	20,0	28,8	28,5	29,3	30,0	23,0	22,7	23,2	23,7
Sardegna	13,8	15,0	15,1	15,3	18,5	18,2	18,9	19,8	28,7	28,5	29,2	30,2	22,1	21,8	22,4	22,8
<i>Prec.</i> (mm)	<i>Inverno</i>				<i>Primavera</i>				<i>Estate</i>				<i>Autunno</i>			
	<i>Clima</i>	<i>S₀</i>	<i>S₁</i>	<i>S₂</i>	<i>Clima</i>	<i>S₀</i>	<i>S₁</i>	<i>S₂</i>	<i>Clima</i>	<i>S₀</i>	<i>S₁</i>	<i>S₂</i>	<i>Clima</i>	<i>S₀</i>	<i>S₁</i>	<i>S₂</i>
Nord	220	221	152	179	264	250	220	184	263	242	238	204	282	262	212	267
Centro	278	270	236	239	199	178	161	163	140	122	120	96	282	277	238	269
Sud	286	255	241	237	166	148	152	119	78	73	65	47	248	231	226	203
Sicilia	223	203	226	247	132	109	113	88	34	21	19	26	186	177	202	191
Sardegna	241	180	198	190	126	124	90	92	34	24	21	19	201	146	177	169

Fonte: nostra elaborazione su dati CRA-CMA

esempio, la schiusa delle gemme, il germogliamento, la fioritura. Per quanto riguarda la *stagione di crescita*, è emerso con chiarezza l'effetto esplicito giocato dall'andamento termico. Inizio e durata risultano, infatti, linearmente collegati alle temperature via via più elevate che si riscontrano passando da uno scenario all'altro. Relativamente a una soglia termica di 10 °C, ad esempio, l'inizio della stagione di crescita nello scenario *S₂* risulta mediamente anticipato di circa 4 giorni al Nord, 9 giorni al Centro, 7 giorni al Sud, 8 giorni in Sardegna e di ben 12 giorni in Sicilia.

Conclusioni. – Le osservazioni scientifiche confermano la percezione di atipicità climatica occorsa negli ultimi decenni a scala sia globale sia locale. Intensità e variabilità dei fenomeni meteorologici sembrano infatti convergere su tendenze di lungo periodo che proiettano su scenari futuri diversi dai riferimenti climatici attuali. Per il nostro paese i segnali del cambiamento climatico consistono principalmente nell'aumento delle temperature, in una (seppur limitata) diminuzione delle precipitazioni, nonché nella maggiore frequenza di eventi estremi quali, ad esempio, precipitazioni intense, periodi siccitosi, ondate di calore eccetera. La vulnerabilità dell'Italia rispetto al cambiamento climatico, in particola-

re per quanto riguarda il settore agroforestale che prima e più di altri può risentire di variazioni ambientali, nasce dalla forte connotazione specialistica delle produzioni, dagli elevati standard qualitativi dell'agricoltura italiana e dall'intrinseco legame tra produzione e territorio che si è strutturato nel corso dei secoli in termini di tipicità dei prodotti. Appare evidente che il consolidamento di condizioni meteo-climatiche differenti da quelle definite «normali» possono mettere in crisi tale comparto produttivo sconvolgendo le radicate vocazioni agroforestali del territorio. A fronte di tali conseguenze, al fine di impostare le contromisure più efficaci di mitigazione/adattamento, è importante riuscire ad avere un quadro attendibile delle prospettive future, in particolare di quelle che potrebbero realizzarsi nel breve periodo.

Uno dei punti deboli delle proiezioni climatiche è rappresentato dalla difficoltà di considerare adeguatamente i fattori che interagiscono a scala locale come, ad esempio, gli effetti prodotti dai rilievi, dalle coste, dai laghi, dalla vegetazione, dai suoli e dalle stesse attività umane. Riteniamo che, nel breve periodo, tutte le informazioni di contorno siano già comprese nei dati che popolano le serie storiche climatiche che, per tale ragione, possono essere utilmente impiegate per desumere, con un buon margine di attendibilità, gli scenari futuri più prossimi. Nell'ipotesi di vedere confermate le attuali tendenze, i risultati ottenuti presagiscono per l'Italia, nei prossimi 10-15 anni, un aumento delle temperature che presumibilmente si tradurrà in migliori condizioni di crescita e sviluppo delle colture e, quindi, in rese potenzialmente più elevate. Al tempo stesso, però, patogeni, parassiti e infestanti troverebbero anch'essi condizioni ambientali più vantaggiose a detrimento del raccolto. In diverse aree del paese, inoltre, le produzioni agricole verrebbero compromesse da condizioni di siccità e aridità.

Il cambiamento climatico inciderà, ovviamente, anche sulla disponibilità e qualità delle risorse idriche, sia per effetto diretto della riduzione degli apporti piovosi, sia indirettamente per una più intensa competizione nell'uso dell'acqua. Nei prossimi anni, tuttavia, l'impatto del cambiamento climatico sulle risorse idriche potrebbe essere mitigato dalla variabilità naturale del clima. In un clima più caldo e arido, siccità e inondazioni (generate da eventi estremi di precipitazione) potrebbero diventare più frequenti cagionando gravi danni materiali e mettendo a repentaglio la sicurezza stessa della vita umana.

Nell'insieme, il quadro meteo-climatico prefigurato per il nostro paese offre uno scenario di minore disponibilità di acqua a causa di apporti meteorici quantitativamente meno abbondanti, qualitativamente meno efficaci e anche male distribuiti nell'arco dell'anno, nonché di incremento delle temperature, aumento della frequenza e dell'intensità di eventi estremi (Incerti e altri, 2007). Fra le conseguenze più evidenti innescate dal cambiamento climatico, in particolare dai fenomeni estremi, vanno annoverati indubbiamente i processi di degrado del suolo e la desertificazione. In Italia, tali fenomeni sono al momento circoscritti ad alcune aree di regioni meridionali e insulari dove, in aggiunta allo stress di natura climatica, si associa spesso una pressione antropica non sostenibile che contribuisce ulteriormente alla riduzione della produttività agricola e di biomassa, nonché alla progressiva perdita di biodiversità. Anche le regioni del Centro-

nord, che non sembrerebbero soffrire di fenomeni di desertificazione conclamati, manifestano un peggioramento della situazione idro-meteorologica e sono sempre più esposte all'irregolarità delle precipitazioni, alla siccità e all'inaridimento (Salvati e altri, 2010 e 2011). Esse sperimentano, inoltre, un peggioramento delle condizioni agroambientali dovuto a fenomeni di erosione dei suoli e stress di natura antropica innescati soprattutto dall'intensificazione dell'attività agricola, dall'accelerazione dei tassi di urbanizzazione e cementificazione dello spazio rurale nonché dalla frammentazione del paesaggio agrario.

Ogni azione di contrasto, mirata alla mitigazione, all'adattamento e all'aumento della resilienza, dovrà dunque ricercare strategie sostenibili a breve e medio termine che mirino a un uso intelligente delle risorse naturali e a una pianificazione degli interventi, in particolare in ambito agro-silvo-pastorale. Nell'immediato, accanto alle misure utili per fronteggiare l'emergenza dell'oggi, occorre predisporre gli strumenti necessari a una gestione ordinaria del rischio climatico. Compito, questo, cui la ricerca scientifica deve rispondere in termini concreti di miglioramento della conoscenza, di innovazione tecnica e, soprattutto, di contributo alla costituzione di una diffusa cultura ambientale e di comportamenti consapevoli.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- FABBRIS L., *Statistica multivariata – Analisi esplorativa dei dati*, Milano, McGraw-Hill, 1997.
- INCERTI G. e altri, *Drought Estimation through a Neural Network Approach*, in «International Journal of Biometeorology», 2007, 51, pp. 253-263.
- MARDIA K.V., J.T. KENT e J.M. BIBBY, *Multivariate Analysis*, Londra, Academic Press, 1979.
- PERINI L. (a cura di), *Atlante agroclimatico. Agroclimatologia, pedologia, fenologia del territorio italiano*, Roma, UCEA, 2004.
- PINNA M., *Le variazioni del clima. Dall'ultima grande glaciazione alle prospettive per il XXI secolo*, Milano, FrancoAngeli, 1996.
- PINNA M., *La climatologia nella seconda metà del secolo XX (alcuni elementi per un riesame)*, in «Bollettino della Società Geografica Italiana», 1998, pp. 229-253.
- PINNA S., *L'informazione in tema di cambiamenti climatici. Molto sensazionalismo e scarsi contenuti scientifici*, in «Bollettino della Società Geografica Italiana», 2004, pp. 319-334.
- RIZZI A., *Analisi dei dati: applicazioni dell'informatica alla statistica*, Roma, La Nuova Italia Scientifica, 1985.
- SALVATI L. e altri, *La risorsa idrica rinnovabile a livello nazionale e regionale e la sua utilizzazione in agricoltura*, in «Bollettino della Società Geografica Italiana», 2008, pp. 897-911.
- SALVATI L. e altri, *Siccità e agricoltura nel Mezzogiorno d'Italia. Contributo allo studio della disponibilità idrica dei suoli*, in «Bollettino della Società Geografica Italiana», 2010, pp. 877-886.

- SALVATI L. e altri, *Breve excursus sul clima italiano con riferimenti al settore agricolo*, in «Bollettino della Società Geografica Italiana», 2011, pp. 295-310.
- SCAFETTA N. e B.J. WEST, *Estimated Solar Contribution to the Global Surface Warming Using the ACRIM TSI Satellite Composite*, in «Geophysical Research Letters», 2005, 32, 18.
- SPINELLI G., *La prospettiva antropica del cambiamento climatico*, in «Bollettino della Società Geografica Italiana», 2003, pp. 337-354.
- STÖCKLE C.O. e altri, *Climgen: A Flexible Weather Generation Program*, in *Proceedings of 2nd International Symposium «Modelling Cropping Systems» (16-18 July 2001, Florence)*, Firenze, Università degli Studi di Firenze, 2001, pp. 229-230.

THE (UN)SUSTAINABLE ROLE OF CLIMATE CHANGE. – This paper discusses on the possible relationship between climate change and the economic system in developed countries, specifically focusing on the agriculture in Italy. The recent trends in rainfall and temperatures in Italy were analysed in order to discriminate the impact of climate change or climate variations on agriculture and the other economic sectors. A multivariate analysis based on principal component analysis and clustering procedures was carried out in order to develop a short-term climatic projection involving the most important variables in the agricultural sector (precipitation, temperatures). Results indicate that a mild reduction in the annual rainfalls coupled with a marked increase in both maximum and minimum temperature occurred over Italy since 1951 with a peculiar spatial pattern distinguishing northern from southern Italy. The occurrence of extreme events, like dry spell length, increased as well. The paper finally discussed some possible mitigation actions due to reduce the impact of climate changes on agriculture, with special regards for rural areas of southern Italy.

Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni Pianta-Suolo (CRA-RPS), Roma

luca.salvati@entecra.it

Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di Ricerca per la Climatologia e la Meteorologia applicate all'Agricoltura (CRA-CMA), Roma

luigi.perini@entecra.it