



Rendiconti  
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL  
*Memorie di Scienze Fisiche e Naturali*  
125° (2007), Vol. XXXI, P. II, t. I, pp. 277-295

MASSIMO IANNETTA\*

## **Interazioni tra cambiamenti climatici e desertificazione**

### *Prefazione*

Il clima del pianeta è cambiato molte volte durante la sua storia geologica in conseguenza di fattori naturali quali la variazione periodica dei parametri orbitali e dell'attività solare, la migrazione dei continenti, lo sviluppo di calotte polari e le variazioni della composizione dell'atmosfera. Il clima ha sempre esercitato una notevole influenza sulle attività umane, ma questo rapporto sta rapidamente cambiando.

La comunità scientifica internazionale ritiene infatti che le attività umane rappresentino un nuovo forzante del clima.

L'influenza dell'uomo sul clima avviene attraverso la perturbazione dei complessi processi di interazione fra la radiazione solare, la biosfera, l'atmosfera, e l'idrosfera, i quali regolano l'andamento naturale del clima. Le principali alterazioni indotte dall'uomo riguardano la variazione della composizione dell'atmosfera, in particolare l'immissione di «gas ad effetto serra» e di particelle di aerosol, ed i cambiamenti dell'utilizzo del suolo anche legati alla deforestazione. Queste modificazioni influenzano gli equilibri naturali, la temperatura del pianeta e la distribuzione delle precipitazioni, con effetti diretti sulle dinamiche dei processi di desertificazione.

### *Osservazioni paleoclimatiche*

Nella registrazione paleoclimatica delle carote di ghiaccio le concentrazioni di gas serra (anidride carbonica e metano) hanno fluttuato sostanzialmente in fase con la temperatura. Negli ultimi 800 mila anni l'evoluzione naturale della temperatura sembra essere guidata dalla forzante astronomica e l'anidride carbonica agisce da amplificatore di tale azione. Le variazioni naturali di anidride carbonica sono pro-

\* ENEA Responsabile dell'Unità BAS BIOTEC DES «Lotta alla Desertificazione».  
E-mail: miannetta@casaccia.enea.it

tabilmente condizionate dall'Oceano Meridionale, quelle del metano dall'estensione delle aree umide nelle regioni intertropicali e dell'emisfero nord.

Negli ultimi duecento anni, con l'inizio della rivoluzione industriale, si è verificato un notevole incremento nelle concentrazioni atmosferiche di polveri dovute all'attività antropica e di «gas ad effetto serra», quali anidride carbonica, metano, protossido di azoto ecc.

La variazione in atmosfera della concentrazione dell'anidride carbonica è documentata dalle misure dirette effettuate a partire dal 1957 nella stazione di Manua Loa (Hawai, USA), e successivamente dalla rete mondiale del Global Atmosphere Watch (per l'Italia le stazioni di Lampedusa dell'ENEA, Plateau Rosa del CESI Ricerca, Monte Cimone dell'Aeronautica Militare). Le bolle d'aria racchiuse negli strati di ghiaccio dell'Antartide (20 anni di ricerche italiane dirette dall'ENEA) rappresentano l'unica testimonianza disponibile della concentrazione di gas serra precedentemente alla metà del XX secolo, e permettono di individuare il brusco aumento di tali gas nell'atmosfera. In particolare, nel XIX secolo i contenuti di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) erano rispettivamente di 277 ppm (*parti per milione*) e di 715 ppb (*parti per miliardo*; fig. 1), mentre l'attuale contenuto di anidride carbonica è di 380 ppm, con un incremento del 35% rispetto al XIX secolo. Il contenuto di metano è di 1780 ppb, +130% rispetto al XIX secolo. Nel periodo pre-industriale i contenuti di anidride carbonica e metano erano simili a quelli misurati nelle fasi geologiche calde (Interglaciali). Negli ultimi 820.000 anni la concentrazione di anidride carbonica è variata da un minimo di circa 180 ppm nelle fasi più fredde (Glaciali, con temperature inferiori alle attuali di 10-15°C) a un massimo di 300 ppm in quelle più calde (anche con temperature superiori alle attuali di 2-3°C). Analogamente il metano è variato da 350 ppb a 775 ppb. L'incremento antropico osservato negli ultimi 200 anni è simile a quello rilevato nei dati paleoclimatici fra un glaciale ed un interglaciale per l'anidride carbonica (100 ppm) e nettamente superiore (1000 ppb) per il metano. Accanto all'aumento di anidride carbonica e metano negli ultimi 200 anni si è registrata una crescita del 18% nella concentrazione di protossido di azoto. Le concentrazioni attuali di anidride carbonica e metano in atmosfera sono le più alte mai registrate negli ultimi 820.000 anni e stanno crescendo con velocità eccezionali, cento volte superiori a quelle dell'epoca pre-industriale.

#### *L'incremento della temperatura e l'aumento della frequenza dei fenomeni meteorologici intensi*

Le ricostruzioni paleoclimatiche delle temperature relativamente agli ultimi 2000 anni indicano un periodo relativamente caldo attorno al X-XI secolo (periodo caldo medievale) ed un periodo relativamente freddo durante fra il XVI e il XIX secolo (piccola età glaciale). Le misure strumentali evidenziano che negli ultimi 100 anni la temperatura media superficiale planetaria è aumentata di circa 0,7 °C (fig.

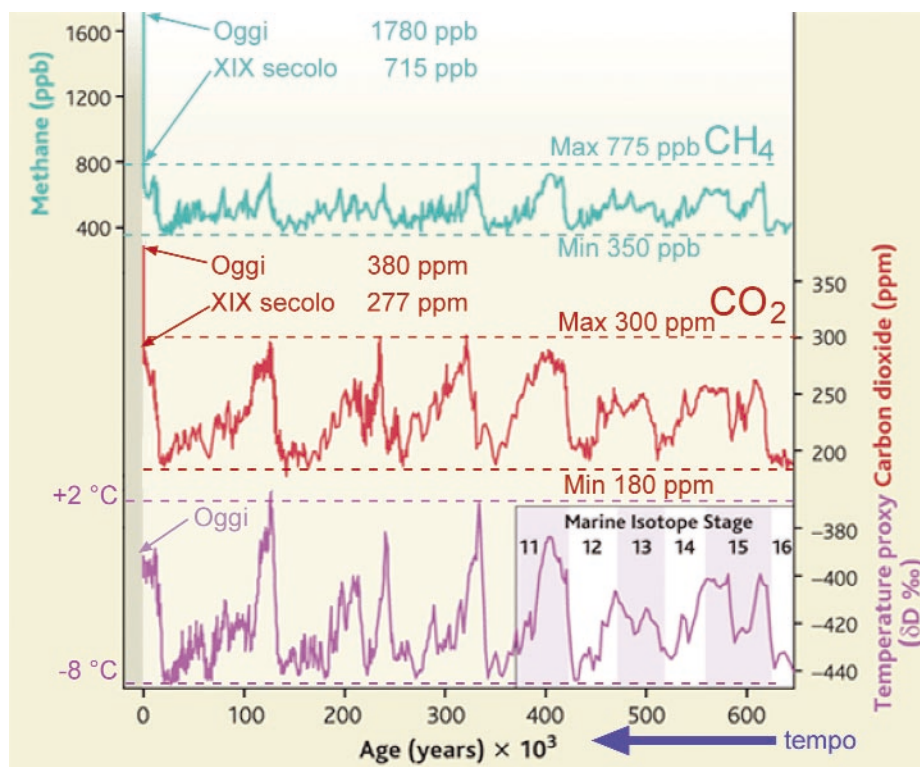


Fig. 1. Andamento dei gas ad effetto serra (metano  $\text{CH}_4$ , anidride carbonica  $\text{CO}_2$ ) e del deuterio ( $\delta\text{D}$ , rappresentativo della temperatura dell'aria) nella carota di ghiaccio di EPICA (*European Project for Ice Coring in Antarctica*) Concordia (modificato da Brook, 2006) negli ultimi 650.000 anni. L'età geologica aumenta da sinistra (periodo odierno) verso destra (periodi più antichi). Al progetto EPICA partecipano 10 nazioni europee, con finanziamenti nazionali e della Comunità Europea. La partecipazione italiana è rappresentata da ricercatori delle Università, dell'ENEA e dell'INGV. L'ENEA ha assicurato il coordinamento logistico e tecnologico alle attività di perforazione. Le ricerche italiane sono svolte nell'ambito del Programma Nazionale di Ricerca in Antartide (PNRA), finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca.

2) e questo dato è coerente con quello misurato sul territorio italiano (circa  $1,0^\circ\text{C}$ ). Negli ultimi 25-30 anni la temperatura è cresciuta bruscamente alla velocità di  $0,18^\circ\text{C}$  per decennio. I dieci anni più miti dall'inizio della registrazione strumentale (metà del XIX secolo) si sono verificati a partire dagli anni '90. L'aumento di temperatura non è stato uniforme sia geograficamente che temporalmente ed ha riguardato principalmente le terre emerse con un riscaldamento maggiore nell'emisfero settentrionale durante i periodi invernali e primaverili. Il confronto fra i dati strumentali e le serie paleoclimatiche indica che le temperature degli ultimi 50 anni sono state le più alte dal XVI secolo e molto probabilmente negli ultimi 2000 anni. Le simulazioni climatiche suggeriscono che gran parte del riscaldamento osservato

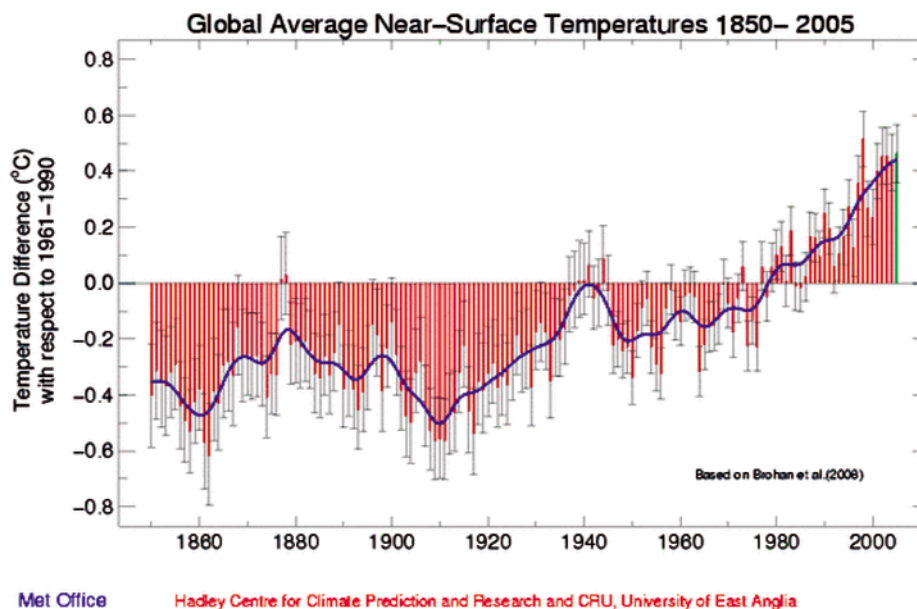


Fig. 2. Temperature medie globali annuali rappresentate come differenza rispetto al periodo 1961-1990 (<http://www.metoffice.gov.uk/>).

negli ultimi 50 anni è attribuibile all'aumento dei «gas ad effetto serra» con un contributo minore dovuto a cause naturali (es. attività solare).

Ci sono indicazioni di un aumento della frequenza dei fenomeni meteorologici intensi (tempeste, ondate di calore, uragani, prolungati periodi di siccità ecc.) in molte parti del mondo e una diminuzione significativa degli impulsi di area fredda alle medie e alte latitudini. A tale proposito vale la pena di ricordare la prolungata ondata di calore che ha investito l'Europa nell'estate del 2003 con temperature eccezionalmente elevate (oltre 3 °C al di sopra della norma). Le condizioni ambientali hanno provocato oltre 35.000 decessi, numerosissimi incendi, danni alla agricoltura e al sistema economico valutabili in 13 miliardi di €. La stagione di fusione dei ghiacciai alpini ha avuto una durata record di 93 giorni (media degli ultimi 20 anni 45 giorni) causandone una forte riduzione. Anche gli ultimi due anni saranno ricordati per la loro eccezionalità meteorologica. Nel 2005 si è verificato un numero record (27) di tempeste tropicali nel bacino dell'Atlantico, la metà delle quali ha raggiunto l'intensità degli uragani. L'autunno del 2006 è stato straordinariamente mite in gran parte dell'Europa, con temperature di circa 3 °C superiori alla media dalle Alpi alla Norvegia. Nel nord d'Italia il periodo autunnale si è chiuso con temperature che risultano le più calde dall'inizio delle misure meteorologiche (metà del XIX secolo). Anche il 2006 si colloca nel gruppo dei 10 anni più miti mai rilevati nella regione alpina, con un'anomalia positiva di 1 °C rispetto alla norma.

Per quel che riguarda l'Italia essa è totalmente inserita nella realtà del Mar Mediterraneo e molte attività dipendono da esso.

L'interpretazione delle variazioni ambientali degli ultimi millenni appare molto più difficile a causa dell'interazione tra uomo e ambiente. La forte aridificazione della sponda meridionale del Mediterraneo, che sempre più va estendendosi anche alla sponda nord, potrebbe essere dovuta, oltre che a fattori climatici, anche all'eccessivo sfruttamento attuato dalle popolazioni delle risorse naturali (acqua, suoli ed ecosistemi vegetali), attivando processi di desertificazione.

### *I cambiamenti climatici futuri*

Le attività umane, contribuendo all'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> ed altri gas serra, nonché all'immissione di aerosol, provocano delle perturbazioni nel ciclo radiativo dell'atmosfera che inducono dei cambiamenti in quel sistema complesso che è il clima globale. Capire quali siano questi cambiamenti, quale sia la loro entità, come si manifestino nelle diverse regioni del globo e se siano reversibili è un compito che gli studiosi del clima stanno già affrontando da molti anni.

Per poter indirizzare le strategie di mitigazione ed adattamento ai cambiamenti climatici, è importante sia conoscere i cambiamenti in atto quanto prevedere i cambiamenti futuri.

La previsione dei cambiamenti futuri può essere perseguita con l'ausilio di modelli climatici numerici, che riproducono l'andamento del clima sotto diverse condizioni di forzanti radiative, che simulano gli effetti di altrettanti «regimi» di attività antropiche caratterizzati da diversi ritmi di crescita economica, incremento di popolazione, uso di tecnologie avanzate. Queste ipotesi di lavoro sono usualmente denominate *scenari climatici*.

Gli scenari di riferimento da usarsi sono definiti nel contesto dei lavori dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, Special Report on Emissions Scenario, 2000 - <http://www.ipcc.ch/activity/sprep.htm>)

Il progetto PRUDENCE ha condotto un totale di 28 esperimenti diversi di simulazione del clima futuro confrontando modelli numerici regionali, forzati con diversi modelli globali, sotto le ipotesi dei due scenari di emissione A2 e B2. Il periodo di riferimento considerato è stato quello 1961-1990 mentre il periodo di proiezione è il 2071-2100. La risoluzione spaziale adottata è stata di 50 km, ed in alcuni casi si sono raggiunte risoluzioni di 20 -12 km.

In generale, i risultati rilevanti per il Sud Europa ed il bacino Mediterraneo ottenuti da PRUDENCE si possono riassumere come segue.

– Considerando lo scenario A2, le temperature medie superficiali estive aumenteranno su tutto il Mediterraneo di almeno 5°C. Aumenti più consistenti si potranno avere sulla Spagna, il sud della Francia, il nord dell'Africa ed il sud della Turchia. L'incertezza su queste stime è attestabile a circa 1.4 °C sulla temperatura media annuale, con un minimo nella stagione invernale (1.1 °C) ed un massimo in

quella estiva (1.8 °C). I modelli prevedono una diminuzione della precipitazione estiva su tutto il dominio. I cambiamenti più intensi sono attesi sulle Alpi, dove la precipitazione estiva totale dovrebbe diminuire di più di 150 mm ( $\pm 30$  mm). A nord del cerchio di latitudine 44°N, ci si aspetta un aumento delle precipitazioni invernali di circa 100 mm ( $\pm 15$  mm). A sud di questa latitudine, la precipitazione invernale diminuirà di circa 50-100 mm ( $\pm 10$  mm).

– In particolare, i risultati prodotti dal modello regionale dell'ICTP di Trieste (<http://www.ictp.it/pages/research/pwc.html>) per i due scenari A2-B2, forniscono le seguenti indicazioni. Il riscaldamento sull'area Europea è nel range di 2.5-5.5 °C. Lo scenario più severo (A2) produce un riscaldamento di 1-2 gradi superiore allo scenario B2, con punte massime sul Mediterraneo e sulle regioni Europee occidentali durante l'estate, e nell'Europa centrale ed orientale durante l'inverno. In inverno, un sostanziale aumento della precipitazione avverrà sull'Europa centrale e settentrionale in risposta ad un aumento dell'attività ciclonica. In estate, la precipitazione diminuirà nell'Europa meridionale ed occidentale a causa di un aumento della circolazione anticiclonica sull'Atlantico nord-orientale. Questi risultati sono comuni ai due scenari (A2 e B2).

– Sempre all'interno del progetto PRUDENCE, è stata fatta una valutazione del cambiamento degli eventi siccitosi. Usando dati di quattro simulazioni con RCM, è stato evidenziato che, per quanto riguarda lo scenario A2, il Mediterraneo subirà un significativo aumento degli eventi siccitosi, con una riduzione dell'intensità della precipitazione, un anticipo dell'inizio della stagione secca ed un suo maggiore perdurare. Gli stessi cambiamenti si osservano per lo scenario B2, ma ridotti in intensità. Si deve tuttavia notare, che l'utilizzo di condizioni al contorno provenienti da diversi modelli globali produce, negli estremi di siccità, effetti paragonabili a quelli dati dal cambiare gli scenari stessi.

Secondo l'ultimo rapporto sui cambiamenti climatici dell'IPCC, in generale, saranno i paesi in via di sviluppo e più vicini ai tropici a subire le conseguenze più gravi dell'aumento del riscaldamento globale. Tali paesi sono particolarmente vulnerabili sia perché sono quelli in cui si prevedono gli impatti maggiori del mutamento climatico sia perché sono quelli meno attrezzati a contrastare i problemi ed i danni da questo derivanti. Anche l'area del Mediterraneo sarà particolarmente interessata sia in termini di aumento delle temperature minime e massime che per una riduzione degli apporti meteorici, con accentuazione degli eventi estremi.

In particolare si distinguono prioritariamente le seguenti regioni con i relativi paesi (fig. 3):

– Africa saheliana e meridionale: Mali, Niger, Ciad, Sudan, Nigeria (nord), Algeria (sud), Libia (sud), Egitto (sud), Zambia, Malawi, Botswana, Zimbabwe, Mozambico, Angola, Congo, Namibia;

– America Centrale e Meridionale: Messico (Sud), Guatemala, Belize, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panama, Colombia, Ecuador, Venezuela (sud occidentale), Brasile, Bolivia, Paraguay, Argentina (settentrionale);

Map 1.5 Aridity zones

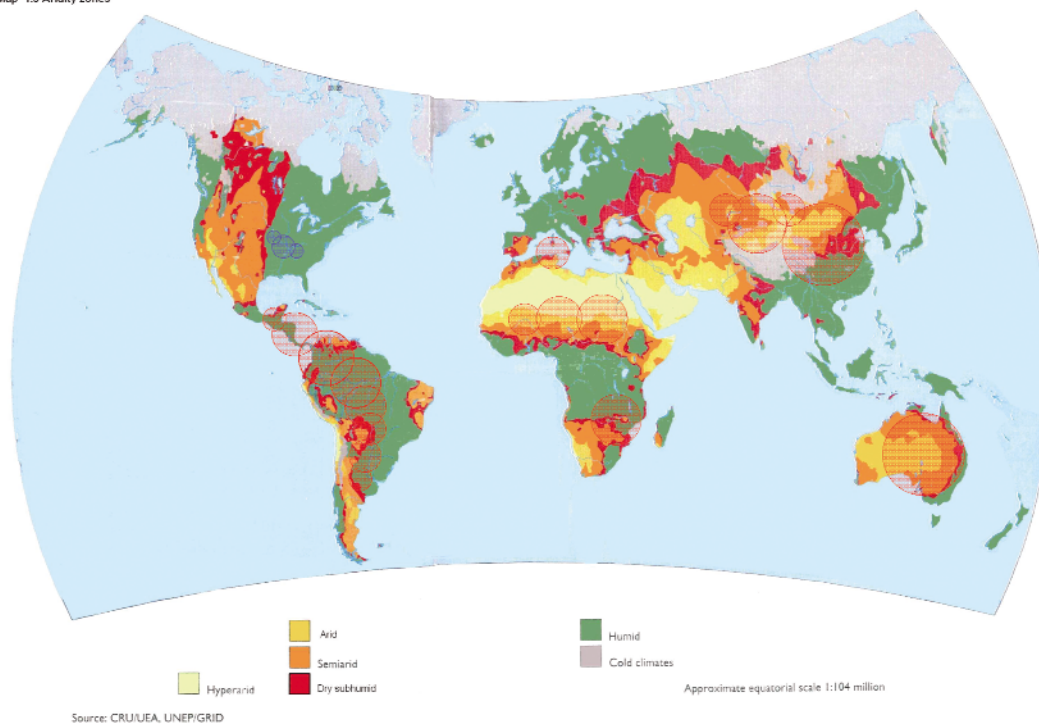


Fig. 3. Cerchiate in rosso le aree geografiche più sensibili sulla base degli scenari futuri di cambiamento climatico.

- Oriente: Cina, Kirgizstan, Tajikistan, Kazahstan, Mongolia, India (settentrionale), Pakistan (settentrionale);
- Australia centro-orientale;
- Bacino del Mediterraneo.

I problemi che ci troveremo ad affrontare saranno soprattutto:

- siccità in aree agricole fondamentali per il sostentamento di centinaia di milioni di persone;
- riduzione dei raccolti;
- riduzione dei ghiacciai e scarsità d'acqua in generale ed in particolare in zone densamente popolate;
- aumento delle aree a rischio di desertificazione (si calcola che in Africa entro il 2080 ci saranno tra i 60 e i 90 milioni di ettari in più di zone aride);
- malnutrizione e di conseguenza difficoltà ad affrontare anche le malattie più banali;
- diffusione di insetti in zone in cui oggi non sono presenti con danni alle colture e agli ecosistemi;

- aumento delle malattie legate alle ondate di calore ma anche alla diffusione in zone dove prima non erano presenti (per esempio della malaria in zone non tropicali);
- maggiori inondazioni e alluvioni (eventi estremi);
- perdita di biodiversità, forte rischio di estinzione per il 20-30% di animali e piante (entro il 2100 metà della vegetazione mondiale potrebbe essere estinta, in particolare ecosistemi tipo tundra e foreste boreali, ecosistemi mediterranei e foreste di mangrovie subiranno impatti severi; in Australia e Nuova Zelanda si stima una forte perdita di biodiversità entro il 2020);
- acidificazione e inquinamento degli oceani (rischio anche per barriere coralline);
- migrazioni sia verso paesi limitrofi che verso paesi ricchi (sviluppati) ed acuirsi dei dissidi in paesi già instabili, implicazioni in termini di sicurezza anche per i paesi ricchi.

Per quel che riguarda l'Italia essa è totalmente inserita nella realtà del Mar Mediterraneo, che vede già una forte aridificazione della sponda meridionale con una tendenza sempre più accentuata del fenomeno lungo la sponda nord, dovuto, oltre che a fattori climatici, all'inquinamento ambientale e all'eccessivo sfruttamento delle risorse naturali (acqua, suoli ed ecosistemi vegetali) e del territorio da parte dell'uomo.

### *La Desertificazione*

Le evidenze, lo studio e l'analisi dei cambiamenti climatici in atto rappresentano il presupposto indispensabile per affrontare il problema della mitigazione e dell'adattamento, per minimizzare le conseguenze negative prevedibili, prevenire i possibili danni e combattere le emergenze future.

Tra queste la desertificazione occupa una posizione di rilievo, per le dinamiche spaziali e temporali con le quali si sta manifestando alle nostre latitudini.

La definizione ufficiale di «desertificazione» è stata elaborata durante la Conferenza delle Nazioni Unite su Ambiente e Sviluppo (Rio, 1992) e fa riferimento al «degrado delle terre nelle zone aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a varie cause, fra le quali le variazioni climatiche e le attività antropiche». Questa definizione, recepita nell'ambito della Convenzione Internazionale delle Nazioni Unite sulla lotta alla Siccità e Desertificazione (UNCCD), è considerata profondamente innovativa per tre motivi principali:

1. il degrado riguarda sia la perdita delle caratteristiche bio-chimico-fisiche del suolo, sia la redditività economica;
2. le terre aride, semi-aride e sub-umide secche individuano le aree del pianeta più vulnerabili, escluse le aree artiche ed antartiche, nelle quali il rapporto tra le precipitazioni annuali e l'evapotraspirazione potenziale si situa tra 0.05 e 0.65.
3. la desertificazione può essere determinata dal sovrapporsi di cause di origine naturale ed antropica.



Fino al decennio scorso la desertificazione era percepita non tanto come elemento strutturale di una evoluzione ecologica preoccupante, ma come un elemento congiunturale attribuito a dei «periodi» di siccità. Si era verificata la siccità negli anni tra il 1968 e il 1973, poi il periodo di scarse precipitazioni tra il 1974 e il 1983 e infine la terribile annata del 1984. È solo a partire da questa data che la coscienza del fenomeno diviene di dominio pubblico ed assume la connotazione di un problema globale, seppure caratterizzato da cause locali.

Dati forniti dall'UNEP (Programma Ambientale delle Nazioni Unite) hanno mostrato che attualmente:

- il 39% circa della superficie terrestre è affetta da desertificazione;
- 250 milioni di persone sono direttamente a contatto con la degradazione della terra nelle regioni aride;
- più di cento paesi nel mondo sono interessati da questo fenomeno;
- la perdita di reddito imputabile alla desertificazione è di circa 50 miliardi di euro ogni anno;
- il 70% dei terreni aridi utilizzati in agricoltura è già degradato;
- la desertificazione riduce le possibilità di produzione alimentare (ogni anno 12 milioni di ettari vengono persi);
- la desertificazione impoverisce la biodiversità.

Alla luce di questa drammatica situazione, tutti i Paesi colpiti più o meno gravemente dalla desertificazione hanno sempre più sentito la necessità di monitorare e mitigare l'aumento progressivo di questo fenomeno, elaborando strategie e piani di gestione sostenibile degli ecosistemi.

L'approccio seguito in questo lavoro tende ad evidenziare le cause del fenomeno, che afferiscono ai recenti cambiamenti climatici e all'attività dell'uomo.

L'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) ha realizzato, grazie ad un progetto a cui ha partecipato anche l'ENEA, una carta della sensibilità dei Paesi del bacino del Mediterraneo alla desertificazione. Dalla carta in figura 4 si riporta la situazione relativa al territorio italiano, che evidenzia come il 3,7% del territorio è molto vulnerabile, il 32,15% è vulnerabile ed il 64,11% è poco vulnerabile nelle presenti condizioni climatiche e con gli attuali utilizzi del territorio. Le aree poco vulnerabili saranno soggette ad incrementare la loro vulnerabilità in alcune delle condizioni di cambiamento climatico previste dagli scenari futuri.

La situazione più critica si riscontra nelle regioni meridionali ed insulari dove le condizioni ambientali sono più sfavorevoli e dove l'agricoltura, la pastorizia e le altre attività dell'uomo incidono sulle condizioni del territorio.

La metodologia utilizzata per l'individuazione della sensibilità alla desertificazione, attraverso l'Indice ESA (Environmentally Sensitive Areas), ci consente di discriminare l'incidenza del fattore climatico (CQI) rispetto alle altre componenti che entrano in gioco (Suoli SQI, Vegetazione VQI e Sistemi di Gestione MQI) nella determinazione del valore finale (compreso tra 1 e 2), attraverso una valutazione quali-quantitativa di specifici indicatori/parametri (fig. 5).



Fig. 4. Mappa della sensibilità alla desertificazione (fonte EEA 2001).

I differenti valori di aridità climatica, determinati dalla simultanea variazione di precipitazioni e temperature, sono documentati grazie ai dati che l'Ufficio Idrografico Regionale ha messo a disposizione per le attività di ricerca che l'ENEA ha condotto in Sicilia. Dalla figura 6 si evince che la superficie di territorio semi arido è progressivamente aumentata dal 1921 al 2000 arrivando a superare il 20% del territorio regionale. Parallelamente, i territori classificati «umidi» sono diminuiti fino al 30%.

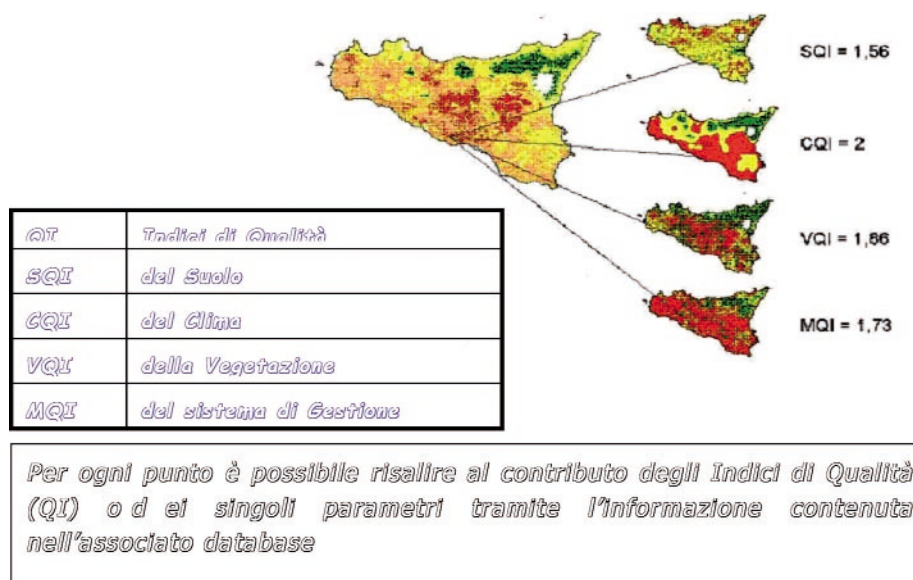
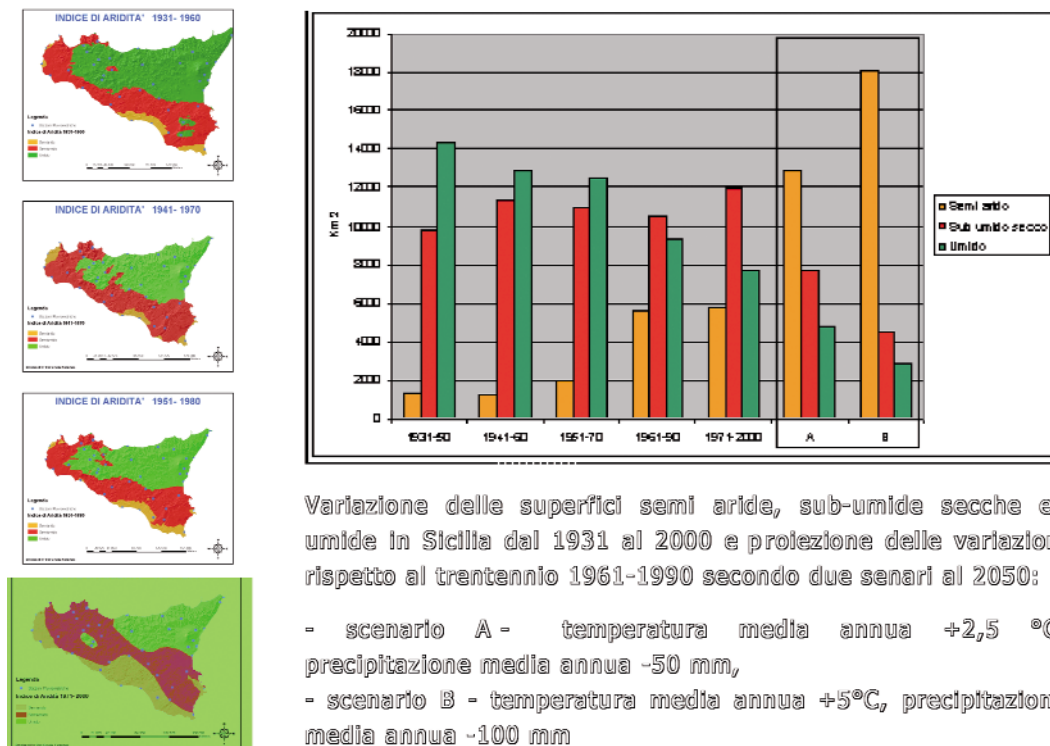


Fig. 5. Contributo dei singoli Indici di Qualità ESA (da M. Sciortino, M. Iannetta, *et al.*, 2002).

Questo cambiamento dell'aridità è attribuibile principalmente all'incremento delle temperature, aumentate significativamente su tutto il territorio regionale. Le variazioni delle precipitazioni risultano in alcune località meno significative, sebbene l'Ufficio Idrografico abbia stimato che nell'arco degli ultimi due trentenni ci sia stata una diminuzione media sul territorio regionale di 30 mm/anno.

Gli studi effettuati dall'ENEA nell'ambito del progetto RIADE «Ricerca Integrata per l'Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla DESertificazione» hanno inoltre approfondito la conoscenza dei più importanti processi di desertificazione, che interessano le aree maggiormente vulnerabili delle regioni meridionali (Esempio nella fig. 7).

L'effetto combinato delle peggiorate condizioni climatiche e della intensivizzazione delle attività antropiche, soprattutto lungo le fasce costiere e nelle aree pianeggianti, nel corso degli ultimi 40 anni, ha innescato un trend crescente di degrado quali-quantitativo delle risorse naturali (acqua, suolo ed ecosistemi vegetali). Al contrario, le zone collinari e montane si stanno invece rinaturalizzando per un fenomeno di abbandono. I due processi in atto non si compensano, ma generano problemi di gestione diversi che vanno affrontati con una politica di territorializzazione puntuale degli interventi.



Variatione delle superfici semi aride, sub-umide secche ed umide in Sicilia dal 1931 al 2000 e proiezione delle variazioni rispetto al trentennio 1961-1990 secondo due scenari al 2050:

- scenario A - temperatura media annua +2,5 °C, precipitazione media annua -50 mm,
- scenario B - temperatura media annua +5°C, precipitazione media annua -100 mm

Fig. 6. Variazione della percentuale di territorio della regione Sicilia interessata da condizioni di aridità (da M. Sciortino et al., 2007).

### Desertificazione ed Agricoltura

L'Agenzia Europea per l'Ambiente evidenzia come nel corso degli ultimi 30 anni sia diminuita la disponibilità di acqua nelle regioni meridionali del continente e sia contestualmente aumentato il relativo indice di sfruttamento (fig. 8).

L'acqua diventerà sempre di più l'elemento di criticità per lo sviluppo socio-economico delle zone aride, semi-aride, secche e sub-umide.

In termini di gestione sostenibile degli ecosistemi e quindi di interventi di mitigazione ed adattamento ai processi di degrado quali-quantitativo della risorsa acqua, nell'ambito del progetto RIADE sono stati presi in considerazione i seguenti aspetti:

- Disponibilità della risorsa acqua e suo utilizzo, al fine di valutarne la relativa compatibilità e l'uso competitivo sul territorio (civile, industriale, agricolo, turistico);
- Conoscenza dei sistemi di stoccaggio e distribuzione di acqua (problema infrastrutturale);

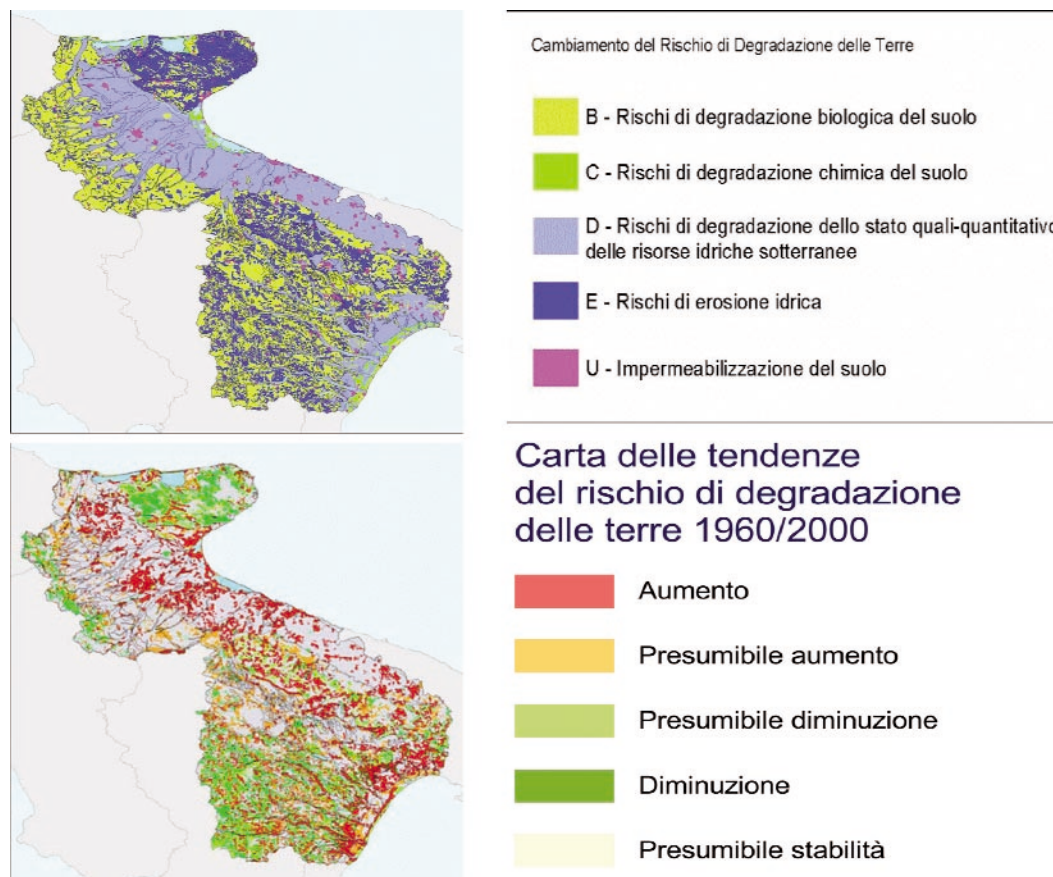


Fig. 7. Carta del rischio di degradazione delle terre e delle tendenze evolutive (da M. Iannetta *et al.*, 2005).

- Ipotesi di ottimizzazione nell'uso dell'acqua: modalità, tempi e fabbisogni;
- Efficienza nell'uso dei fattori di produzione per la gestione sostenibile degli ecosistemi;
- Colture e varietà più tolleranti allo stress idrico e salino.

Con particolare riferimento a questo ultimo punto il Rapporto pubblicato dalla Commissione Europea il 10 gennaio 2007 «Limiting Global Climate Change to 2 degrees Celsius. The way ahead for 2020 and beyond», nel capitolo 4 «Cost of action for Europe» attraverso il progetto PESETA del JRC si sottolineano gli impatti del cambiamento climatico in relazione all'agricoltura.

In termini di produzione agricola i cambiamenti previsti al 2020 e al 2080 determinerebbero una diminuzione delle rese nelle aree del sud Europa variabili dall'1,9% al 22,4% circa, a causa soprattutto della *riduzione del periodo di crescita*,

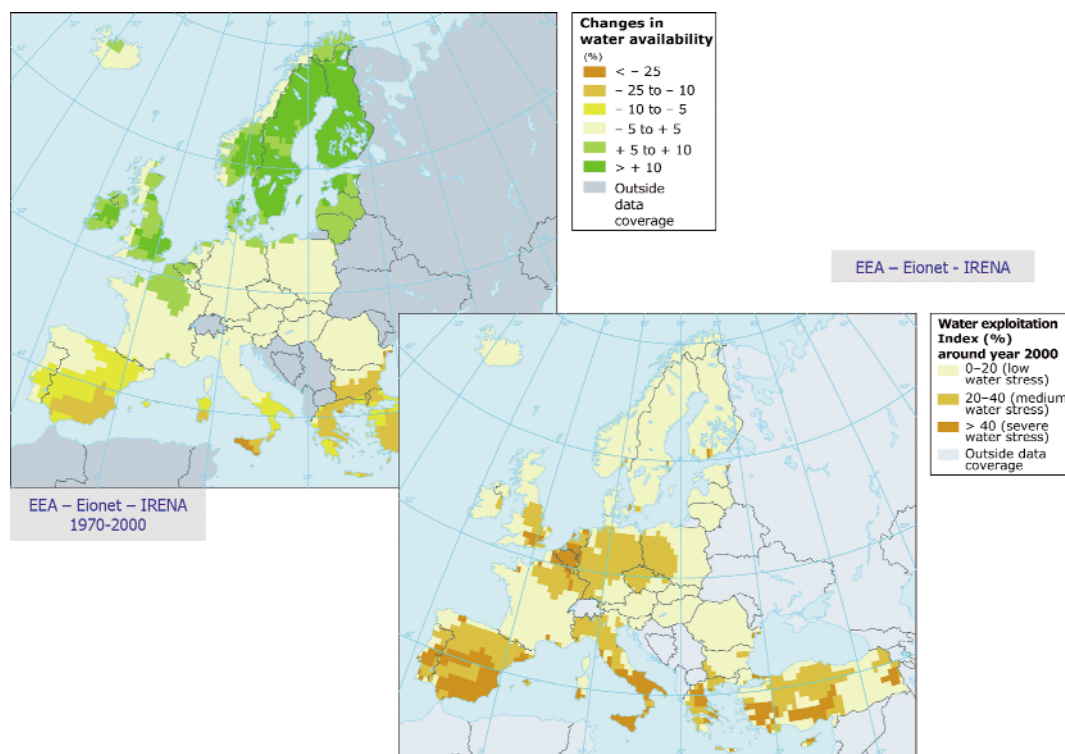


Fig. 8. Variazioni nella disponibilità di acqua e indice di sfruttamento in Europa (EEA, 2002).

*eventi estremi più frequenti durante le fasi del ciclo produttivo, in particolare precipitazioni intense durante la semina, stress da calore durante la fioritura e periodi asciutti più lunghi.* Pertanto, le aree già attualmente affette da scarsità di acqua saranno sottoposte a condizioni sempre più critiche con processi accentuati di salinizzazione delle falde acquifere e conseguentemente dei suoli laddove l'acqua viene utilizzata per l'irrigazione (figg. 9 e 10).

Relativamente alla scelta delle colture agrarie, gli elementi di maggiore criticità ed interesse sono quindi rappresentati da: maturazione precoce, resistenza/tolleranza alla carenza idrica e alla salinità dei suoli.

Le colture erbacee più indicate per questi ambienti sono quelle a ciclo autunno-primaverile, periodo in cui la disponibilità di acqua di pioggia è massima e la domanda evapotraspirativa dell'ambiente è minima. Per quanto riguarda la resistenza alla scarsità di disponibilità idrica si possono riportare le seguenti indicazioni orientative:

- a) frumenti: i duri più resistenti dei teneri; i precoci più dei tardivi;
- b) orzi: più resistenti dei frumenti;

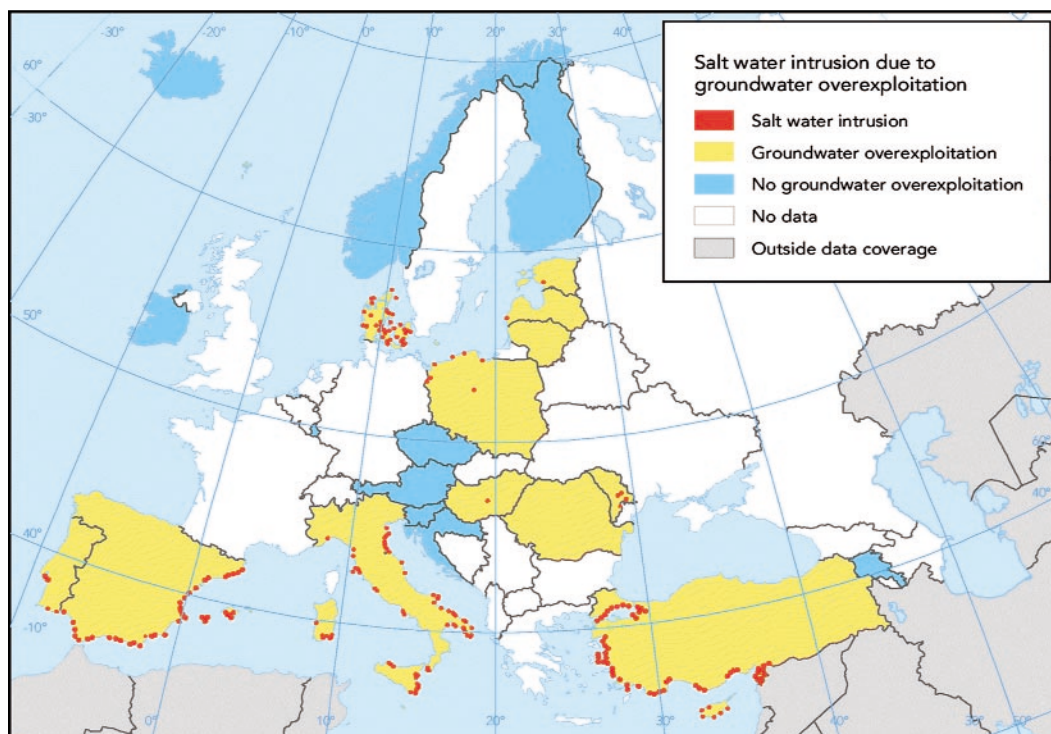


Fig. 9. Processi di salinizzazione in Europa (EEA, 2002).

Regioni	Area	Driving forces	Range Osservati ECw $\mu\text{S}/\text{cm}$ ( $\leq 2.700$ max limit)
Sicilia	Licata	Agricoltura	3000- 14000
Sicilia	Siracusa	Insedimenti abitativi Industria Agricoltura	1000- 2500
Sardegna	Nurra	Turismo Agricoltura	1000- 3000
Basilicata	Metaponto	Agricoltura Industria	1000-5000

Fig. 10. Hot spot sulla Salinizzazione in Italia, da progetto RIAD (da Colonna, Palucci, Iannetta, 2006).

- c) avene: le varietà precoci più resistenti delle tardive;
- d) legumi, in ordine decrescente: fava, lupino bianco, lenticchia, cece, pisello;
- e) erbai: veccia, favetta, fieno greco, più resistenti del trifoglio incarnato;
- f) prati, in ordine decrescente di resistenza: sulla, medica, lupinella, trifoglio pratense.

Una migliore comprensione degli effetti della siccità sulle piante è vitale per migliorare sia le pratiche agricole, in relazione ad un ottimale utilizzo delle risorse idriche, che gli sforzi di incrocio e selezione dei «breeders» per ottenere varietà sempre più adattate alle mutate situazioni climatiche.

Molto lavoro in questo campo è stato fatto negli ultimi venti anni per individuare le strategie usate dalle piante, per controllare il bilancio idrico e i processi fisiologici e biochimici, alla base delle risposte in condizioni di deficit idrico e di stress ossidativo. Grandi progressi sono anche stati fatti sull'interpretazione delle relazioni tra struttura e funzione delle foglie e morfologia delle radici in carenza di acqua. Gli strumenti della biologia molecolare e i progetti di genomica, per il sequenziamento completo di alcune specie vegetali, hanno fortemente contribuito ai grandi progressi che sono stati compiuti nella comprensione dei meccanismi molecolari che sono alla base della risposta fisiologica delle piante allo stress abiotico (salinità, carenza di acqua, ecc.). Il quadro che si va delineando è molto complesso, un network in cui sono coinvolte molte vie metaboliche interconnesse a vari livelli, basato su centinaia di geni con attività sia funzionale (per la produzione di proteine che servono a proteggere le cellule dalla disidratazione o dal cambiamento di temperatura) che regolatoria dell'attività di altri geni.

Nell'ambito del progetto RIADE dell'ENEA è stato condotto sul grano duro uno studio molecolare di quei geni che a vario livello sono coinvolti nella risposta della pianta alle varie sollecitazioni ambientali e climatiche, quali la siccità, l'alta salinità e le alte temperature.

Nel corso di questo lavoro sperimentale, è stato individuato nel grano duro un nuovo gene, denominato *TdDRF1*, appartenente alla famiglia dei geni DREB correlati allo stress idrico, omologo al gene DREB2A di *Arabidopsis*, e caratterizzato da un meccanismo di splicing alternativo analogo a quello del gene *HvDRF1* di orzo.

Parallelamente allo studio in piante soggette a deidratazione in serra controllata, sono in corso esperimenti in campo con questi e altri genotipi (sperimentali e non) di grano duro, per valutare la modulazione dell'espressione di questo gene in condizioni più vicine possibili alla situazione in campo. Tali esperimenti sono stati condotti sia in Italia che presso i campi sperimentali del CIMMYT in Messico, nell'ambito di una collaborazione in atto con l'ENEA. Sono tuttora in corso prove in campo presso la stazione sperimentale di Obregon, situata nella zona desertica nel nord ovest del Messico.

Altri campi sperimentali sono stati realizzati presso l'ENEA Casaccia e presso il CRAS (Centro Regionale Agrario Sperimentale, Sardegna) con l'obiettivo di testare situazioni di campo in ambiente mediterraneo più variabile.



Sempre nell'ambito del progetto RIADE dell'ENEA, oltre alle varietà di grano, sono state studiate altre specie di interesse agronomico per un programma di breeding orientato a selezionare quelle varietà capaci di adattarsi meglio ai cambiamenti climatici in atto.

Si tratta di specie già particolarmente adatte agli ambienti del sud Italia, come: Lenticchia *Lens esculentum* (culinaria), vari tipi di Fava (*Vicia faba major*, *Vicia faba minor*) e di Lupino (*Lupinus albus* e *Lupinus angustifolius*), Orzo (*Hordeum vulgare*), Cece (*Cicer arietinum*), Carciofo (*Cynara scolymus*), Brassica (*Brassica carinata*) e Cartamo (*Carthamus tinctorius*).

### *Conclusioni*

Alla luce delle valutazioni svolte è possibile sostenere che i cambiamenti climatici accentueranno i processi di desertificazione in atto nell'area del Mediterraneo ed influenzeranno tutte le componenti dell'ecosistema agricolo europeo. Nelle aree del nord il cambiamento climatico potrebbe comportare effetti positivi sull'agricoltura attraverso l'introduzione di nuove specie e varietà di colture, incrementi nella produzione ed espansione delle aree di coltivazione. Gli svantaggi potrebbero riguardare, invece, la necessità di aumentare la protezione delle piante, il rischio di perdita di sostanze nutritive e organiche nel suolo. Nelle aree del sud gli svantaggi saranno predominanti. La possibile riduzione delle risorse idriche e l'incidenza di eventi atmosferici estremi potrebbe causare una diminuzione delle rese e un aumento della variabilità delle stesse, nonché una riduzione delle aree adatte alle colture tradizionali. Ciò potrebbe consolidare l'attuale tendenza al ricorso ad un'agricoltura intensiva nell'Europa nord-occidentale e il ricorso ad un'agricoltura estensiva nelle aree sud-orientali e mediterranee. Sarà dunque necessario introdurre delle strategie di adattamento per ridurre o evitare gli effetti negativi del cambiamento climatico sia a breve termine (cambiamento nelle specie coltivate, cultivar e date di semina) che a lungo termine (destinazione d'uso del suolo e sistema agricolo). La ricerca in agricoltura condotta a livello Europeo e l'industria agro-alimentare, possiedono il necessario know-how che, attraverso il trasferimento delle più moderne tecnologie e la promozione delle innovazioni, potrebbe migliorare la capacità adattativa nelle regioni meno sviluppate che, in generale, saranno più severamente colpite dall'impatto climatico.

Tra gli scenari «destabilizzanti» previsti, se ne sottolineano in particolare due:

– Shock climatico: il fattore che maggiormente influenzerà l'agricoltura nei prossimi 20 anni sarà il cambiamento climatico e una mancanza di intervento a livello europeo comporterà inevitabilmente una situazione di crisi. Sono pertanto necessarie delle azioni di intervento a livello nazionale e locale.

– Cooperazione con la natura: una stretta collaborazione tra scienza, società e tecnologia è la chiave verso lo sviluppo sostenibile. Ciò comporterà una transizione verso produzioni su piccola scala e l'abbreviazione della filiera alimentare.

È evidente che desertificazione e gestione sostenibile degli agro-ecosistemi sono aspetti strettamente connessi. Le esperienze maturate nel corso di diversi progetti di ricerca, tra questi in particolare il progetto RIADE, evidenziano che gli interventi di recupero e mitigazione dei processi di degrado quali-quantitativo delle risorse naturali, che generano il fenomeno della desertificazione, non sono altro che interventi di gestione sostenibile degli agro-ecosistemi. Pertanto l'obiettivo è fornire strumenti per la pianificazione e gestione sostenibile degli interventi sul territorio, a fronte dei cambiamenti climatici attesi e dei relativi impatti.

Un nuovo approccio per la gestione sostenibile dell'agricoltura e degli agro-ecosistemi è pertanto una scelta obbligata.

Risulta necessario dar luogo a cambiamenti in grado di promuovere l'adattamento alle nuove esigenze, una riorganizzazione del sistema agricolo e la messa a punto di strumenti per misurare l'entità del cambiamento, con un forte impulso della ricerca integrata e multidisciplinare. Ciò può concretizzarsi attraverso le seguenti proposte operative:

1. Mantenimento e implementazione di reti di osservazione per il monitoraggio a lungo termine di parametri significativi e lo studio della variabilità climatica e ambientale a scale differenti (mediterraneo, nazionale e locale); supporto ad una gestione coordinata dei dati per dare continuità e consistenza alle valutazioni di impatto a scala nazionale e locale;

2. Analisi dello stato attuale del territorio con produzione di cartografia a scala nazionale su alcune tipologie di processi ambientali, influenzati dai cambiamenti climatici (es. evidenza dei riscontri empirici su desertificazione, agricoltura, ecc.), in grado di offrire un quadro conoscitivo del territorio univoco ed organico a scala nazionale, quale base per un'analisi strategica;

3. Sviluppo di modelli accoppiati (idrosfera, atmosfera, biosfera) a scala mediterranea e locale per lo studio dell'evoluzione del clima nel prossimo futuro;

4. Definizione degli scenari di impatto sul territorio italiano, attraverso l'utilizzo dei suddetti modelli, integrati con l'analisi del danno potenziale sugli elementi a rischio (popolazione, strutture, infrastrutture) – Analisi della vulnerabilità;

5. Definizione dei migliori interventi di gestione sostenibile degli ecosistemi per la lotta alla desertificazione, attraverso una valutazione di compatibilità non solo ambientale, ma anche socio-economica per la esatta determinazione dei costi e dei relativi benefici.

Occorre quindi mettere in campo «*strategie di mitigazione ed adattamento flessibile*», in funzione della resistenza e resilienza dei diversi ecosistemi naturali e delle specifiche relazioni con l'attività antropica sul territorio.

BIBLIOGRAFIA

- Antonioli F., Silenzi S., Gabellino M., Mucedda M., 2005 - High resolution climate trend over the last 1000 years from a stalagmite in Sardinia (Italy) *Quaternaria Nova*, VII, 35-48.
- Artuso F., Chamard P., Piacentino S., di Sarra A., Meloni D., Monteleone F., Sferlazzo D. M., Thierry F., 2007 - Analysis of Atmospheric Methane Measurements in Lampedusa during 1995-2005, *Atmospheric Environment*, in press.
- Colonna N., Palucci A., Iannetta M., a cura di, 2006 - Salinizzazione e qualità delle acque: ipotesi di mitigazione. ENEA, ISBN 88-8286-191-0, Roma.
- Giordano L., Giordano F., Grauso S., Iannetta M., Sciortino M., Bonati G., Borfecchia F., De Cecco L., Felici F., Martini S., Schino G., 2002 - Desertification vulnerability in Sicily (Southern Italy). Congress Proceeding: 52-53, (2nd International Conference «New trends in water and environmental engineering for safety and life», Giugno 2002), ISBN 88-900282-2-X.
- Giordano L., Trotta C., Menegoni P., Schino G., Forfecchia F., 2006 - Nuove tecnologie per lo studio della vegetazione in relazione ai cambiamenti climatici. ENEA, ISBN 88-8286-153-8, Roma.
- Giraudi C. & Frezzotti M., 1997 - Late Pleistocene glacial events in the Central Apennine, Italy. *Quaternary Research*, 48 (3), 280-290.
- Iannetta M., Enne G., Zucca C., Colonna N., Innamorato F., Di Gennaro A., 2005 - Il progetto Riade: i processi di degrado delle risorse naturali in Italia ed i possibili interventi di mitigazione. In: «Lotta alla siccità e alla desertificazione», a cura di P. Gagliardo. *Geotema* 25: 99-108.
- Iannetta M., 2006 - La desertificazione in Italia e il progetto Riade. ENEA, ISBN 88-8286-143-0, Roma.
- IPCC 4<sup>th</sup> Assessment Report «Climate Change 2007».
- Latini A., Sperandei M., Rasi C., Cantale C., Sharma S., Arcangeli C., Iannetta M., Dettori M., Ammar K., Galeffi P., 2005 - Molecular responses to water-stress: Expression of the *tdr1* gene in four durum wheat and one triticale genotypes. *J. Experimental Botany*, December 2005.
- Sciortino M., Iannetta M., *et al.*, 2002 - Individuazione delle zone sensibili alla desertificazione nella regione Siciliana. In «Valutazione e mitigazione della desertificazione nella Regione Sicilia: un caso di studio», pagg. 27-47. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. ISBN 88-8286-015-9. Novembre 2002.
- Sciortino M., G. Fattoruso, E. Caiaffa, G. Salvetti, M. Bucci, 2007 - Draft simulation tools for water availability and demand analysis, Project DeSurvey Deliverable n° 1.6.1.4, 2007.
- Silenzi S., Antonioli F., Chemello R., 2004 - A new marker for sea surface temperature trend during the last centuries in temperature areas: vermetid reef. *Global and Planetary Change*, 40, 105-114.
- Sparnocchia S., Schiano M.E., Picco P., Bozzano R., Cappelletti A., 2006 - The anomalous warming of Summer 2003 in the surface layer of the Ligurian Sea (Western Mediterranean). *Ann. Geophys.* 24: 443-452.
- Dossier su «ENEA per lo studio dei cambiamenti climatici e dei loro effetti» realizzato con il coordinamento di M. Garozzo ed i contributi di: F. Antonioli, V. Artale, C.A. Campiotti, S. Cocito, R. Delfanti, N. Colonna, B. Della Rocca, G. Delmonaco, G. Di Sarra, M. Frezzotti, C. Giraudi, M. Iannetta, C. Margottini, S. Marullo, P. Menegoni, B. Narcisi, A. Peirano, P. Picco, P. M. Ruti, M. Sciortino, M. V. Struglia, E. Valpreda, V. Verrubbi. Workshop ENEA 20.03.2007.