

# LA RISPOSTA AL CAMBIAMENTO CLIMATICO IN ITALIA

Vulnerabilità climatica

Valutazioni socio-economiche delle strategie di adattamento

Misure di mitigazione forestale



*L'ENEA è un ente di diritto pubblico operante nei campi della ricerca e dell'innovazione per lo sviluppo sostenibile finalizzata a promuovere insieme gli obiettivi di sviluppo, competitività e occupazione e quello della salvaguardia ambientale. Svolge altresì funzioni di agenzia per le pubbliche Amministrazioni mediante la prestazione di servizi avanzati nei settori dell'energia, dell'ambiente e dell'innovazione tecnologica.*

*La Fondazione Eni Enrico Mattei è un'istituzione non-profit, non partisan, che svolge ricerca su economia, energia e ambiente. Riconosciuta dal Presidente della Repubblica nel luglio 1989, è diventata leader internazionale nella ricerca sullo sviluppo sostenibile.*

*Questo volume è stato realizzato nell'ambito dell'Accordo di Programma tra l'ENEA e il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. Si ringraziano la Dr. Orietta Casali, l'Ing. Susanna Del Bufalo e l'Ing. Giampaolo Valentini dell'ENEA e il Dr. Giorgio Vicini della Fondazione Eni Enrico Mattei per il coordinamento editoriale.*

*Vietata la riproduzione, anche parziale, del presente volume senza autorizzazione scritta dell'ENEA.*

# Indice

---

Premessa .....	Pag.	5
I problemi di impatto ambientale dei cambiamenti climatici in Italia .....	"	9
<i>Dr. Vincenzo Ferrara, ENEA</i>		
Vulnerabilità delle coste italiane: Rischio di allagamento da parte del mare .....	"	19
<i>Dr. Fabrizio Antonioli, ENEA</i>		
Il contributo del GIS alla modellazione delle dinamiche territoriali: Il caso di studio della Piana di Fondi .....	"	25
<i>Dr. Emanuela Caiaffa, ENEA</i> <i>Dr. Gabriele Leoni, libero professionista</i>		
La sensibilità alla desertificazione della Regione Sicilia .....	"	33
<i>Dr. Maurizio Sciortino, ENEA</i>		
Valutazione economica degli impatti attesi dei cambiamenti climatici e dell'adattamento: il caso italiano. ....	"	43
<i>Dr. Gretel Gambarelli e Dr. Alessandra Goria, Fondazione Eni Enrico Mattei</i>		
Valutazione delle attività forestali nelle strategie di mitigazione dei cambiamenti climatici previste dal Protocollo di Kyoto .....	"	73
<i>Prof. Davide Pettenella, Dr. Elisa Zanolini e Dr. Francesco Pauli, Fondazione Eni Enrico Mattei</i>		
Allegato. Piana di Fondi: Carta del rischio per la risalita del livello del mare		



## Premessa

---

*L'obiettivo finale della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC) è di stabilizzare le concentrazioni nell'atmosfera dei gas ad effetto serra ad un livello tale da impedire pericolose interferenze di origine umana con il sistema climatico. Questo livello dovrà essere raggiunto in un periodo di tempo sufficiente per consentire agli ecosistemi di adattarsi in modo naturale ai cambiamenti climatici, per assicurare una produzione alimentare esente da rischi e per rendere possibile una crescita socio-economica sostenibile.*

*Per raggiungere questi obiettivi, nel 1997 con il Protocollo di Kyoto sono state delineate le seguenti strategie principali, messe a punto nel corso delle successive Conferenze delle Parti dell'UNFCCC:*

- 1) **strategia di mitigazione:** agisce sulle cause dei cambiamenti climatici riducendo non solo le emissioni antropogeniche di gas di serra, ma anche aumentando la capacità di assorbimento dei cosiddetti "sinks" naturali e in particolare i "sinks" forestali;*
- 2) **strategia di adattamento:** agisce sugli effetti dei cambiamenti climatici prevenendone le conseguenze negative e minimizzandone i possibili danni.*

*A partire dal 1997, la comunità scientifica e i decisori politici hanno concentrato il loro interesse soprattutto sulla valutazione delle misure di mitigazione e sui risvolti che queste comportano sui sistemi di produzione e di utilizzo dell'energia da combustibili fossili. L'attenzione è stata rivolta principalmente alla determinazione della misura ottima di abbattimento dei livelli di gas ad effetto serra, generalmente tramite l'applicazione dell'analisi costi-benefici a scenari che ipotizzano diversi livelli di abbattimento e la successiva individuazione dello scenario che comporta il maggior beneficio netto. Più limitata è stata, invece, l'attenzione alle strategie di adattamento e la loro efficienza in termini economici.*

*La collaborazione tra l'ENEA, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente e la FEEM, Fondazione Eni Enrico Mattei, nasce proprio dall'esigenza di avviare un'analisi sulla vulnerabilità dell'Italia al cambiamento climatico e identificare strumenti socio-economici per la valutazione delle diverse misure di adattamento. L'originalità dell'argomento, unita alla consapevolezza della difficoltà dei temi da considerare, non potevano non suggerire un obiettivo dai caratteri ancora preliminari, foriero tuttavia di ulteriori sforzi e approfondimenti.*

*Tale collaborazione ha dato modo di sperimentare un approccio originale e multidisciplinare, integrando il lavoro di ricercatori di scienze del clima con l'indagine socio-economica. L'analisi è stata condotta dapprima a scala nazionale, attraverso lo studio della letteratura esistente in materia di impatti dei cambiamenti climatici, quindi tra-*

*mite due studi-pilota, uno relativo all'innalzamento del mare e l'altro relativo agli effetti della desertificazione in Sicilia. Per il primo caso è stata scelta la piana di Fondi, situata a sud di Roma. Il secondo riguarda uno studio di fattibilità di analisi socio-economica su tre comuni siciliani: Licata, Cammarata e Ribera.*

*Sulla base di risultati prodotti dai ricercatori dell'ENEA, attraverso i due casi studio, la FEEM ha proposto possibili metodologie di valutazione dei costi di adattamento associati alla variazione della vulnerabilità climatica, facilmente replicabili in altre aree minacciate dagli stessi rischi.*

*L'analisi mostra che i settori più vulnerabili in Italia sono l'agricoltura, il turismo, l'industria, il settore assicurativo, la salute. Il territorio italiano sarà influenzato in modo diverso dagli impatti climatici, in ragione delle caratteristiche geografiche ed economiche locali. Le aree più a rischio risultano essere le zone costiere e montane in aggiunta alle zone del sud in quanto più legate all'agricoltura.*

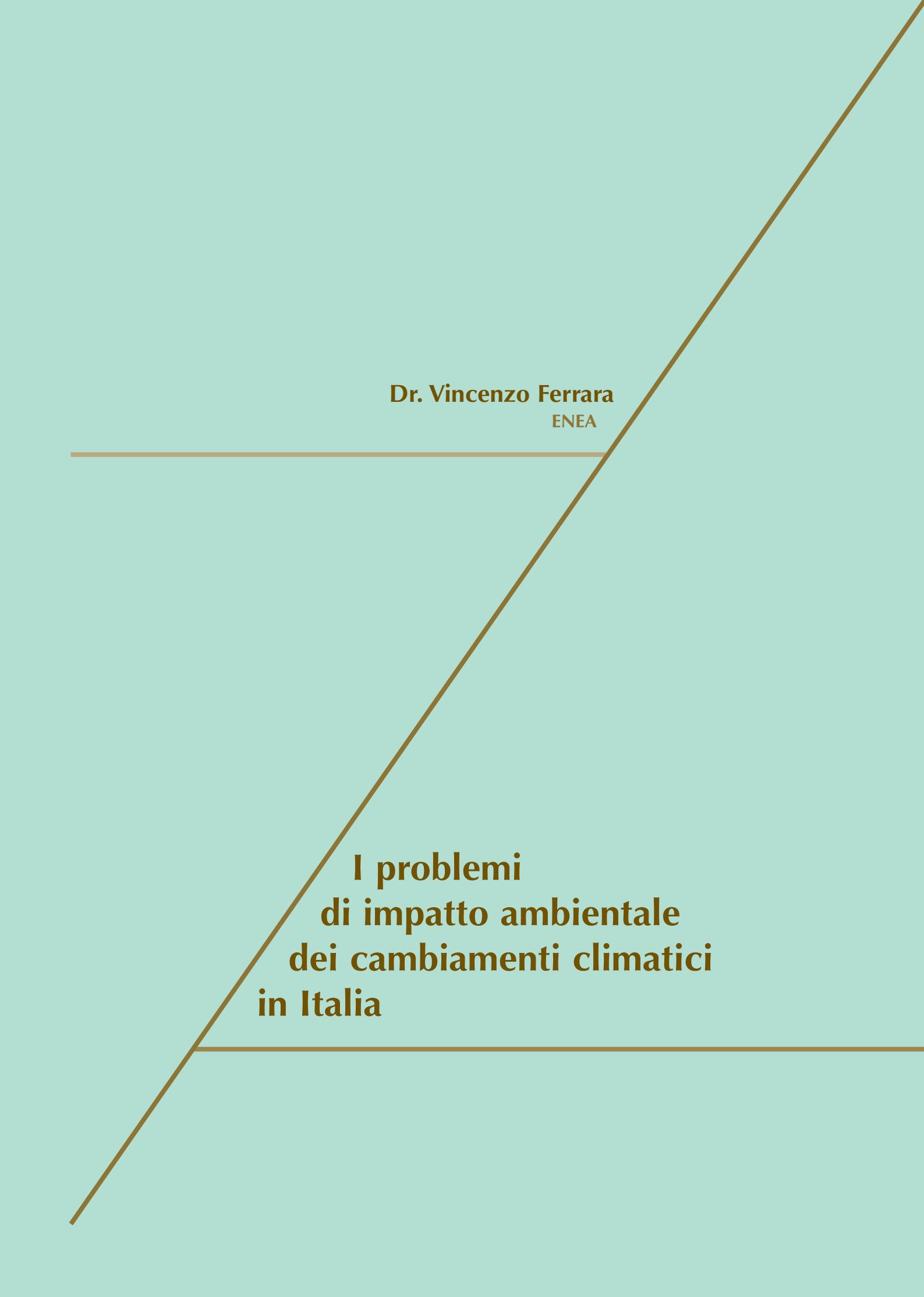
*Un comportamento preventivo più attivo può aiutare ad attenuare i rischi legati al riscaldamento globale. Sono auspicabili ulteriori sforzi, volti ad indagare in modo più approfondito gli impatti su singoli settori economici. Specifiche politiche di adattamento dovranno essere messe in atto. A tal fine, un approccio consigliabile potrebbe essere quello di rapportare i costi ai benefici, non solo economici, di misure di adattamento alternative per ogni tipologia d'impatto, considerando le specificità nazionali e locali, tramite l'ausilio di tecniche di valutazione economica quali l'analisi costi-benefici, costi-efficacia o a molti obiettivi. In questo modo, ai policy makers sarebbero fornite le informazioni fondamentali per affrontare con maggior consapevolezza le nuove sfide poste dai cambiamenti climatici.*

*Per quanto riguarda, infine, la strategia di mitigazione, alla luce degli accordi di Marrakesh, che prevedono la creazione di un mercato che possa remunerare sia gli investimenti in campo del risparmio e della razionalizzazione dei consumi energetici, sia quelli connessi alla creazione di sink di carbonio, si è ritenuto opportuno inserire nella collaborazione ENEA-FEEM uno studio per valutare le misure di Land-use Change forestali.*

*Sono state analizzate in particolare le misure forestali attivabili in Italia e il contributo che tale settore può dare al bilancio dei gas di serra per il raggiungimento degli obiettivi di riduzione e i costi delle diverse linee di intervento. Non è facile, ad oggi, effettuare una quantificazione dei costi. Gli strumenti per determinare l'entità degli sforzi economici proposti nel presente studio sono suscettibili di ulteriori perfezionamenti. Per quanto riguarda l'Italia si è stimato che la possibilità di ricorrere ad interventi forestali per adempiere agli obblighi potrebbe portare ad una diminuzione dell'onere tra il 9 e il 15%.*

*Le "Kyoto forests" già create in vari Paesi hanno per lo più un carattere volontario e sono state realizzate nella prospettiva di anticipare una legislazione che richiederà ai produttori di gas serra l'obbligo di realizzare investimenti compensativi. Un quadro di regole che dia garanzie di trasparenza e correttezza è l'elemento chiave sul quale gli sforzi negoziali dovranno essere ulteriormente indirizzati.*

*dr. Vincenzo Ferrara, Direttore Progetto Speciale Clima Globale, ENEA  
dr. Alessandro Lanza, Direttore FEEM*



**Dr. Vincenzo Ferrara**  
ENEA

**I problemi  
di impatto ambientale  
dei cambiamenti climatici  
in Italia**



# I problemi di impatto ambientale dei cambiamenti climatici in Italia

---

## Introduzione

Prima di delineare i possibili futuri cambiamenti del clima non solo a scala globale, ma soprattutto nell'area mediterranea ed in Italia, è opportuno richiamare le principali conclusioni raggiunte dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). L'IPCC è un organo scientifico consultivo delle Nazioni Unite istituito nel 1988, per valutare, sulla base delle migliori conoscenze scientifiche esistenti, la situazione attuale del clima, le prospettive future ed i problemi connessi in relazione sia alle eventuali conseguenze dei cambiamenti climatici, sia alle opzioni e strategie di risposta per mitigare i possibili cambiamenti del clima e per minimizzarne gli eventuali prevedibili danni.

La comunità internazionale di esperti e scienziati che ha partecipato ai lavori dell'IPCC, pur riconoscendo le incertezze che esistono sulle conoscenze del sistema climatico e della sua evoluzione in relazione a perturbazioni provenienti dalle attività umane, tuttavia è convinta che cambiamenti del clima globale sono già in corso e sono attribuibili prevalentemente a fattori umani.

Siccome esistono lunghi tempi di ritardo fra cause ed effetti nei processi climatici, la comunità IPCC è anche convinta che i futuri cambiamenti climatici saranno ormai inevitabili. L'unica azione efficace che allo stato attuale si può ragionevolmente intraprendere è quella di rallentare e mitigare tali cambiamenti. Con i cambiamenti del clima si produrranno effetti ed impatti di varia entità, alcuni dei quali saranno certamente positivi e benefici, ma altri saranno negativi, avversi e irreversibili. Le maggiori conseguenze negative saranno subite da quei sistemi ambientali, ecologici, sociali ed economici che sono più vulnerabili ai cambiamenti climatici, sistemi che riguardano prevalentemente i Paesi in via di sviluppo.

Nella Sessione Plenaria di Wembley del 24-29 settembre 2001 e nella Conferenza delle Parti della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (sigla: UN-FCCC) di Marrakesh del 29 settembre - 10 novembre 2001, per l'attuazione del Protocollo di Kyoto, l'IPCC ha affermato, tra l'altro, quanto segue:

- 1) Il cambiamento del clima non è solo un problema ambientale, ma è il problema cruciale dello sviluppo sostenibile.
- 2) Il sistema climatico globale ha mostrato in questi ultimi 150 anni, ed in particolare in questi ultimi 25 anni, dei cambiamenti le cui cause sono largamente attribuibili alle attività umane. Analogamente il sistema ambientale e sociale globale è andato incontro in questi stessi periodi ad una crescente vulnerabilità derivante soprattutto dall'acuirsi di fenomeni meteorologici e climatici estremi in conseguenza dei cambiamenti climatici in atto.
- 3) La concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera, il principale gas ad effetto serra (che è aumentata mediamente del 30% in questi ultimi secolo, ma che sta aumentando in questi ultimi anni al ritmo dell'1% per anno), è destinata ad aumen-

tare a tassi sempre più elevati in futuro, se le tendenze attuali non saranno modificate. Tale crescita è causata soprattutto allo squilibrio complessivo tra emissioni globali di anidride carbonica provenienti dalle attività umane ed assorbimenti globali naturali da parte del suolo degli oceani e degli ecosistemi terrestri e marini. Attualmente, infatti, le capacità "naturali" attuali globali (denominati "sinks" globali) sono in grado di assorbire solo circa la metà delle emissioni antropogeniche globali, il resto si accumula in atmosfera e vi permane per periodi medi compresi fra 70 e 100 anni e comunque compresi fra un minimo di 5 anni e un massimo di 200 anni.

- 4) La stabilizzazione delle emissioni di anidride carbonica agli attuali livelli o ai livelli di emissione del 1990 non porterà alla stabilizzazione delle concentrazioni di anidride carbonica nell'atmosfera. Viceversa, la stabilizzazione delle emissioni di gas serra a breve vita (come il metano ed il protossido di azoto) porterà anche alla stabilizzazione delle concentrazioni di tali gas serra in aria nel giro di alcuni decenni.
- 5) Dopo la stabilizzazione in atmosfera delle concentrazioni di anidride carbonica e degli altri gas di serra, la temperatura continuerà a crescere ugualmente e si stabilizzerà con un ritardo valutato in 70 anni o più dopo la stabilizzazione delle concentrazioni in aria.
- 6) È necessario rallentare il più possibile i cambiamenti climatici (strategie di mitigazione che agiscono sulle cause) per avere tempo sufficiente all'adattamento (strategie di adattamento che agiscono sugli effetti e sulla minimizzazione dei possibili danni). Più efficace è l'azione sulle cause, più facile ed effettiva sarà l'azione sugli effetti. Allo stato attuale, le strategie di adattamento ai cambiamenti climatici, sia a livello nazionale sia a livello globale, sono fondamentali tanto quanto quelle di mitigazione.
- 7) I costi delle strategie di mitigazione e di adattamento dipendono da molti fattori, tra cui le condizioni di sviluppo socio-economico, la vulnerabilità ambientale e territoriale ai cambiamenti climatici, la disponibilità di tecnologie avanzate e nuove tecnologie, il know-how e le capacità organizzative, di intervento, le capacità infrastrutturali, ecc. IPCC valuta orientativamente che i costi medi complessivi si aggirino su qualche punto percentuale del PIL per i Paesi industrializzati, e possano essere maggiori per i Paesi in via di sviluppo. Tali costi si possono dimezzare o ridurre comunque drasticamente, se le strategie di mitigazione ed adattamento ai cambiamenti climatici diventano parte integrante delle strategie di sviluppo socio-economico nazionale.

## Le prospettive di cambiamento climatico globale

Per valutare come cambierà il clima nel futuro a causa delle attività umane è necessario formulare alcune ipotesi, ciascuna delle quali, attraverso opportuni modelli di evoluzione del sistema climatico, porta ad una serie di scenari climatici possibili, a cui associare le corrispondenti valutazioni di impatto ambientale e socio-economico.

In base agli studi a carattere modellistico (analitico e previsionale) attualmente esistenti ed ai risultati finora conseguiti di simulazione numerica, la problematica dell'evoluzione futura del clima appare abbastanza complessa e dipendente da numerosi fattori non solo di tipo scientifico, ma anche da ipotesi di sviluppo economico e demografico del pianeta. Le indicazioni che si ricavano dalle analisi condotte da IPCC, possono così sintetizzarsi:

*Il problema delle proiezioni future.* Da un punto di vista generale, anche se avessimo un modello di previsioni climatiche perfetto, le proiezioni sul clima del futuro, comunque, dipenderebbero molto dalle ipotesi di crescita della popolazione, di uso delle risorse e, complessivamente dallo sviluppo socio-economico mondiale. Poiché i modelli analitici e previsionali del clima sono molto lontani dal considerarsi perfetti, le proiezioni

future dipendono anche dal tipo di modello e dalle simulazioni modellistiche utilizzate nei modelli. Per distinguere gli errori degli scenari dagli errori dei modelli e ridurre al minimo le incertezze, si è proceduto a fissare un determinato scenario di sviluppo socio-economico (ipotesi di sviluppo) e su ognuno di questi scenari (ognuna delle ipotesi di sviluppo) si sono analizzate le diverse proiezioni che i diversi modelli del clima forniscono. In questo contesto il risultato generale acquisito è che, nel periodo che va dal 1999 al 2100, la temperatura media globale del nostro pianeta potrebbe aumentare, per cause dovute alle attività umane, da un minimo di 1.4°C (caso più ottimistico) ad un massimo di 5.8°C (situazione più pessimistica). Il ciclo effettivo dell'acqua (ancora non ben simulato) ed i sistemi idrologici terrestri (soggetti a fluttuazioni) possono però indurre errori su questa valutazione, errori che a livello globale sono da considerarsi abbastanza contenuti, ma che invece a livello sub-continentale e locale possono portare: o ad una esaltazione del fenomeni di riscaldamento, o ad una riduzione degli stessi.

*Proiezioni future con fenomeni transienti.* Se si analizzano le proiezioni future partendo dall'ipotesi di crescita dell'1% per anno della concentrazione atmosferica di anidride carbonica (che è più o meno il tasso di crescita attuale) si ricava che fra circa 70 anni, quando la concentrazione atmosferica di anidride carbonica sarà circa doppia di quella attuale, la temperatura media del pianeta sarà aumentata di circa 2°C. Ma, la temperatura continuerà ad aumentare ancora, anche se tale concentrazione doppia non cambierà più. La temperatura, infatti, continuerà ad aumentare per i successivi 70-100 anni di circa 1.5°C, fino a portarsi a circa 3.5°C, rispetto alla situazione attuale, nel 2140-2170. In altre parole, vi è un ritardo tra stabilizzazione delle concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica e stabilizzazione della crescita della temperatura. Nel caso in cui la crescita della concentrazione atmosferica di anidride carbonica non si dovesse fermare ma continuasse ancora fino a quadruplicare, la temperatura continuerebbe a crescere costantemente portandosi a 3.5°C al 2100 e a circa 5.5°C nel 2150, per poi stabilizzarsi intorno ai 7°C dopo il 2200. In questo caso la concentrazione atmosferica diventerebbe quadrupla rispetto ai valori attuali nel 2150 per rimanere stazionaria senza ulteriori cambiamenti dopo il 2150. Anche in questo caso tra momento della stabilizzazione delle concentrazioni in aria (anno: 2150) e momento della stabilizzazione della temperatura (anni: 2220-2250) intercorrono 70-100 anni, durante i quali la temperatura continua ancora a crescere di circa 1.5°C prima di stabilizzarsi.

*Discrepanza fra le proiezioni future.* La discrepanza sui risultati e sulle valutazioni di riscaldamento globale dipendono non solo dalle ipotesi sugli scenari di sviluppo socio-economico e dalle caratteristiche dei vari modelli di proiezione, ma anche sul tipo di simulazioni che tali modelli considerano (successione di situazioni di equilibrio climatico o transienti in disequilibrio che evolvono verso una situazione di equilibrio). Anche se tra situazioni di equilibrio e situazioni transienti (che raggiungono l'equilibrio) i risultati in definitiva risultano più o meno gli stessi, sono invece diversi i tempi entro cui il riscaldamento globale avverrebbe. Gli aumenti di temperatura in corrispondenza di aumenti di concentrazione dell'anidride carbonica avvengono con ritardi (sfasamenti) di qualche decina o anche di qualche centinaio di anni, a seconda del tasso di crescita dell'anidride carbonica atmosferica. Nel caso di tasso di crescita dell'1% per anno, il ritardo è valutabile in 70-100 anni.

*Incrementi di temperatura e precipitazioni.* La valutazione dei cambiamenti nel regime delle precipitazioni, essendo questo un fenomeno molto variabile, deve considerare medie temporali (su archi di tempo almeno decennali o ultradecennali) oltre che medie spaziali. Le precipitazioni medie globali, considerate su archi di tempo ventennali, tendono a crescere fino a raggiungere nel 2060-2080 (periodo nel quale si raddoppia la concentrazione atmosferica di anidride carbonica) un incremento (medio globale e medio ventennale) del 2.4%, rispetto alla situazione attuale. Questo incremento appare più accentuato nelle medie ed alte latitudini e molto meno alle basse latitudini dove prevale viceversa la diminuzione. L'intensità delle precipitazioni estreme tende ad aumentare ad

un ritmo maggiore rispetto al ritmo di aumento delle precipitazioni medie totali e tende ad aumentare parallelamente la probabilità di occorrenza di tali fenomeni estremi

*Innalzamento del livello del mare.* Le proiezioni future indicano che il livello del mare al 2090 aumenterà complessivamente da un minimo di circa 20 cm ad un massimo di circa 50 cm. Tale massimo potrebbe portarsi anche a 75 cm nel 2100 nel caso che la temperatura media globale tendesse ad aumentare più di 2°C. All'innalzamento del livello del mare contribuiscono diverse cause, quali: l'espansione termica degli oceani, lo scioglimento dei ghiacciai delle medie e basse latitudini, lo scioglimento delle calotte polari. I diversi contributi sono così suddivisi (il segno + indica contributo positivo all'innalzamento del livello del mare, il segno - viceversa). Espansione termica: da +20 a +37 cm; Contributo ghiacci artici: da +2 a +5 cm; Contributo ghiacci antartici: da -8 a -2 cm; Contributo di tutti gli altri ghiacciai (esclusi quelli polari): da +8 a +11 cm. In pratica, l'espansione termica degli oceani è la fondamentale causa di innalzamento del livello marino. A livello regionale l'innalzamento del livello del mare è diverso a seconda delle diverse regioni del globo. Nel Mediterraneo tale innalzamento dovrebbe essere contenuto entro i 20-30 cm al 2090.

*Altri cambiamenti.* Con l'aumento della temperatura media globale e con la maggiore capacità termica/energetica del sistema climatico, tenderebbe, secondo molti modelli, ad aumentare la variabilità di "el nino" sia in termini di frequenza che di intensità, ma le incertezze in tali simulazioni sono ancora molto elevate per poter ritenere questa conclusione affidabile. Lo studio e le analisi attraverso simulazioni modellistiche sull'eventuale aumento dei cicloni extra-tropicali (perturbazioni meteorologiche delle medie ed alte latitudini) e delle situazioni meteorologiche di blocco, ha dato risultati contraddittori. Lo stesso studio condotto sui cicloni tropicali (perturbazioni spesso violente come: uragani, tifoni, ecc.) mostrerebbe la possibilità di un aumento sia della frequenza che dell'intensità di tali fenomeni, ma al momento attuale questi risultati non possono considerarsi conclusivi.

In relazione alle emissioni antropiche di anidride carbonica ed in base a questi scenari di evoluzione futura del clima, l'IPCC ha espresso le seguenti considerazioni ai fini dell'attuazione del Protocollo di Kyoto:

- 1) Poiché le emissioni globali di anidride carbonica (il principale gas serra) sono attualmente circa doppie delle capacità naturali del pianeta di assorbire l'anidride carbonica atmosferica, l'eccesso non assorbito tende a permanere in atmosfera per periodi di tempo medi attorno ai 70-100 anni e ad accumularsi. Di conseguenza l'IPCC ritiene necessaria già da subito una riduzione delle emissioni di anidride carbonica di almeno il 50% (ma realtà, oltre il 50% se si tiene conto degli accumuli passati) per rientrare nell'equilibrio naturale complessivo del sistema climatico.
- 2) La stabilizzazione delle emissioni di anidride carbonica agli attuali livelli (o ai livelli del 1990 come in discussione nei negoziati internazionali sul clima) non porterà alla stabilizzazione delle concentrazioni di anidride carbonica nell'atmosfera ma, stante il disequilibrio tra emissioni globali ed assorbimenti globali, ad una sua crescita continua che dipende dal tasso di accumulo in atmosfera e dalla vita media dell'anidride carbonica (intorno al centinaio di anni). Viceversa, la stabilizzazione delle emissioni di gas serra a breve vita (come il metano ed il protossido di azoto) porterà anche alla stabilizzazione delle concentrazioni di tali gas serra in aria ma solo dopo alcuni decenni.
- 3) Dopo la stabilizzazione in atmosfera delle concentrazioni di anidride carbonica e degli altri gas di serra, la temperatura continuerà a crescere ugualmente e si stabilizzerà con un ritardo valutato in 70 anni o più, dopo la stabilizzazione delle concentrazioni in aria. Attualmente, quindi, possiamo solo rallentare più o meno i possibili cambiamenti climatici futuri dovuti a cause antropiche, ma non eliminarli.

## Gli impatti dei cambiamenti climatici in Europa e nel Mediterraneo

Per quanto riguarda gli impatti, ovvero le conseguenze ambientali derivanti dai possibili cambiamenti climatici, con particolare attenzione all'Europa, si riportano, anche qui, alcune valutazioni che rappresentano piuttosto delle tendenze future, in relazione alla sensibilità dei sistemi ambientali e socioeconomici europei ed alle capacità di adattamento di tali sistemi alle variazioni climatiche. Anche a causa degli errori insiti in tali valutazioni, non si fa riferimento ad uno specifico scenario di cambiamento climatico ma piuttosto ad uno scenario medio. Infatti, si prevede che, comunque, la concentrazione dei gas-serra in atmosfera crescerà nel prossimo secolo, l'unica differenza è rappresentata dall'entità di questo aumento che varia da scenario a scenario. Anche nel caso del tutto teorico di cessazione della crescita della popolazione mondiale (popolazione mondiale costante) e di cessazione dello sviluppo socio-economico dei paesi industrializzati (crescita economica zero dei paesi industrializzati), i gas-serra in atmosfera comunque aumenteranno (a meno di rivoluzioni tecnologiche tali da rendere residuali le emissioni di gas di serra) se le condizioni di vita e di qualità della vita dei paesi in via di sviluppo, come è loro diritto, devono migliorare (condizioni che riguardano attualmente ben l'ottanta per cento della popolazione mondiale).

Gli estremi meteorologici attuali producono in Europa conseguenze sull'ambiente naturale e sui sistemi economici e sociali. La rilevanza di tali conseguenze dipende dalla sensibilità e dalla vulnerabilità che tali sistemi hanno rispetto ai cambiamenti climatici. In alcuni casi tali conseguenze si aggraveranno, in altri si attenueranno. Le valutazioni che seguono cercano di fornire un quadro complessivo in tal senso.

*Risorse idriche.* La attuale, ed ancor più la futura, pressione antropica sulle risorse idriche ed in particolare sul loro uso e sulla loro gestione, tenderà a diventare più acuta con i cambiamenti climatici. I rischi da alluvioni e da inondazioni tenderanno ad aumentare ed aumenteranno anche i rischi di disponibilità di adeguate risorse idriche, in particolare sul sud Europa e nell'area mediterranea. I cambiamenti climatici tenderanno ad aumentare le differenze tra nord e sud Europa (eccesso di acqua nel nord Europa, mancanza d'acqua nel sud Europa).

*La qualità dei suoli.* La qualità dei suoli tenderà a deteriorarsi in tutta l'Europa. In particolare, nel nord Europa il deterioramento potrà essere provocato principalmente dal maggior dilavamento dei suoli ad opera dell'aumento delle precipitazioni e dei maggiori rischi di alluvione, mentre nel sud Europa, al contrario, il deterioramento potrà essere provocato dalla degradazione dei suoli da erosione e perdita di nutrienti a causa dalla diminuzione delle precipitazioni e dai maggiori rischi di siccità.

*Ecosistemi.* L'aumento della temperatura media e la crescita delle concentrazioni di anidride carbonica in atmosfera possono cambiare gli equilibri degli ecosistemi naturali con modifiche anche nel paesaggio. La vegetazione e gli ecosistemi naturali più tipici dell'area mediterranea tenderanno a spostarsi verso il centro Europa, così come le foreste di conifere e quelle tipiche boreali delle medie latitudini potrebbero prendere il posto della tundra presente attualmente alle più alte latitudini dell'Europa. Nell'area mediterranea, invece, tenderanno sia ad aumentare gli incendi boschivi, sia a crescere i rischi di perdita degli ecosistemi e della biodiversità attuale. Le conseguenze si ripercuoteranno anche sulla fauna e soprattutto su quella migratoria. Si valuta che complessivamente la produttività primaria tenderà a crescere (maggiore presenza di biomassa), ma, salvo una fase transiente (espansione verso nord delle foreste), non cresceranno le riserve complessive di carbonio (sink forestali).

*Agricoltura.* L'aumento di anidride carbonica in atmosfera tenderà ad aumentare la produttività agricola soprattutto del nord e del centro Europa. Nel sud Europa, invece, la riduzione della disponibilità d'acqua e l'aumento della temperatura tenderanno a portare, invece ad un effetto opposto. Complessivamente, l'Europa non subirebbe

modifiche significative nella produttività agricola totale, ma solo una diversa distribuzione. Infatti, il nord Europa, con i cambiamenti climatici riceverebbe degli effetti positivi, mentre il sud Europa, al contrario, degli effetti negativi che tenderebbero complessivamente a bilanciarsi.

*Eventi estremi.* Il probabile aumento della frequenza e della intensità degli eventi meteorologici estremi porterà ad un aumento dei danni economici e sociali sulle strutture ed infrastrutture residenziali e produttive, la cui entità dipende sia dalla vulnerabilità delle singole strutture ed infrastrutture, sia dalla vulnerabilità ambientale e territoriale complessivamente esistente. La crescita di eventi estremi, potrebbe incidere anche direttamente sulle attività produttive modificando le opportunità di alcuni mercati e la domanda di alcuni prodotti.

*Benessere umano.* L'aumento della temperatura tenderà a modificare anche l'uso del tempo libero della popolazione ed in particolare tenderà a stimolare maggiori attività turistiche e ricreative all'aria aperta nel nord Europa ed a ridurle, invece, nel sud Europa. Nell'area Mediterranea in particolare, le più frequenti ondate di calore e di siccità, insieme alla minore disponibilità di acqua potrebbero modificare le attuali abitudini turistiche concentrate soprattutto in estate, così come il minor innevamento e la progressiva ritirata dei ghiacciai potrebbe modificare e ridurre l'abituale turismo invernale alpino.

*Ambiente marino-costiero.* L'aumento del livello del mare comporterà maggiori rischi per le zone costiere europee del mediterraneo. In particolare, si valuta che i maggiori problemi siano nella perdita di zone umide alla foce dei fiumi, nell'invasione di acqua salata nelle falde costiere di acqua dolce con conseguenze sull'agricoltura e sulla disponibilità di acqua dolce, ed infine, nella maggiore e più rapida erosione delle spiagge basse e delle spiagge ottenute con opere di difesa idraulica delle coste o di zone bonificate. Nell'Europa settentrionale, le zone costiere più esposte a rischio di inondazione sarebbero quelle del mar Baltico ed in particolare della Polonia.

## **Problemi critici per l'Italia**

I problemi prioritari che dovrà affrontare l'Europa, ed i Paesi del mediterraneo in particolare, con riferimento alle conseguenze ambientali e socioeconomiche dei cambiamenti climatici, sono così sintetizzabili:

- a) Gli eventi meteorologici ed idrologici estremi ed in particolare la differenza fra abbondanza e scarsità d'acqua fra nord e sud Europa. Questo problema non è semplicemente una questione di bilancio idrologico, ma ha profonde implicazioni sull'agricoltura, la produzione industriale, l'urbanizzazione, il turismo, la salute e non ultimo il settore assicurativo.
- b) Lo spostamento verso nord di tutti i sistemi ecologici ed ambientali naturali che porterebbe a profonde modifiche, anche del paesaggio, in tutta Europa con effetti positivi nel nord Europa ed effetti negativi nel sud Europa soprattutto nei settori dell'agricoltura, del turismo e tempo libero, nel settore residenziale
- c) Le ripercussioni secondarie connesse con gli impatti, quali la perdita della biodiversità e i rischi di desertificazione che interesserebbero soprattutto il sud Europa e l'area mediterranea. Ripercussioni secondarie non trascurabili si avrebbero anche nel campo economico a causa delle modifiche delle opportunità di sviluppo per i vari Paesi europei, soprattutto per quanto riguarda le iniziative economiche, l'occupazione e la distribuzione della ricchezza, opportunità che, a loro volta, coinvolgerebbero anche problemi di equità fra le popolazioni europee. A tal riguardo opportune politiche di adattamento, oltre che di mitigazione, dovrebbero essere intraprese quanto prima.

Per l'Italia, gli impatti ambientali che hanno aspetti di maggiore criticità sono essenzialmente quelli derivanti da:

- innalzamento del livello del mare
- degrado dei suoli e lo spostamento verso nord degli ecosistemi
- eventuale aumento dei fenomeni meteorologici estremi.

### ***Innalzamento del livello del mare***

L'innalzamento del livello del mare sarà diverso a seconda delle diverse regioni del globo. Nel Mediterraneo dovrebbe essere contenuto tra i 20 cm ed i 30 cm al 2090, senza ovviamente considerare i fattori di subsidenza naturale che sono diversi per le diverse zone costiere italiane.

Anche se l'area mediterranea per il momento non appare tra le più critiche per problemi di popolazioni a rischio di inondazione è, comunque fra quelle mondiali a più alta vulnerabilità in termini di perdita di zone umide ed in particolare degli ecosistemi e della biodiversità marino-costiera.

Inoltre, l'invasione marina delle aree costiere basse e delle paludi costiere, accelera l'erosione delle coste, aumenta la salinità negli estuari e nei delta a causa dell'ingresso del cuneo salino, produce una maggiore infiltrazione di acqua salata negli acquiferi della fascia litorale.

Le coste basse sarebbero in ogni caso maggiormente esposte alle inondazioni in caso di eventi meteorologici estremi accompagnati da forti mareggiate, che, tra l'altro impediscono il deflusso dei fiumi nel mare, causando maggiori probabilità di straripamenti e di alluvioni.

Va osservato, comunque, che i maggiori rischi valutati per l'Italia sono in realtà rischi aggiuntivi di quelli già esistenti a causa della attuale pressione antropica e dell'uso dei territori costieri. Infatti, almeno per quanto riguarda l'Italia, i cambiamenti climatici non tendono a creare nuovi rischi, ma tendono ad accentuare ed amplificare (con effetti talvolta non prevedibili) i rischi già esistenti derivanti dalla urbanizzazione, la produzione industriale, la pesca, il turismo, i trasporti marittimi, ecc.

Secondo uno studio dell'ENEA sono a possibile rischio di inondazione e/o erosione costiera non solo l'area veneziana e tutta la costa dell'alto Adriatico compresa grosso modo tra Monfalcone e Rimini, ma anche altre aree costiere quali quelle alla foce dei fiumi (Magra, Arno, Ombrone, Tevere, Volturno, Sele), quelle a carattere lagunare (Orbetello, laghi costieri di Lesina e Varano, stagno di Cagliari), coste particolarmente basse o già soggette ad erosione (costa prospiciente Piombino, tratti della costa Pontina e del Tavoliere delle Puglie, ecc).

L'entità del rischio non è, comunque, la stessa per tutte le coste sopra menzionate, ma è maggiore là dove esistono già problemi di subsidenza e problemi di erosione e di instabilità dei litorali, problemi che riguardano soprattutto l'alto Adriatico.

### ***Suolo e agricoltura***

Nell'Italia meridionale, già attualmente afflitta da scarsità di acqua e da problemi di degrado dei suoli a causa di molteplici fattori derivanti dalle attività antropiche e dall'uso del territorio, i cambiamenti climatici prevedibili indurranno ulteriori fattori di rischio inclusi i rischi di desertificazione per i quali sono in corso opportuni studi nell'ambito dell'Annesso IV della Convenzione per la lotta contro la desertificazione delle Nazioni Unite.

La possibilità di ulteriore degrado a causa dei cambiamenti climatici è legata alla concomitanza di due fattori che gli attuali scenari di cambiamento climatico non sti-

mano con certezza ma indicano come probabili, e cioè: la diminuzione delle precipitazioni totali annue al di sotto della soglia di circa 600 mm/anno; la estensione dei periodi di siccità per periodi prolungati di molti mesi, soprattutto se questo periodo coincide con il semestre caldo (evapo-traspirazione molto alta).

Anche se irrigati, i suoli possono ugualmente degradare se le attività umane sul territorio (ed in primo luogo l'agricoltura) sono tali da indurre cambiamenti insostenibili nei terreni, ridurre la biodiversità e rendere non permanente qualsiasi tipo di equilibrio ecosistemico. Nell'Italia settentrionale, dove invece, gli equilibri idrologici potrebbero essere cambiati per la maggiore disponibilità d'acqua il problema del degrado è legato alle condizioni di maggior ruscellamento (o "run-off") a cui sono sottoposti i suoli, ma soprattutto i pendii e le zone collinari.

Prevedere l'erosione del suolo è molto difficile, anche con modelli numerici sofisticati, a causa della mancanza di dati per verificare le ipotesi e le parametrizzazioni inserite nei modelli. Le conclusioni che si possono ragionevolmente ipotizzare sono di carattere generale e basate sulle conclusioni IPCC. L'incremento di temperatura previsto da IPCC influenzerà sia la vegetazione naturale che le coltivazioni. Ci si aspetta che in Italia Meridionale, si potrebbe avere un effetto particolarmente negativo sui sistemi locali, poiché sia vegetazione che terreni si trovano già in un regime di disponibilità idrica marginale. Come detto, le regioni italiane settentrionali potrebbero avere invece maggiori problemi di franosità e di erosione da "run-off", ma meno problemi sulla vegetazione complessiva. Ciò nonostante, terreni bassi nella zona del delta del Po potrebbero essere colpiti in maniera significativa da fenomeni di innalzamento del livello del mare e di intrusioni di acque salmastre.

I cambiamenti climatici potrebbero avere diversi effetti sull'agricoltura. Da un lato, climi più caldi e secchi nelle regioni Centro-Meridionali potrebbero favorire l'espansione verso Nord di colture specifiche come l'olivo, la vite e gli agrumi. D'altro lato, gli aumenti di temperatura e gli effetti sul ciclo idrologico richiederanno cambiamenti di gestione in molte regioni. Ognuna delle variabili climatiche considerate influenzerà le colture in vari modi. Tuttavia, i risultati finali dipenderanno dalle interazioni simultanee di ognuna di queste.

### ***Eventi estremi***

Le tendenze previste da IPCC a livello globale avranno ripercussioni anche a livello nazionale. In particolare è possibile che aumenti la frequenza, ma soprattutto la intensità di fenomeni estremi quali siccità, alluvioni ed di altri fenomeni meteorologici particolarmente violenti (trombe d'aria, burrasche, groppi, ecc). Tuttavia alcuni di questi fenomeni estremi, quali le alluvioni interesseranno maggiormente l'Italia settentrionale, mentre altri, quali la siccità, soprattutto il meridione d'Italia.

La recrudescenza soprattutto dell'intensità dei fenomeni estremi porterà come conseguenza ad una variazione, probabilmente significativa, degli esistenti rischi di catastrofi naturali e della vulnerabilità del territorio nazionale, la cui valutazione di dettaglio è attualmente soggetta ad attente analisi da parte dell'ENEA, in relazione alle azioni di supporto tecnico scientifico per il Ministero dell'Ambiente.

**Dr. Fabrizio Antonioli**  
ENEA

**Vulnerabilità delle coste  
italiane: rischio di allagamento  
da parte del mare**



# Vulnerabilità delle coste italiane: Rischio di allagamento da parte del mare

---

La vulnerabilità di una zona costiera è correlata alla quota topografica alla quale si trova la superficie pianeggiante, alla morfologia, alla litologia, alla presenza o meno della duna costiera, ma soprattutto al tasso di sollevamento del mare. In seguito a recenti ricerche basate sull'uso del satellite, sembrerebbe che il sollevamento del mare Mediterraneo non segua quello globale degli altri oceani. Questo vuol dire che non è stato ancora possibile assegnare un valore numerico alla variabile "aumento di livello del mare" atteso per il prossimo secolo. Per i mari italiani ci si aspetta un sollevamento compreso tra i 30 ed i 40 cm.

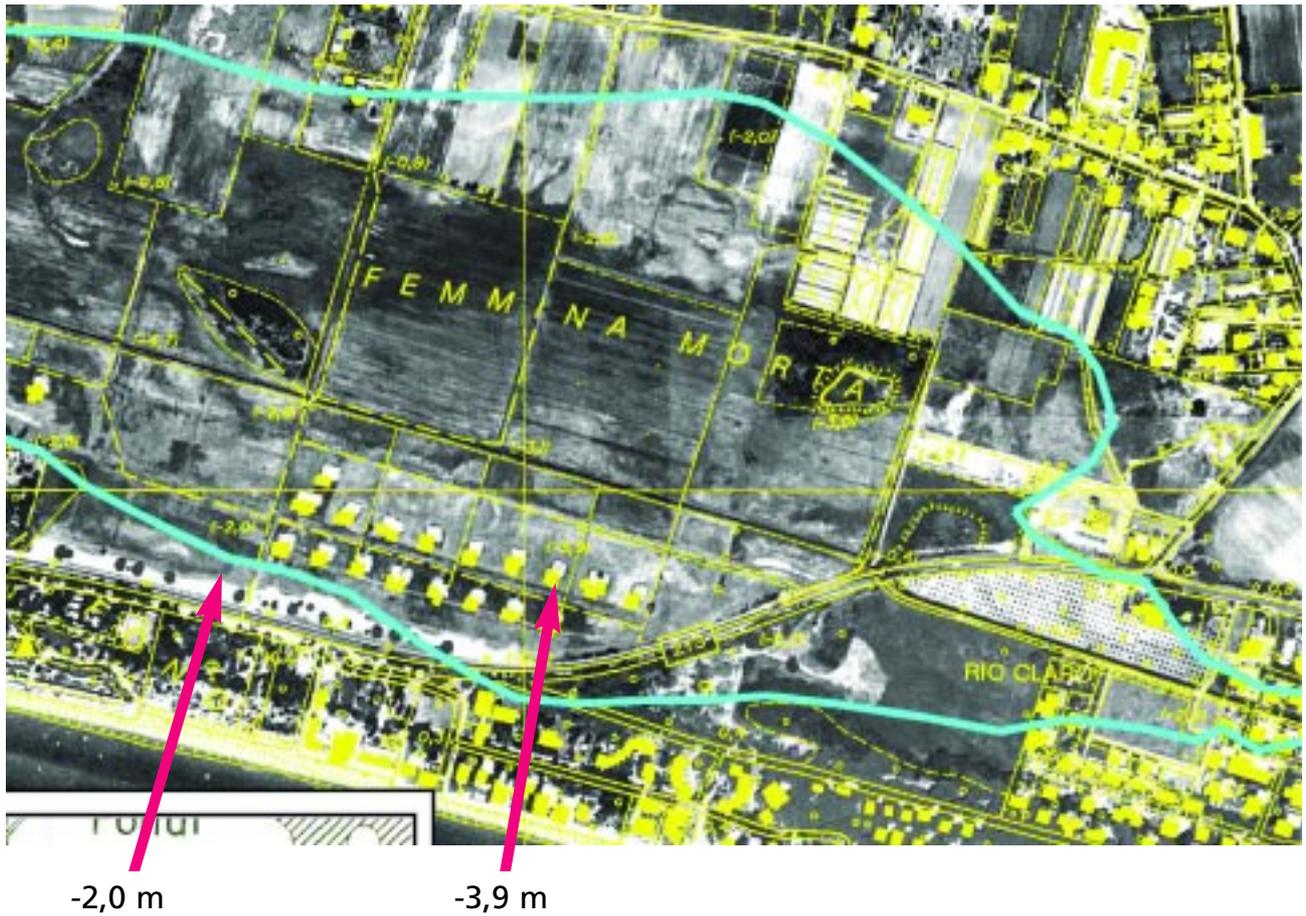
L'Italia si trova compressa da tra due zolle (Africa ed Eurasia) che inducono ingenti movimenti tettonici (dell'ordine del cm\anno), oltre a sollevamenti e terremoti, alcune zone costiere sono soggette ad abbassamenti tettonici che possono presentare valori di un ordine di grandezza superiori a quelli della risalita del mare. A complicare tutto ciò sono stati recentemente rilevati movimenti idroisostatici differenziali (abbassamento della piattaforma continentale di 6\8 m negli ultimi 6000 anni) lungo le coste. Tali movimenti indotti dalle stesse variazioni di livello del mare dipendono da molti fattori compreso lo spessore del mantello e assumono valori diversi nelle diverse zone costiere italiane, in buona sostanza le coste si abbassano inducendo un sollevamento relativo del mare. Inoltre piccole variazioni nel regime delle correnti marine costiere o di apporto di sedimenti da parte dei fiumi sono in grado di modificare notevolmente la linea di riva.

Per tutti questi motivi è chiaro come sia estremamente complicato prevedere un comportamento globale dovuto all'innalzamento del mare. Per le stime future sulla vulnerabilità delle coste italiane sarà necessario indagare zona per zona per comprendere i diversi comportamenti, isostatici o tettonici. Una volta compresi i valori di tutte queste componenti, che insieme concorrono ai movimenti relativi del mare sulle coste, ed individuata l'area a rischio di allagamento, prima di prendere qualsiasi decisione, sarà necessario valutare anche il valore economico delle zone allagabili.

La collaborazione ENEA-FEEM per lo studio della vulnerabilità della Pianura di Fondi ha permesso, anche se in una forma del tutto preliminare, un originale approccio multidisciplinare geologico-economico.

La Piana di Fondi si trova in una zona tettonicamente quasi stabile (subsidenza tettonica di 11 metri in 125.000 anni, pari ad un centimetro ogni 100 anni), questa condizione ha semplificato lo studio dell'areale a rischio individuando nella risalita eustatica del mare e nell'isostasia le principali variabili. La Piana di Fondi è stata definitivamente bonificata negli anni '50, le zone attualmente depresse sono quindi il risultato del funzionamento di idrovore di canalizzazioni che hanno artificialmente "sollevato" la circolazione delle acque, predisponendo così una serie di opere utili al probabile futuro sollevamento del mare atteso tra un secolo.

Lungo tutte le coste italiane sono state evidenziate 33 zone a rischio. Per una attenta valutazione della vulnerabilità in relazione al sollevamento eustatico del mare, alla subsidenza tettonica, alla isostasia sarà necessario procedere con ricerche mirate in tutte le zone.



La carta di Fondi presentata al workshop del 4 luglio 2002, tenuto presso il Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA, individua in una zona costiera della pianura di Fondi denominata "Femmina Morta" un complesso di ville residenziali che si trovano, all'interno della zona a rischio, in prossimità della costa, tra i -2 ed i -4 metri sotto il livello del mare.

## References - Bibliografia

Antonioli F., Dai Pra G. & P.J. Hearty (1988): *I sedimenti quaternari nella fascia costiera della Piana di Fondi*. Bollettino della Società Geologica Italiana. Vol. 107, 491-501.

Antonioli F., Frezzotti M. & Valpreda E. (1988): *Evoluzione geologica della Piana di Fondi e delle aree marginali durante il Quaternario*. Annessa carta Geomorfologica 1:40.000. Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia. Vol. XXXVIII, 97-124.

Antonioli F., Conato V. & Dai Pra G. (1989): *Biostratigrafia dei sedimenti Pleistocenici affioranti sul bordo NW della piana di Fondi. (Lazio Meridionale)*. Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences, 2, 139-145.

Antonioli F. & Frezzotti M. (1989): *I sedimenti tardo-pleistocenici ed olocenici compresi nella fascia costiera tra Sabaudia e Sperlonga, Italia centrale*. Memorie della Società geologica Italiana. Vol. 42, 237-250.

Antonioli F. (2000): *Le fluttazioni recenti del livello del mare*. Energia Ambiente e Innovazione, 6-2000, 87-93.

Antonioli F. & Leoni G. (2001): *Relazione tecnica per Min. Amb., Progetto 4.8 Risanamento del Territorio e delle acque, Linea 3b Pianure costiere italiane a rischio di allagamento del mare*. 45 pp, cd con mappe di 33 Piane a rischio.

Lambeck K., Antonioli F., Purcell T. & Silenzi S. (submitted to QSR, 2003): *Sea level change along the Italian coast for the past 10,000 yrs*.



**Dr. Emanuela Caiaffa<sup>o</sup>, Dr. Gabriele Leoni\***

<sup>o</sup> ENEA

\* libero professionista

---

**Contributo del GIS alla  
modellazione delle dinamiche  
territoriali.**

**Il caso di studio della Piana di Fondi**

---



# Contributo del GIS alla modellazione delle dinamiche territoriali. Il caso di studio della Piana di Fondi

---

## Introduzione

In questa nota vengono presentati i primi risultati ottenuti dall'analisi di mappe cartacee e strati informativi territoriali, con l'ausilio di strumenti GIS (*Geographic Information System*), nell'ambito dello studio di vulnerabilità al rischio di allagamento della Piana di Fondi per la risalita del livello del mare.

Lo studio, condotto in collaborazione ENEA FEEM, ha evidenziato le grandi potenzialità offerte dallo strumento GIS (*Geographic Information System*) per la rappresentazione delle dinamiche territoriali e come esse siano legate al contesto socio economico in cui si verificano. Ci sembra doveroso, in questa sede, citare il fatto che l'uso del GIS nelle scienze sociali ed economiche è proprio uno dei temi emergenti di ricerca a livello europeo nell'ambito della *new knowledge-based society*.

Lo studio, di cui si presentano in questa sede solo i risultati preliminari, si pone, fra gli altri, l'obiettivo di mettere a punto un dialogo interdisciplinare tra l'informazione geografica e i diversi attori pubblici e privati chiamati a gestire il territorio con i suoi problemi sociali ed ambientali: in tale contesto lo strumento GIS è chiamato a fare da ponte tra scienziati, *decision maker* e cittadini.

Il GIS è uno strumento informatico per l'acquisizione, l'elaborazione, la restituzione e l'aggiornamento di dati spazialmente riferiti alla superficie terrestre. Tale strumento informatico non è solo un programma applicativo per computer, ma un sistema composto di *hardware*, *software* e soprattutto competenze umane in grado di "dominare" il problema in analisi tanto sul piano scientifico quanto sul piano logico-concettuale. La validità dei risultati ottenuti è condizionata in ugual modo da tutte queste componenti: la carenza di una sola di queste inficia fortemente la qualità dell'intero sistema.

Le tecnologie GIS oltre a fornire uno strumento per correlare dati di natura assai diversa tra loro, ha introdotto la possibilità di "vedere" i dati e/o l'ammontare dei dati stessi su una mappa fornendo anche la posizione di dette informazioni nello spazio e nel tempo. Il GIS consente di associare alla rappresentazione grafica di ogni elemento del territorio tutti gli attributi che ne definiscono le proprietà non solo spaziali, ma anche fisiche, temporali etc. Gli attributi risiedono in un database: ogni operazione eseguita nel database, secondo le sue funzionalità tipiche, può essere visualizzata nel suo risultato grafico.

## Studio

Lo studio delle piane costiere a rischio di allagamento marino è iniziato a scala nazionale, nell'ambito dell'Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente-ENEA, mediante l'analisi in ambiente GIS del Modello Digitale del Terreno (DEM), che rappresenta in formato digitale l'andamento altimetrico del rilievo terrestre tramite una matrice di celle quadrate caratterizzate dal valore della quota.

L'analisi del DEM nazionale, con cella di 250 m e risoluzione circa equivalente ad una scala di 1:250.000, ha permesso l'individuazione in automatico di 33 piane costiere, a quota inferiore ai 5 metri s.l.m., comprendenti una o più zone al di sotto di 1 metro s.l.m.

Si è quindi rivolta l'attenzione ad aumentare la risoluzione dei dati di base per migliorare la definizione delle zone soggette a pericolo (in questo contesto la risalita del livello del mare), a cominciare, per l'appunto, dalla Piana di Fondi che è stata scelta come *case study* per testare l'affidabilità della metodologia e l'indipendenza del modello dal fattore di scala.

A tale scopo è stato acquisito ed analizzato il DEM con cella di 20 m, costruito dall'IGM a partire dalle quote delle tavolette IGM 1:25.000 (Fig. 1). Tale DEM ha permesso di definire con maggior risoluzione i contorni della piana dati dall'isoipsa 5 m s.l.m., ma ha manifestato approssimazioni inaccettabili per le quote inferiori derivanti da: a) carenza del dato topografico originale, b) assenza di valori inferiori a 0 m s.l.m., che per costruzione sono stati posti uguale a 0, c) errori di congiunzione fra gli elementi in cui era stato suddiviso il territorio per la digitalizzazione, d) approssimazione delle quote al metro.

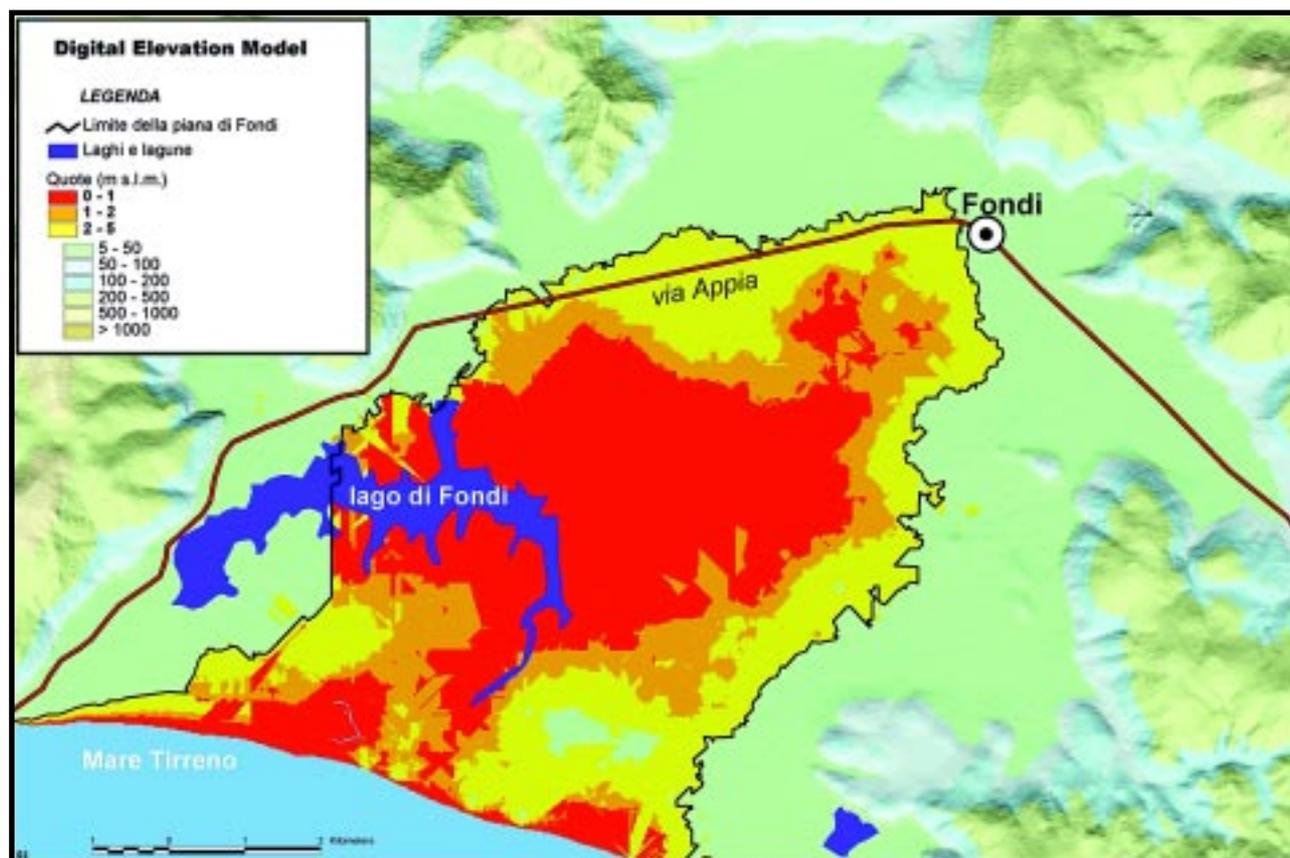


Fig. 1 – DEM (Digital Elevation Model) della piana di Fondi che evidenzia le zone a basse quote.

Per ricostruire la posizione reale dell'isoipsa 0 m s.l.m. ci si è quindi rivolti all'utilizzo di nuovi dati. Per l'area sotto studio sono stati acquisiti (in formato digitale o tramite scanner), georiferiti (proiettati nelle reali coordinate geografiche del sistema di riferimento in uso) e consultati interattivamente con il GIS, i seguenti dati cartografici di varia natura:

- Carta Tecnica Regionale del Lazio, scala 1:10.000, formato raster georiferito, aggiornamento 1991 ca., approssimazione delle quote decimetrica;
- Carta Tecnica Comunale di Fondi, scala 1:10.000, formato raster non georiferito, aggiornamento 1998 ca., approssimazione delle quote decimetrica;
- Ortofoto della Regione Lazio, scala nominale 1:10.000, formato raster georiferito, aggiornamento 1997 ca., pixel di 1 metro a terra;
- Carta Geologica della Piana di Fondi, scala 1:40.000, formato cartaceo, aggiornamento 1988, ottenuta da rilievi di campagna e tramite interpretazione di dati di sondaggio.

L'integrazione di tutte queste informazioni ha permesso di ricavare non solo l'andamento dell'isoipsa 0 m s.l.m. attuale ma anche di tracciare con sufficiente precisione anche le isoipse di +17 cm e +35 cm s.l.m. attuale, corrispondenti alla quota presunta del livello del mare rispettivamente nel 2050 e nel 2100 secondo le stime di risalita del livello del mare assunte in questo contesto (Fig. 2).

Per passare dalla valutazione della pericolosità a quella del rischio è stata analizzata la presenza e la distribuzione degli elementi a rischio. Questi ultimi, rappresentati dagli insediamenti e dalle attività produttive, sono stati ricavati sulla base della carta dell'uso del suolo del Progetto CORINE Land Cover (scala nomi-



Fig. 2 – Dettaglio delle basi topografiche con indicati il livello del mare attuale e quelli futuri.

nale 1:100.000, aggiornamento 1997); per rendere tale strato informativo comparabile con gli altri strati informativi a scala maggiore essa è stata opportunamente corretta ed integrata con i dati ottenuti dalla lettura delle basi topografiche e dell'ortofoto della zona; inoltre, per una piccola porzione dell'area, è stato possibile aggiungere a tali informazioni anche quelle relative alla pianificazione comunale.

La classificazione degli elementi a rischio in 10 tipologie differenti (di cui solo 7 presenti nell'area) è stata effettuata per sintesi delle 44 classi di uso del suolo riconosciute dalla legenda CORINE (Fig. 3) e la Tabella 1 ne riassume le caratteristiche tipologiche ed areali.

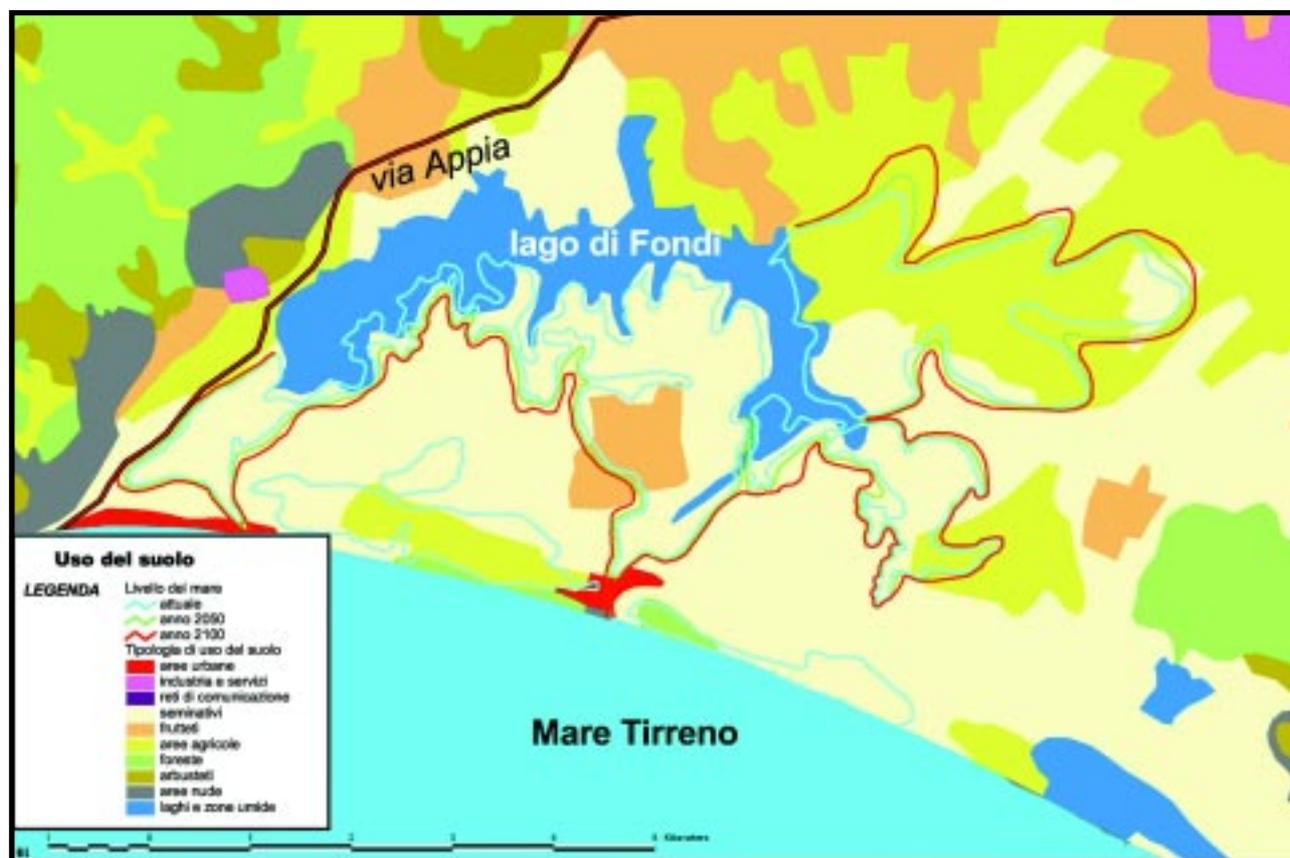


Fig. 3 – Carta delle tipologie di uso del suolo distinte per valore degli elementi a rischio.

TABELLA 1 – Tipologia ed estensione degli elementi a rischio ( $\leq 0$  m s.l.m.) per i tre scenari previsti.

<i>Tipologia di Land Cover</i>	<i>superficie in ettari</i>		
	<b>2002</b>	<b>2050</b>	<b>2100</b>
Aree agricole	367,368	421,705	493,727
Aree nude	0,000	0,000	0,164
Aree urbane	0,886	1,260	3,890
Foreste	15,435	15,435	15,435
Frutteti	22,841	32,965	44,151
Laghi e zone umide	126,540	134,160	135,997
Seminativi	616,478	735,323	856,145

L'analisi spaziale delle informazioni geografiche evidenzia, da un punto di vista qualitativo, che il rischio associato all'innalzamento del livello del mare comporta che entro un secolo le aree urbane sotto il livello del mare saranno oltre il quadruplo di quelle attuali, i frutteti il doppio e le aree agricole ed i seminativi una volta e mezzo.

## Conclusioni

Attraverso l'applicazione di semplici funzioni GIS è possibile dunque produrre uno scenario che, per quanto preliminare e migliorabile nella stima quantitativa del valore degli elementi a rischio, rivela la presenza di un rischio significativo che impone l'avvio di interventi, sia strutturali che di altra natura, per fare fronte a quella che domani potrebbe rappresentare una situazione di grave emergenza.

Attualmente nella zona presa in esame è in funzione un sistema di bonifica di cui recentemente il Consorzio di gestione ha avviato un'azione di ristrutturazione e potenziamento: allo stato attuale tali interventi sembrano essere ben dimensionati per fronteggiare l'attesa risalita del livello del mare. Comunque la disponibilità di un modello di analisi delle condizioni territoriali naturali ed antropiche consente l'aggiornamento dello scenario di rischio al variare delle condizioni predisponenti nonché la produzione di scenari virtuali di supporto alla pianificazione territoriale.

L'Informazione Geografica, considerata non solo come un dato fine a se stesso, bensì come una serie di informazioni introdotte in un più vasto ambito territoriale e soprattutto relazionate al contesto socio-economico, ci aiuta ad entrare nel mondo della rappresentazione geografica dei molteplici aspetti che costituiscono la realtà socio-territoriale che ci circonda. Nascosta in gran parte dei dati c'è una componente geografica che lo strumento GIS permette di catturare e di evidenziare rendendo possibile l'analisi degli stessi dati in un inesplorato contesto legato al territorio con il pregio di mostrare nuovi aspetti e correlazioni tra le informazioni.

La maggiore attrattiva dello strumento GIS, in questi casi, è quella di poter contenere 'tutto in uno' moltissime informazioni e dati, anche assai diversi fra loro, come ortofoto, carte topografiche, immagini e tabelle excel che, una volta integrate in un GIS ad hoc, danno l'opportunità anche ai non addetti ai lavori, di poter formulare giudizi e/o previsioni legati alla gestione del territorio.



**Dr. Maurizio Sciortino**  
ENEA

**La sensibilità alla desertificazione  
della regione Sicilia**



# La sensibilità alla desertificazione della regione Sicilia

---

## Introduzione

La desertificazione è un sistema complesso e dinamico di degradazione del suolo che interessa a livello globale aree molto vaste in cui si verifica la perdita della capacità produttiva della terra sia per cause provocate dall'azione umana sia per cause naturali.

L'Italia ha riconosciuto che la desertificazione colpisce anche aree del suo territorio e per tale motivo partecipa alla Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta alla Desertificazione (UNCCD) non solo come paese donatore nei confronti dei Paesi in via di sviluppo ma anche come paese colpito. L'Italia ha pertanto preparato il suo Programma di Azione Nazionale (P.A.N.), di cui alla Delibera CIPE n. 299 del 21.12.1999, con il quale le Regioni e le Autorità di bacino sono chiamate alla definizione di programmi specifici di intervento, previa individuazione delle aree più sensibili al rischio di desertificazione.

Fra le regioni sensibili alla desertificazione la Sicilia presenta caratteristiche ambientali e socio economiche che la rendono particolarmente vulnerabile. Le caratteristiche climatiche della regione sono caratterizzate da condizioni di aridità e da ripetuti episodi di siccità.

Aridità e siccità sono due fenomeni climatici molto diversi con implicazioni ed impatti ambientali e socio-economici ben distinti.

L'aridità è infatti determinata dalla mancanza di umidità del suolo nelle condizioni climatiche medie, riferite ad un periodo di almeno trenta anni e costituisce una caratteristica permanente. Le zone aride sono ben identificate sia da un punto di vista territoriale ed hanno la caratteristica di un'elevata vulnerabilità ambientale e socio economica.

La siccità è invece un fenomeno transitorio che interessa tutte le latitudini e con impatti che si manifestano su scale di temporali che possono variare dai mesi agli anni. Nelle zone aride ha un impatto che può innescare fenomeni di degrado ambientali e socio-economici che possono portare alla desertificazione.

## Condizioni climatiche in Sicilia

La Sicilia è la regione Italiana con la maggiore superficie di territorio arido (per brevità con il termine arido si includono le tre categorie climatiche arido, semi-arido e sub-umido secco). La porzione di territorio interessato dall'aridità è progressivamente aumentato sino ad interessare nel periodo dal 1961-1990 circa il 45,2% del territorio,

pari a circa 1.208.000 ha (Figura 1). L'aridità ha certamente esteso la sua superficie in Sicilia nel periodo successivo al 1990, essendo questa decade la più calda mai registrata nel XX secolo, ma non esiste ancora una valutazione in merito.

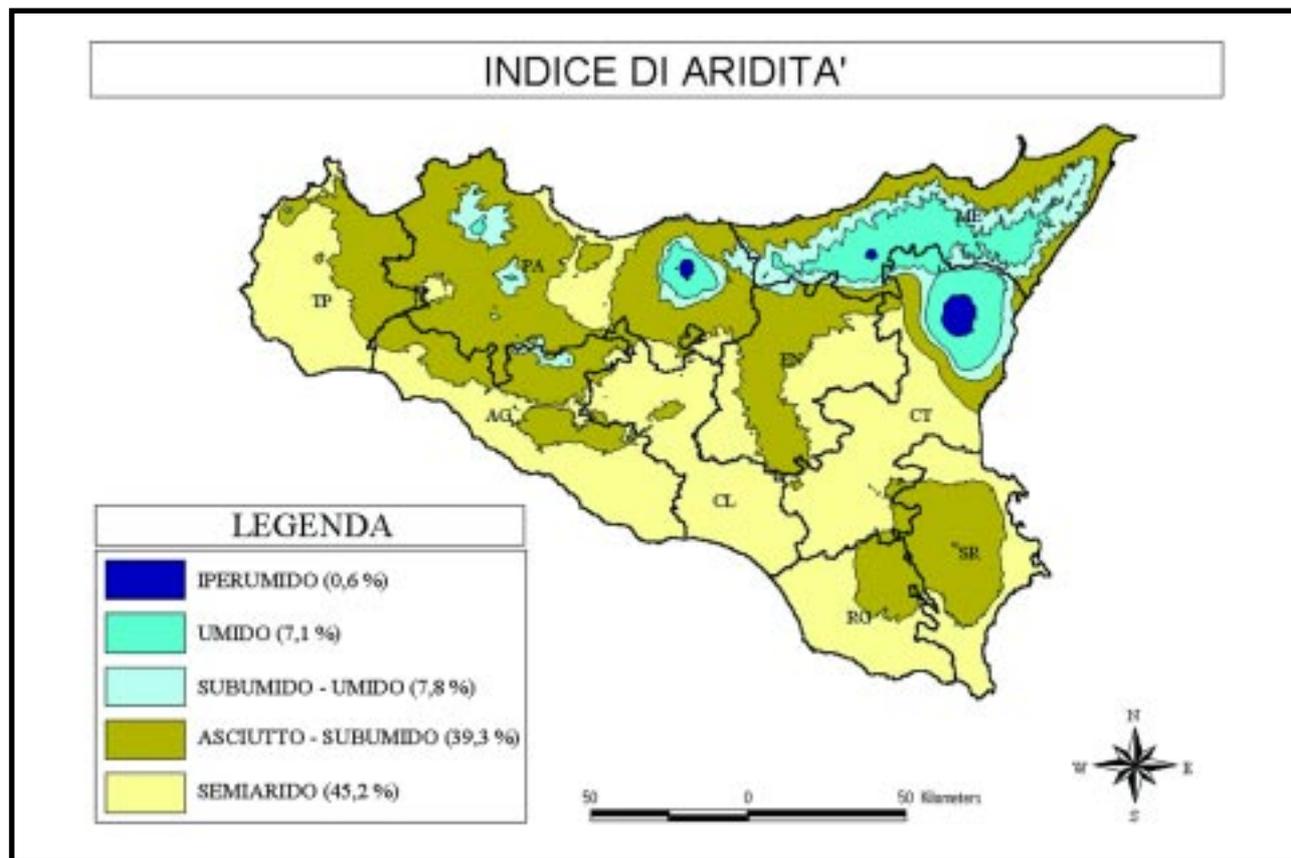


Figura 1 (Fonte: Atlante Climatologico della Regione Sicilia)

Le precipitazioni in Sicilia hanno subito una sensibile diminuzione soprattutto nel periodo autunnale ed invernale passando da una piovosità media nel periodo 1921-60 di 750 mm a quella di 650 nel periodo 1961-90.

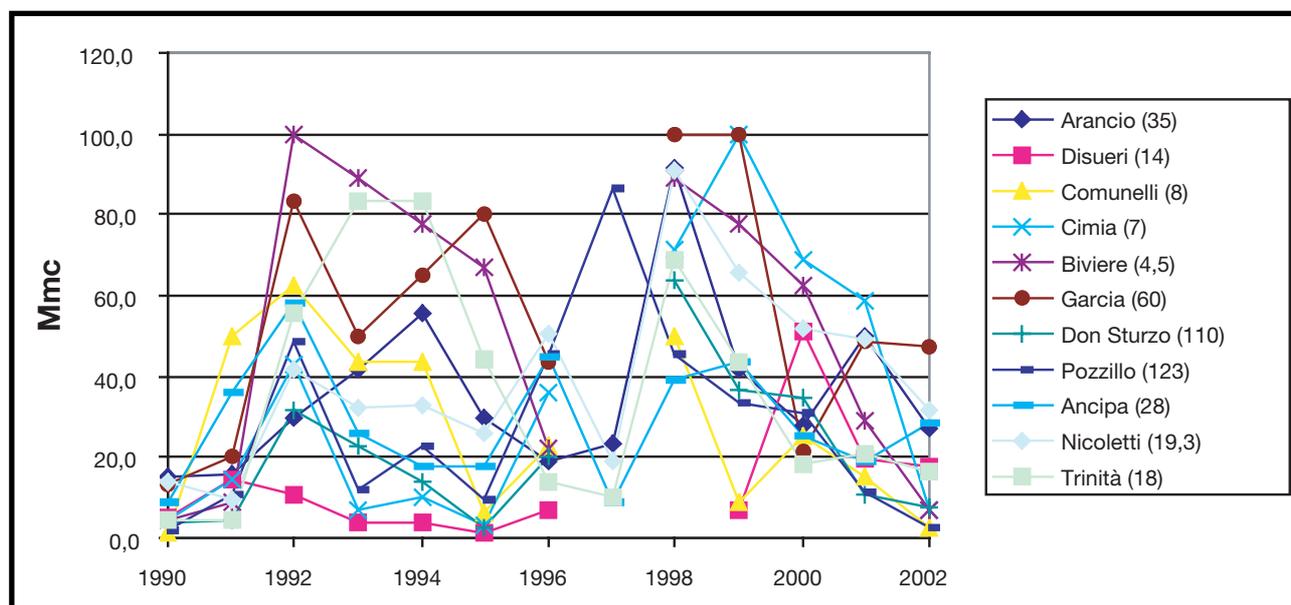


Figura 2 (Fonte: Servizio Agrometeorologico della Regione Siciliana)

La riduzione varia nei tre versanti (settentrionale, meridionale ed orientale) registrando in quello meridionale il maggior decremento sino a valori attuali inferiori ai 500 mm (1).

Per quanto riguarda i trend di precipitazione relativi al periodo 1960-99 risulta che nelle stazioni di Catania, Enna, Trapani, Prizzi (PA) e Palermo si riscontra una netta diminuzione delle precipitazioni. Nelle stazioni Gela (CL), Cozzo Spadaio (SR) e Messina non si riscontrano invece variazioni statisticamente significative (2).

Manca attualmente un quadro aggiornato ed esaustivo di analisi dei dati climatici della Sicilia che valuti con tecniche statistiche idonee le variazioni climatiche in atto su base stagionale ed annuale nonché un impiego di indici climatici ormai ampiamente utilizzati nell'analisi climatologica quali lo Standardized Precipitation Index e l'indice di Aridità. Vari studi recentemente pubblicati sui trend climatici in Italia includono solo tre stazioni del territorio siciliano e forniscono pertanto solo un quadro parziale della situazione siciliana. (Brunetti et al, 1999, 2000, 2001, 2002).

In base alle più lunghe serie di dati registrate dal Servizio Idrografico Regionale, anche l'Università di Palermo (Bagarello, 2002) ha studiato i trend climatici di Trapani, Palermo, Agrigento, Caltanissetta e Messina per il periodo compreso fra il 1916 ed il 1999. I risultati dello studio confermano la tendenza alla riduzione delle precipitazioni e l'incremento della temperatura.

Questo quadro indica che la disponibilità idrica della regione è diminuita ovunque e che il territorio sta evolvendo sempre più verso una condizione di aridità.

Per quanto riguarda la siccità, nel periodo compreso fra Agosto 2001 ed aprile 2002, in tutta la Sicilia si riscontra una riduzione delle precipitazioni più marcata nelle aree Nord-occidentali, sud orientali e soprattutto meridionali. (Fonte: Servizio Agro meteorologico della Regione Siciliana).

Il deficit pluviometrico delle aree più colpite dalla siccità è dell'ordine di 200-300 mm. I mesi più siccitosi sono stati quelli del periodo autunnale ed invernale, determinando una situazione di crisi dell'approvvigionamento idrico sia per l'agricoltura che per il settore civile ed industriale.

Nel mese di aprile si è verificata un'inversione di tendenza grazie alle abbondanti precipitazioni che hanno mitigato nel breve periodo la siccità.

## Risorse Idriche

Esistono varie stime del bilancio idrologico annuale della regione Sicilia. Il Prof Maione, in una recente conferenza (3) ha valutato che l'apporto della pioggia sia di  $16,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  e che solo il 27% di tale quantità, pari a  $4,37 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  costituisca mediamente

---

(1) Dati del Servizio Idrografico Regionale, Relazione presentata al convegno del Progetto Assetto del territorio e lotta contro la siccità (Interreg II C) Villasimius, Settembre 2000

(2) Analisi realizzate dall'Istituto Nazionale di Economia Agraria (INEA) nel Programma Operativo Multiregionale: Studio sull'uso della risorsa idrica, Stato dell'irrigazione in Sicilia

(3) Accademia dei Lincei, 5 Giugno 2002, Convegno: Accettabilità delle acque per usi civili ed agricoli. Prof. U. Maione, Politecnico di Milano, L'approvvigionamento Idrico in Italia.

il flusso superficiale che alimenta i serbatoi e che ricarica le falde freatiche ( $1,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ). Il 73% dell'apporto idrico dovuto alla pioggia quindi evapora (4).

Il sistema di approvvigionamento idrico della Sicilia dispone attualmente di 40 serbatoi artificiali di accumulo dell'acqua piovana per un volume massimo di  $1,060 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  ed una capacità utile di  $0,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ . L' Accordo di Programma Quadro "Risorse Idriche" valuta che:

"A fronte di una disponibilità media dei serbatoi di  $664 \text{ Mm}^3$  si ha una utilizzazione di  $394 \text{ Mm}^3$ ; la causa di questa sottoutilizzazione è riferibile ad una serie di fattori, fra i quali: dighe iniziate e non ultimate; dighe ultimate e non utilizzate oppure in fase di collaudo con invasi autorizzati limitati; dighe con problemi strutturali e di sicurezza e per questo con limitazioni d'invaso; invasi con processi di interrimento avanzati; invasi senza le opere di utilizzazione; traverse interrite; gallerie di derivazione in dissesto non più funzionanti o parzialmente funzionanti".

Quattro serbatoi sono in fase di completamento ed otto attualmente da realizzare. Dighe ed invasi forniscono acqua sia per gli usi civili che per l'agricoltura.

Per soddisfare i fabbisogni idro-potabili della Regione si fa inoltre ricorso all'apporto dato dai dissalatori di Gela e di Trapani che forniscono rispettivamente  $15.5$  e  $7.2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  pari a circa il 19% dell'acqua distribuita dall'EAS.

La disponibilità di acqua negli invasi nel 2002 in Sicilia, si presenta con caratteristiche di criticità ancora maggiori rispetto a quella dell'anno 2001 (figura 3).

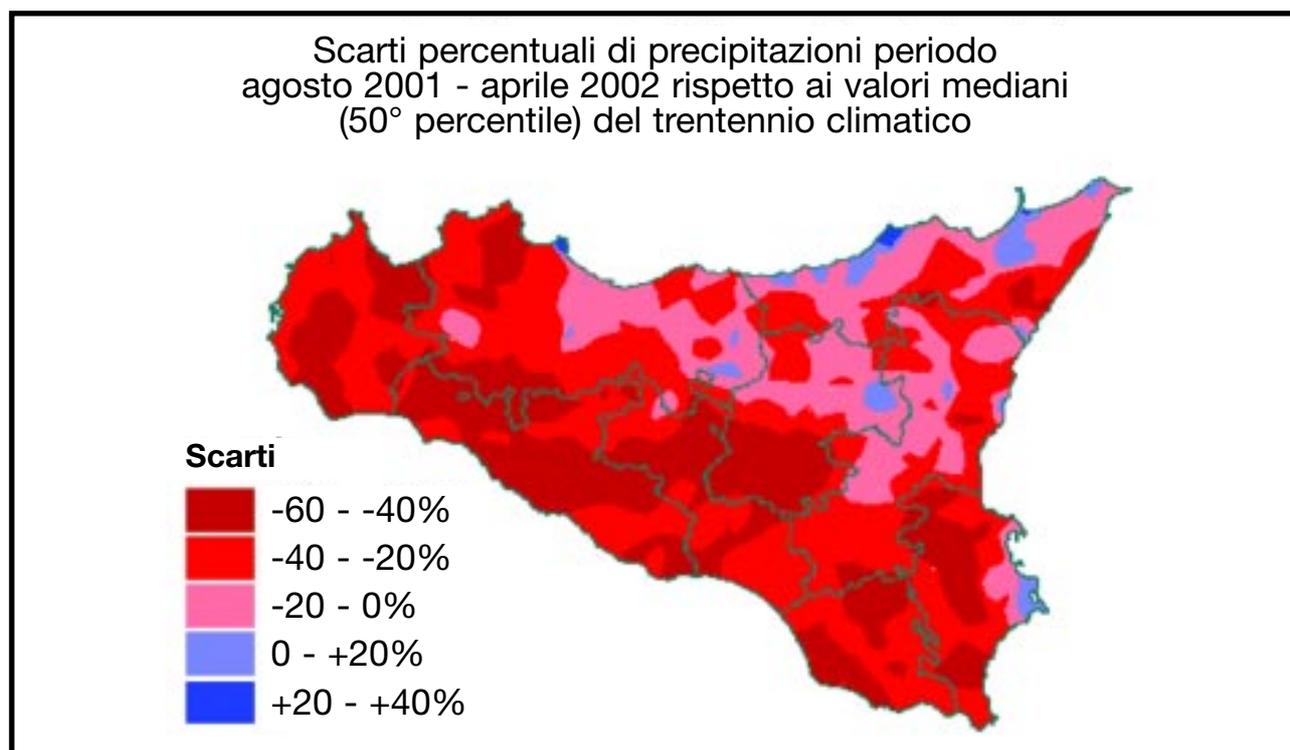


Figura 3 (Fonte: Associazione Nazionale Bonifiche)

- (4) L'atlante di Idrologia agraria per la Sicilia (1971) realizzato dal prof Santoro dell'Istituto di Idraulica dell'Università di Palermo, valuta per il trentennio 1921-1950 un flusso superficiale di  $6,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  pari al 37% delle afflusso meteorico. L'81% di tale quantità, pari a  $5,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ , costituisce il deflusso superficiale ed il 19%, paria a  $1,3 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  costituisce l'aliquota di deflusso sotterraneo.

Oltre alla riduzione delle piogge, infatti, è necessario considerare che la maggiore aridità del suolo provoca una riduzione del ruscellamento dell'acqua piovana e quindi della risorsa disponibile per riempire gli invasi (5).

Dal monitoraggio sullo stato degli invasi si evidenzia un deficit idrico di quasi  $103 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , circa  $176 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  attualmente accumulati contro i circa  $279 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  invasati nello stesso periodo dello scorso anno e già risultati insufficienti allo svolgimento della stagione irrigua 2001. Molti invasi a causa della situazione di crisi non potranno servire acqua per l'agricoltura ma saranno destinati a soddisfare usi civili.

## **Fabbisogni idrici dei settori civile ed agricolo.**

La popolazione residente in Sicilia nel 1998 ammontava a 5.103.300 unità ed in base al consumo medio per abitante di 200 litri/giorno si stima un fabbisogno della regione di circa  $372 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$ .

L'EAS è il principale gestore che garantisce l'approvvigionamento e la distribuzione a 2.700.000 residenti distribuendo  $156 \text{ Mm}^3/\text{anno}$  di acqua. La quantità di acqua distribuita, che teoricamente potrebbe garantire 158 litri/giorno/utente, in realtà non assicura un servizio minimo accettabile alla popolazione a causa di perdite delle condotte, furti in alcuni casi riceve acqua solo poche ore alla settimana.

Il settore agricolo è il maggiore utilizzatore di acqua della regione. Il recente studio realizzato dall'INEA sull'impiego delle risorse idriche in agricoltura nelle regioni obiettivo 1 stima che in Sicilia l'irrigazione, organizzata da 11 Consorzi di Bonifica, interessa una superficie di 70.716 ha. Una superficie di 236.000 ha viene inoltre irrigata con reti private che ricorrono al prelievo abusivo di acqua dalle falde e dai corsi d'acqua. Le reti private, che costituiscono il 77% del totale regionale nei consorzi irrigui, costituiscono un grave rischio di degrado del suolo in quanto la qualità delle acque utilizzate è spesso non idonea all'irrigazione e rischiando di provocare salinizzazione.

Il fabbisogno idrico attuale per il settore irriguo siciliano è stimato pari a circa  $980 \text{ Mm}^3/\text{anno}$  ma si prevede che l'estensione delle aree da irrigare già previste o in atto potrà diventare a breve termine di circa  $1262 \text{ Mm}^3$ .

## **Lo stato della vulnerabilità del territorio alla desertificazione**

I principali problemi di desertificazione della Sicilia derivano dall'uso non sostenibile in atto del suolo, delle risorse idriche. I fenomeni di erosione e di salinizzazione, dovuti all'impatto delle attività antropiche sul territorio stanno aumentando il rischio di desertificazione dei suoli produttivi destinati all'agricoltura. Le aree marginali dei territori di collina sono ormai utilizzati solo per la pastorizia e la mancanza di una copertura vegetale arborea li rende vulnerabili all'erosione e non in grado di contrastare fenomeni alluvionali che periodicamente devastano il territorio.

---

(5) Bibliografia Sardegna.

La stima della vulnerabilità del territorio alla desertificazione effettuata a scala regionale (figura 5) (scala 1:250.000) indica che le aree non affette (7,2%) ricadono per lo più nella provincia di Messina ed in misura minore nelle province di Palermo e Catania. Le ragioni di questo risultato sono legate essenzialmente agli aspetti climatici, vegetazionali e gestionali che, in queste aree, presentano contemporaneamente caratteristiche di buona qualità, ovvero climi umidi in ampie zone boscate e per la maggior parte sottoposte a protezione per la presenza di parchi e riserve.

La maggior parte del territorio tuttavia presenta una vulnerabilità moderata (46,5%) o bassa (32,5%). Occorre tenere presente che nelle aree a sensibilità moderata l'equilibrio tra i diversi fattori naturali e/o le attività umane può risultare già particolarmente delicato. E' necessaria quindi una conoscenza approfondita dei processi in atto per evitare l'innescarsi di fenomeni di desertificazione.

Infine le aree ad elevata sensibilità (6,9%) si concentrano nella provincia di Caltanissetta, Enna e Catania. Tale risultato riflette le particolari caratteristiche geomorfologiche del territorio (colline argillose poco stabili), la sua utilizzazione intensiva e spesso poco attenta, oltre che la scarsa presenza di vegetazione, soprattutto arborea. A questo si aggiunge il particolare regime pluviometrico di queste zone interne, con precipitazioni inferiori alla media regionale ed eventi eccezionali relativamente frequenti con valori spesso elevati.

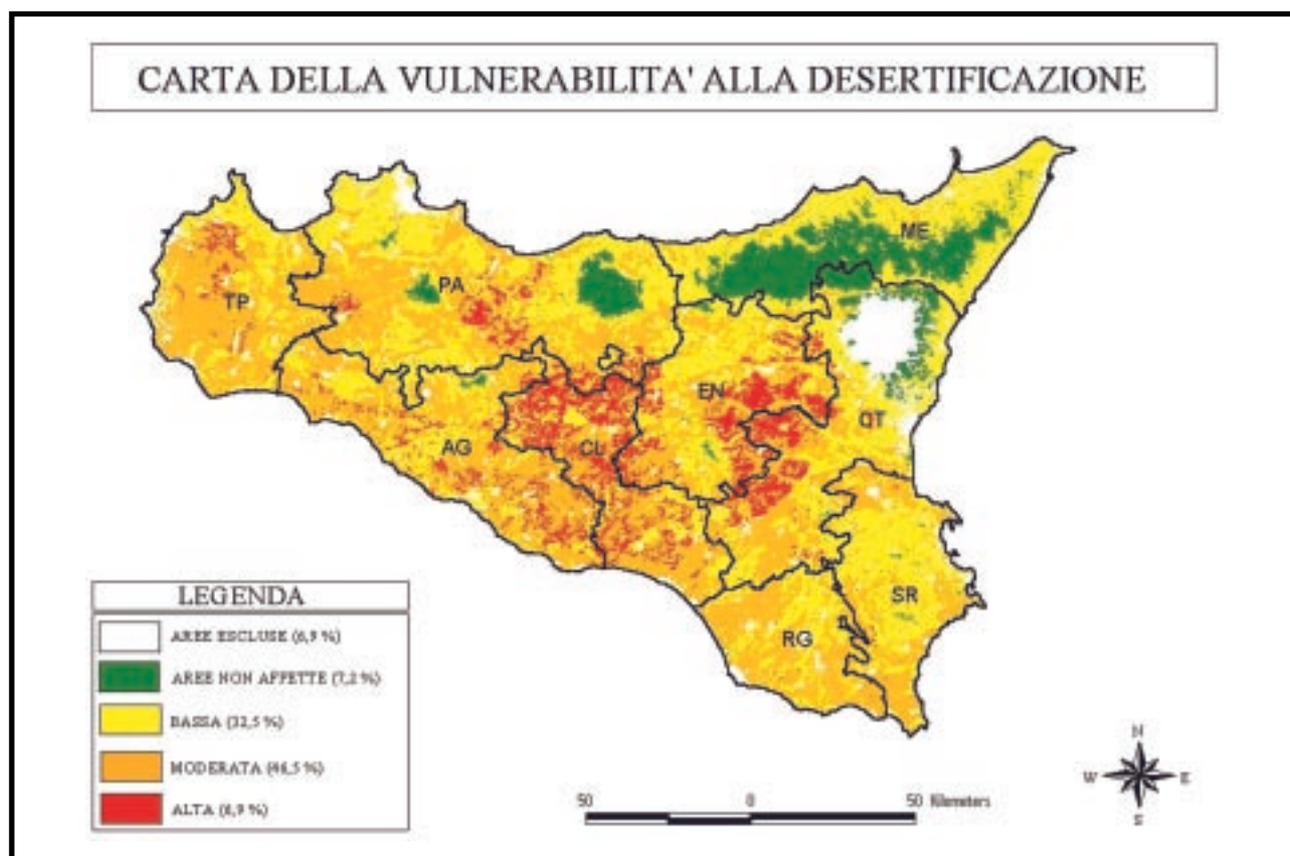


Figura 4

## Bibliografia

C. Agnese, V. Bagarello, G. Nicastro (2002): ALTERAZIONE DI ALCUNI CARATTERI DEL REGIME PLUVIO-TERMOMETRICO SICILIANO NEL PERIODO 1916-1999, Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di AgroMeteorologia, L'AGROMETEOROLOGIA NEL MEDITERRANEO, Catania, 6-7 Giugno 2002

Brunetti M., Colacino M., Maugeri M., Nanni T. (2001): *Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996*. International Journal of Climatology 21: 299-316.

Brunetti M., Maugeri M., Nanni T. (2000a): *Variations of temperature and precipitation in Italy from 1866 to 1995*. Theoretical and Applied Climatology 65: 165-174.

Brunetti M, Maugeri M, Nanni T. (2000b): *Trends of minimum and maximum daily temperatures in Italy from 1865 to 1996*. Theoretical and Applied Climatology 66: 49-60.

Brunetti M., Maugeri M., Nanni T. Navarra A. (2002): *Droughts and extreme events in regional daily Italian precipitation series*. Int. J. Climatol., in press.

Buffoni L, Maugeri M, Nanni T. (1999): *Precipitation in Italy from 1833 to 1996*. Theoretical and Applied Climatology 63: 33-40.

INEA, Stato dell'Irrigazione in Sicilia, Programma Operativo Multiregionale

Ampliamento e adeguamento della disponibilità e dei sistemi di adduzione e di distribuzione delle risorse idriche nelle Regioni dell'Obiettivo 1, Reg (CEE) n. 2081/93 - QCS 1994/99.

Sottoprogramma III Misura 3 Studio sull'uso irriguo della risorsa idrica, sulle produzioni agricole irrigate e sulla loro redditività, 2002.

Accordo di Programma Quadro sulle Risorse Idriche fra Governo della Repubblica e la Giunta Regionale Siciliana, Luglio 2000.



**Dr. Gretel Gambarelli, Dr. Alessandra Goria**  
Fondazione Eni Enrico Mattei

---

**Valutazione economica degli  
impatti attesi dei cambiamenti  
climatici e dell'adattamento:  
il caso italiano**

---



# Valutazione economica degli impatti attesi dei cambiamenti climatici e dell'adattamento: il caso italiano

---

## INTRODUZIONE

Le anomalie nel clima manifestatesi con sempre maggiore frequenza nel corso degli ultimi anni hanno acuito l'interesse nei confronti dei cambiamenti climatici non solo all'interno della comunità scientifica, ma anche nell'ambito della società civile, delle istituzioni e degli agenti economici, a causa degli effetti che tali cambiamenti potrebbero avere sugli equilibri dei sistemi naturali, sociali ed economici in tutto il pianeta.

Nel corso di successivi incontri della Conferenza delle Parti della UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) sono state elaborate delle strategie per la mitigazione e per l'adattamento al fenomeno dei cambiamenti climatici che, se realizzate, avrebbero ripercussioni positive sulla società e sull'economia a livello globale. Nonostante tali indicazioni di *policy* si basino su innumerevoli studi scientifici, esiste ancora notevole incertezza sull'entità degli effetti, attuali e futuri, sui sistemi naturali, sociali ed economici. L'applicazione alle realtà locali delle strategie proposte a livello globale non può però prescindere da un'attenta analisi qualitativa e quantitativa degli impatti attesi sul territorio.

Questo lavoro si propone di riportare l'evidenza scientifica sugli impatti e le indicazioni di *policy* da una scala globale, ad una nazionale e quindi locale. L'analisi si concentra sulla dimensione sociale ed economica dei cambiamenti climatici, trascurando altri aspetti del problema, quali gli impatti sui sistemi naturali, quando non abbiano ripercussioni socio-economiche. Un'ulteriore delimitazione dello studio riguarda le politiche di intervento, rispetto alle quali viene considerato solo l'adattamento, mentre l'esame delle strategie di mitigazione (riduzione delle emissioni di gas serra e misure di *land-use change*) è lasciato a successivi approfondimenti.

Il lavoro è strutturato come segue: ad un inquadramento teorico sulla valutazione economica dei danni dei cambiamenti climatici segue l'analisi della letteratura esistente su vulnerabilità, impatti e adattamento su scala globale e regionale. Successivamente, si restringe il campo d'indagine a livello nazionale: sono identificati i settori vulnerabili nel contesto dell'economia italiana, vengono proposte stime d'impatto su tali settori e sono avanzate considerazioni economiche sulle opzioni di adattamento più interessanti. La terza parte considera invece problematiche locali: sono proposti un caso studio sulla piana di Fondi, interessata all'innalzamento del livello del mare, ed uno studio di fattibilità su tre comuni della regione Sicilia, dove le problematiche più preoccupanti sono la siccità ed il rischio di desertificazione. Nelle conclusioni sono evidenziati possibili orientamenti per la ricerca futura su impatti, vulnerabilità e adattamento ai cambiamenti climatici in Italia.

# 1. VALUTAZIONE ECONOMICA DEGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI: INQUADRAMENTO TEORICO

Gli impatti dei cambiamenti climatici sono stati un argomento di forte interesse fra gli scienziati fin dall'inizio del dibattito sui gas serra. Ciononostante, i primi tentativi di dare una quantificazione monetaria a questi impatti sono emersi solo recentemente, a partire dagli anni '90. Questo ritardo può essere ricondotto a due fondamentali ragioni:

– la valutazione economica richiede una conoscenza piuttosto accurata degli impatti in termini fisici. Tale comprensione è, a tutt'oggi, ancora piuttosto limitata, dato l'alto grado di incertezza proprio di tutto il processo che porta dalle emissioni antropogeniche, all'aumento della temperatura terrestre, agli effetti sui sistemi naturali ed umani, tenendo anche conto delle modificazioni che tali sistemi metteranno in atto nei prossimi decenni, sia in risposta al cambiamento climatico sia ad altri fattori di pressione;

– molte obiezioni sono state mosse alla stessa idea di dare una valutazione economica ad impatti che riguardano anche beni non di mercato, come la salute umana e la biodiversità.

Nel momento in cui è parso assai probabile che i cambiamenti climatici avranno impatti considerevoli sulla vita degli esseri umani, nonché sull'economia degli Stati, la necessità di una valutazione economica di tali effetti è divenuta innegabile, come strumento di ausilio ai policy makers per misurare la gravità del problema e quindi per ricavare informazioni sull'opportunità di interventi atti a ridurre le ripercussioni negative del fenomeno, nonché ad avvantaggiarsi di quelle positive.

Sono così stati messi a punto i primi modelli per dare una valutazione del cosiddetto danno da riscaldamento globale in termini economici. Lo studio pilota in tal senso è di Nordhaus (1991a e b), che giunge ad una quantificazione del danno pari a circa 0.25% del PIL degli Stati Uniti. Successivi studi (Cline, 1992, Titus, 1992, Tol, 1993) correggono questa stima al rialzo, così da arrivare ad un intervallo compreso fra 0.25% e 2.5% del PIL nazionale USA. Più recentemente, Nordhaus, raccogliendo le opinioni di esperti in vari settori, arriva ad un range compreso fra 0.7% e 8.2%, con un intervallo di confidenza del 90% e un valore mediano pari a 1.9% (Nordhaus, 1993 e 1994). Pur trattandosi di stime riferite agli Stati Uniti, gli autori ritengono di poterle estendere alla maggioranza dei Paesi sviluppati.

Le quantificazioni monetarie degli impatti del cambiamento climatico che sono state e continuano ad essere proposte in letteratura differiscono principalmente per il tipo di modellizzazione proposta [ad equilibrio parziale – o *enumeratives studies* (1) – e ad equilibrio generale – o *integrated assessments* (2)] e per le assunzioni che ne stanno alla base. In particolare, un fattore di discriminazione molto importante fra i modelli di valutazione è se prevedano o meno l'adattamento. La considerazione dell'adattamento è essenziale nella valutazione della vulnerabilità e degli impatti ed è quindi fondamentale per la stima dei costi e dei rischi del cambiamento climatico. Il

---

(1) Questo approccio analizza gli effetti dei cambiamenti climatici separatamente per ogni settore e considera il danno totale come somma degli impatti sulle singole categorie.

(2) In questo caso ogni fattore di pressione viene analizzato rispetto alle sue ripercussioni su un sistema di mercati interconnessi, tenendo conto di effetti indiretti e fenomeni di spill over fra i vari settori economici.

motivo sta nel fatto che la misura in cui i sistemi naturali ed umani sono vulnerabili è funzione sia della loro esposizione, o sensibilità, al cambiamento climatico, sia della loro capacità di adattamento, che può essere autonomo (es. spostamento verso nord degli ecosistemi), o pianificato (costruzione di protezioni costiere, campagne d'informazione agli agricoltori, vaccinazioni contro nuove malattie). Le variabili fondamentali che concorrono nel determinare gli impatti dei cambiamenti climatici sono schematizzate in figura 1.

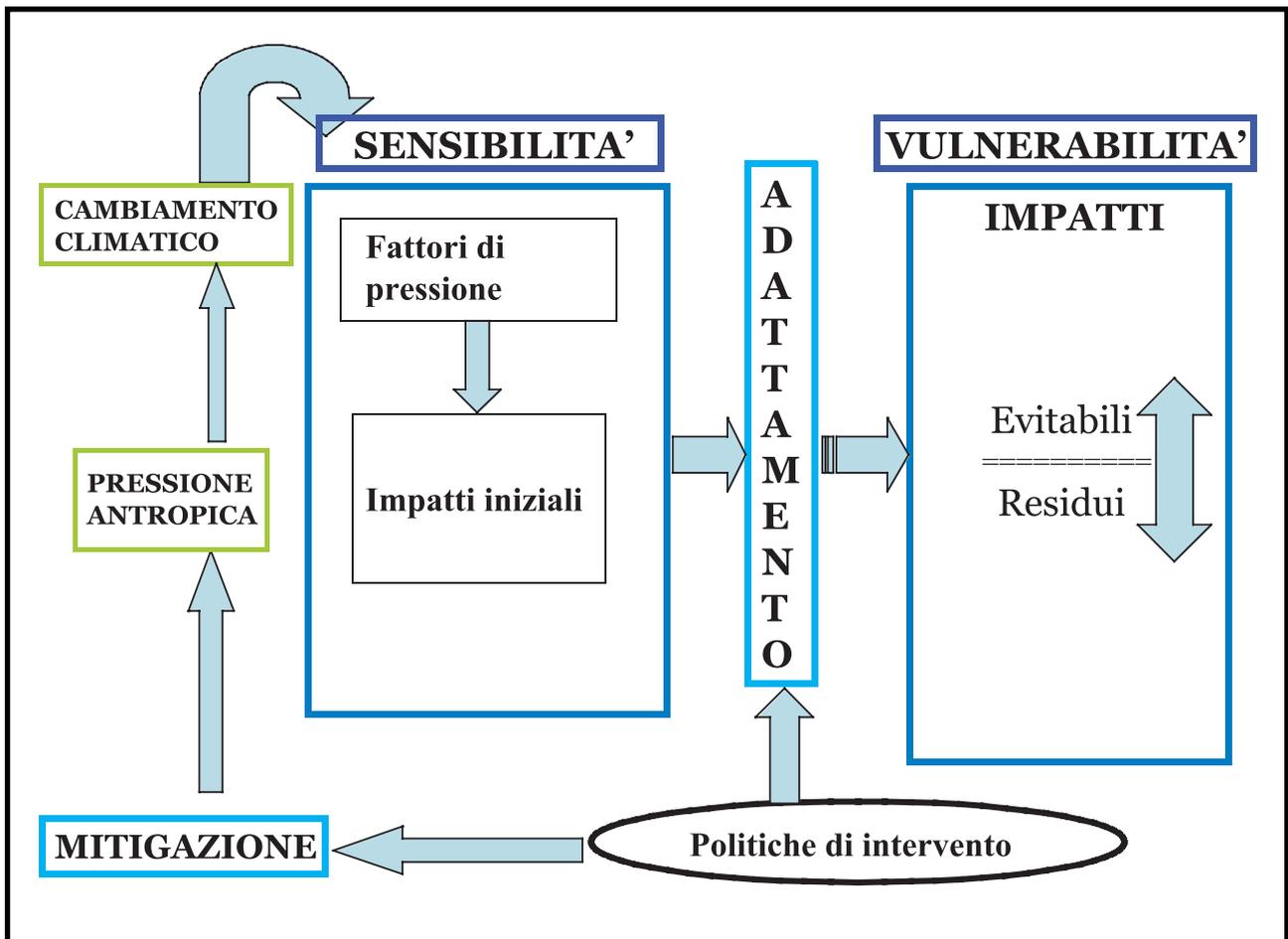


Figura 1 – Determinanti degli impatti dei cambiamenti climatici

Rispetto al fine di ridurre gli impatti negativi dei cambiamenti climatici, l'adattamento non deve essere visto come un'alternativa alle strategie di mitigazione, bensì come un necessario complemento (IPCC, 2001): anche nel caso in cui si prevedano riduzioni nelle emissioni di gas serra, le temperature globali continueranno ad aumentare, il livello del mare non smetterà di crescere e gli estremi climatici avranno una maggiore frequenza.

Da un punto di vista teorico, seguendo un approccio basato sull'efficienza economica (Fankhauser, 1995), i costi totali associabili al cambiamento climatico possono quindi essere visti come somma di:

- costi associati a misure di mitigazione;
- costi associati a misure di adattamento;
- costi associati al danno residuo.

Tra queste componenti esistono relazioni di *trade-off*:

- tra i costi di mitigazione e i costi di adattamento: in generale, più investimenti vengono fatti a livello globale per ridurre la concentrazione dei gas serra, minore sarà la necessità di interventi di adattamento (e viceversa);
- tra la somma dei costi di mitigazione ed adattamento ed il danno residuo: maggiori sono gli investimenti in politiche di mitigazione e adattamento, minori saranno i costi conseguenti al danno e viceversa.

Le interrelazioni tra le diverse componenti di costo sono esemplificate in figura 2.

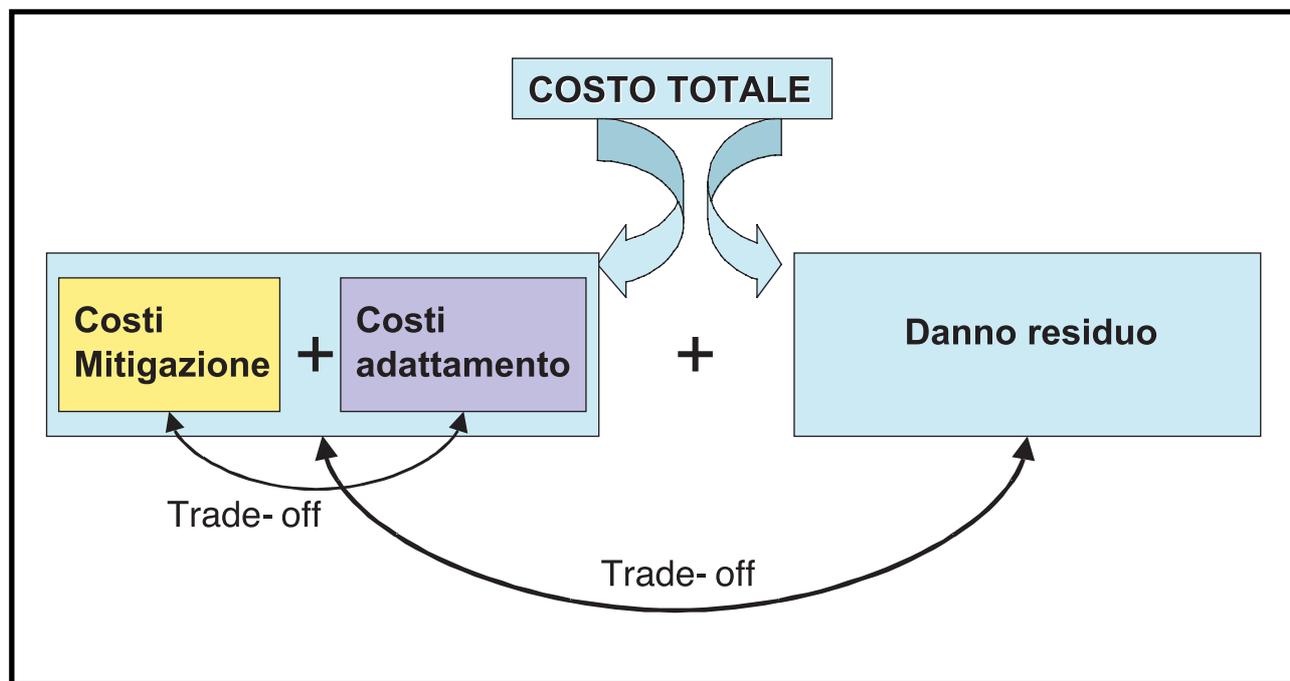


Figura 2: costo totale dell'impatto dei cambiamenti climatici

La quantificazione ed il confronto fra i costi delle politiche di mitigazione ed adattamento e i costi associati al danno residuo costituiscono, d'altra parte, due problematiche di non facile soluzione.

In particolare, il primo ostacolo - la quantificazione - consiste nella stima in termini fisici del danno residuo in presenza di mitigazione o adattamento e nella sua successiva trasposizione in termini economici, trattandosi in alcuni casi di impatti su beni non di mercato, come la salute umana. In secondo ostacolo - il confronto - è dato invece dall'esistenza di un consistente lag temporale fra il momento, identificabile con precisione, in cui si sostengono i costi di mitigazione/adattamento ed il periodo in cui presumibilmente si avverteranno i benefici di tali misure, periodo che può essere più o meno esteso e lontano nel tempo. Il confronto tra due categorie di costo temporalmente così distanti rende di cruciale importanza la scelta di un opportuno tasso di sconto, che può influenzare pesantemente ogni considerazione di opportunità rispetto a certe misure di abbattimento o adattamento.

Poiché, come si è visto, i costi totali dipendono crucialmente dalla misura in cui vengono adottati provvedimenti per abbattere le emissioni o per adattarsi ai cambiamenti climatici, da un punto di vista di efficienza economica il problema diviene quello di stabilire quale sia la misura di mitigazione/adattamento che, riducendo il danno residuo, minimizza i costi totali. In termini formali, si tratta di un problema di minimizzazione vincolata:

L'applicazione di modelli teorici di questo genere alle problematiche locali potrebbe dare preziose indicazioni ai policy makers sull'opportunità di elaborare norme/regolamentazioni atte a favorire, in maniera coercitiva o con mezzi di mercato, il raggiungimento dell'ottimo sociale. Per ottimo sociale s'intende una soluzione economicamente efficiente, considerando anche vincoli di natura sociale e/o morale.

$$\min_{e,a} CM(e) + CA(a) + DR(T, a) \quad (1)$$

s.v.

$$T = f(e)$$

---

con :

CM = costi di mitigazione

CA = costi di adattamento

DR = danno residuo

e = livello di abbattimento

a = grado di adattamento

T = temperatura

L'equazione (1) prevede la determinazione simultanea della combinazione ottima di abbattimento ed adattamento, dato il trade-off tra le due misure. Idealmente, quindi, la determinazione del mix ottimale dovrebbe avvenire contemporaneamente, ma nel mondo reale ciò non avviene, in quanto le decisioni rispetto ad abbattimento e adattamento sono solitamente prese a due livelli politici differenti: il target alle emissioni è generalmente stabilito a livello globale (Protocollo di Kyoto), mentre le strategie di adattamento vengono spesso lasciate alle autorità locali. Fankhauser (1995) ha però dimostrato che, se la funzione di costo totale è data da quella combinazione di costi di danno e costi di abbattimento/adattamento che minimizza il totale, una scelta simultanea ha lo stesso risultato di un problema a due fasi, in cui cioè le decisioni sull'adattamento sono prese localmente, mentre quelle di abbattimento a livello globale.

La letteratura esistente si concentra per lo più sulla determinazione della misura ottima di abbattimento, generalmente tramite l'applicazione dell'analisi costi-benefici a scenari che ipotizzino diversi livelli di abbattimento e la successiva individuazione dello scenario che comporta il maggior beneficio netto. Studi che considerino l'adattamento da un punto di vista di efficienza economica sono invece, come si vedrà nel paragrafo 2.2, quasi inesistenti.

Di conseguenza, solo pochi studi di valutazione d'impatto adottano una corretta specificazione della funzione di costo totale e la stima del danno può così risultare distorta: quando la quantificazione monetaria dei danni non tiene conto dell'adattamento, si ottiene generalmente una sovrastima dell'impatto. Altre volte, l'adattamento viene considerato, ma il livello di adattamento è imposto esogenamente, in maniera arbitraria o assumendo piena razionalità e informazione perfetta degli agenti, ipotesi, questa, squisitamente economica ma lontana dal comportamento reale degli indi-

vidui e dei Governi. Infine, nel caso di certi impatti (come il comfort degli individui) si considerano solo i costi di adattamento (es. la variazione della domanda di energia per il riscaldamento ed il condizionamento degli ambienti) e non il danno residuo, così da sovra o sottostimare il costo totale dell'impatto in questione.

Per tutte queste ragioni, l'IPCC (2001) raccomanda che gli studi di impact assessment tengano in debito conto l'adattamento. Per ottenere buoni risultati in tal senso, sono però necessari una migliore conoscenza dei processi di adattamento e la considerazione, per ogni impatto, di politiche alternative, considerando, quali criteri di valutazione, costi, benefici, equità, efficienza e fattibilità. A tale proposito, in *Handbook on Methods of Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies*, edito dall'UNEP, si propone una metodologia per la valutazione delle opzioni di adattamento. Tali raccomandazioni teoriche si scontrano però con importanti difficoltà pratiche, legate all'enorme complessità del problema, considerando che per ogni impatto esistono molte possibili opzioni di intervento e che la scelta dovrebbe essere dettata ogni volta dalle specificità locali, rendendo quindi necessario un numero assai elevato di studi *ad hoc*, con un notevole costo. Un altro ostacolo, di tipo più tecnico, è legato alle difficoltà di quantificazione dei costi e dei benefici.

Nel prossimo capitolo sarà passata in rassegna la letteratura internazionale più significativa rispetto alla vulnerabilità, alla valutazione degli impatti e all'adattamento. In seguito, si cercherà di utilizzare al meglio le informazioni ricavate dalla letteratura per applicarle al caso italiano, in modo da giungere, ove possibile, ad una valutazione economica dei principali impatti dovuti al cambiamento climatico in Italia, nonché di alcune strategie di adattamento per tipologia d'impatto.

## 2. ANALISI DELLA LETTERATURA INTERNAZIONALE IN TEMA DI VULNERABILITÀ

### 2.1 Studi d'impatto a scala globale

Il più recente rapporto dell'IPCC (2001) raccoglie l'evidenza scientifica ad oggi più completa sugli impatti, la vulnerabilità e l'adattamento ai cambiamenti climatici su scala globale, offrendo delle previsioni sugli impatti nei settori ritenuti più vulnerabili ed analizzandone la distribuzione regionale.

Le previsioni più attendibili sugli impatti degli eventi climatici estremi in Europa, in particolare nelle regioni del Sud, si possono sintetizzare ne:

- l'aumento dell'incidenza delle morti e di gravi malattie fra gli anziani e i poveri nelle zone urbane, il cambiamento nelle destinazioni turistiche, l'aumento del rischio di danni a vari tipi di raccolto, l'aumento della domanda di energia elettrica per il condizionamento *a seguito di temperature massime più elevate, di un aumento della frequenza di giornate calde e di ondate di calore;*

- la diminuzione della morbosità e della mortalità legate al freddo, la variazione della produttività di alcuni tipi di raccolto, la diminuzione della domanda energetica per il riscaldamento *a seguito di temperature minime più elevate, di una diminuzione della frequenza di giornate fredde e di ondate di freddo;*

- l'aumento delle inondazioni, delle frane, delle valanghe, del processo di erosione del suolo, della ricarica della falda in pianura a seguito delle inondazioni, delle pres-

sioni sui governi, sul sistema assicurativo privato e sulle operazioni di emergenza a seguito di precipitazioni più intense;

– la diminuzione della produttività di alcuni raccolti, la diminuzione della quantità ed il peggioramento della qualità dell'acqua, la diminuzione del potenziale di energia idroelettrica e l'aumento del rischio degli incendi nelle foreste a seguito dell'aumento della temperatura estiva e del rischio di siccità;

– l'aumento dei rischi per la vita umana e la salute, delle perdite sugli immobili e sulle infrastrutture, dei danni agli ecosistemi costieri a seguito della maggiore intensità di tempeste e bufere.

Rispetto alla vulnerabilità, l'evidenza scientifica raccolta dall'IPCC mostra che l'Europa è dotata di una buona capacità di adattamento, pur essendo le regioni del Sud più esposte alle conseguenze negative dei cambiamenti climatici. Con un'elevata probabilità, infatti, si prevede che nell'Europa del Sud nel periodo estivo diminuiranno la disponibilità d'acqua, e l'umidità del suolo, aumentando invece nel periodo invernale. Si prevedono inoltre repentini scioglimenti dei ghiacciai alpini, e l'aumento delle inondazioni delle acque dei fiumi. Nelle aree costiere il rischio di inondazioni, di erosione del suolo, e di perdita delle zone umide tenderà ad aumentare con forti implicazioni per gli insediamenti umani, l'industria, il turismo, l'agricoltura e gli habitat naturali costieri. Con buone probabilità la produttività in agricoltura nell'Europa del Sud diminuirà; le più elevate temperature potrebbero inoltre cambiare le tradizionali destinazioni del turismo estivo, mentre condizioni di innevamento più precarie potrebbero influire negativamente sul turismo invernale.

Agricoltura, turismo, industria, insediamenti umani e salute sarebbero quindi i settori maggiormente vulnerabili nell'Europa del Sud.

Gli indicatori generalmente identificati in letteratura per misurare la vulnerabilità sono il numero e le percentuali di persone, di specie, di interi sistemi o territori colpiti dai cambiamenti nel clima; i mutamenti nella produttività dei sistemi; il valore monetario del cambiamento di benessere; misure di disegualianza nella distribuzione della ricchezza e delle risorse.

Un indicatore innovativo, che sempre di più potrebbe offrire una buona indicazione di vulnerabilità, è la percezione del rischio dei cambiamenti climatici attesi incorporata nei premi assicurativi. La maggiore frequenza degli eventi climatici estremi imputabile ai cambiamenti climatici sembra, infatti, avere già un notevole impatto sul sistema assicurativo, inducendo una diversa gestione del rischio e causando un aumento dei premi.

Il rapporto del progetto Europeo *Acacia* (3) (Parry ed., 2000) mostra che il tifone Daria del gennaio 1990 causò perdite nel settore assicurativo di circa 5.7 miliardi di U.S.\$ (a prezzi del 1997) e 95 morti, e il tifone del febbraio dello stesso anno provocò 3.9 miliardi di U.S.\$ di perdite per il settore assicurativo e 64 morti: costi notevolmente superiori alla media. Secondo recenti informazioni giornalistiche (Edie News, 26 marzo 2002) il gruppo assicurativo Munich Reinsurance Group nel rapporto 2001 sulle catastrofi naturali riporta un aumento notevole nelle perdite legate all'assicurazione per calamità naturali su scala globale, imputabili primariamente al cambiamento cli-

---

(3) A Concerted Action Towards a Comprehensive Climate Impacts and Adaptation Assessment for the European Union

matico. Nel corso del 2001 sono state registrate 700 perdite legate a calamità naturali, con perdite economiche che sono cresciute del 20% fino a 36 miliardi di U.S.\$, e perdite assicurate che sono cresciute del 50% fino a 11.5 miliardi di U.S.\$, paragonate con i 7.5 miliardi di U.S.\$ dell'anno precedente. Anche se questi numeri includono anche perdite per disastri naturali non imputabili al cambiamento climatico, bufere e inondazioni investono più di 2/3 degli eventi calamitosi, e più del 92% delle perdite assicurate. Il tifone tropicale Allison, che colpì il sud degli Stati Uniti nel giugno 2001, rappresenta la calamità naturale più onerosa in termini economici, con una perdita globale di 6 miliardi di \$, per più della metà assicurata. I tifoni causarono invece una perdita di 600 milioni di dollari.

Questi numeri suggeriscono la rilevanza degli aspetti di gestione del rischio connesso ai cambiamenti climatici attesi, offrendo al contempo una misura approssimativa del danno economico degli impatti. La gestione del rischio dipenderà dalla percezione e dalla valutazione della vulnerabilità ai cambiamenti e dalle opzioni di adattamento.

## 2.2 Studi che considerano l'adattamento

Nonostante la riconosciuta importanza dell'adattamento nella stima degli impatti dei cambiamenti climatici, la maggior parte degli studi di *impact assessment* effettuati fino ad oggi ignora o accenna solo brevemente all'analisi delle azioni di adattamento. Esistono, in realtà, molti casi studio su determinate politiche di adattamento, ma sono in genere troppo specifici per area geografica e tipologia del problema per consentire di trarre conclusioni generali. Una rassegna della letteratura in tema di adattamento condotta da Tol *et al.* (1998) permette di trarre le seguenti conclusioni sulla qualità dei lavori esistenti:

- Le ipotesi fatte sull'adattamento sono spesso poco realistiche: si passa dalla cosiddetta ipotesi del *dumb farmer* (assenza di qualsiasi forma di adattamento), all'imposizione di misure arbitrarie, all'assunzione di cambiamenti radicali nelle infrastrutture, nelle istituzioni e nel comportamento degli individui.

- L'adattamento ha una grande influenza sul segno e sull'importanza degli impatti stimati: diversi studi mostrano come un effetto negativo dei cambiamenti climatici su un particolare settore (soprattutto l'agricoltura) può divenire positivo in caso di adattamento.

- I costi di adattamento sono riportati molto di rado: in genere viene presentata una misura del costo del cambiamento climatico data dalla somma dei costi di adattamento e del danno residuo, senza fare una chiara distinzione fra le due componenti.

- Per le ragioni precedenti, le informazioni che si ricavano da tali studi sono difficilmente utilizzabili dai decisori pubblici.

Dall'analisi dei risultati di alcuni autori (Cline, 1992, Tol, 1995, Fankhauser, 1995) è possibile tentare una quantificazione dei costi dell'adattamento rispetto all'impatto totale del cambiamento climatico. Le stime che ne derivano sono dell'ordine del 7-25% rispetto al costo totale (si richiama dal paragrafo 6.4.1 che il costo totale viene generalmente calcolato intorno al 2% del PIL nazionale nei Paesi Sviluppati). Va però tenuto conto del fatto che l'affidabilità di misurazioni di questo genere è assai limitata, sia perché non si tengono in alcun conto le specificità dei singoli Paesi, sia perché vengono considerate solo alcune misure di adattamento. In particolare, negli studi di *impact assessment* solo le seguenti voci di costo possono essere considerate costi di adattamento:

- protezione delle coste;
- spese per la climatizzazione degli ambienti;
- costi di migrazione e re-insediamento della popolazione.

Negli studi in cui si prevede adattamento in altri settori, come l'agricoltura o la salute pubblica, si assume implicitamente che tali politiche non diano luogo a costi per la società.

Una breve rassegna dei principali studi che considerano l'adattamento comporta una classificazione per tipologia di impatto:

#### **a) Innalzamento del livello del mare**

È senza dubbio il problema più analizzato negli studi di impact assessment. Alcuni lavori (Nicholls and Leatherman, 1995; Delft Hydraulics, 1993; IPCC, 1994) assumono dei livelli arbitrari di adattamento, ossia prevedono un caso di mancato adattamento, uno di protezione parziale (coste più densamente abitate o di maggiore importanza economica) e uno di protezione totale. La tipologia di protezione prevista è generalmente di tipo strutturale. In questi studi, i risultati sono volti alla stima della diminuzione della popolazione a rischio in caso di protezione delle coste e/o dei costi di tali misure.

Un altro approccio utilizzato in letteratura è quello di osservare come in passato le società e gli individui si sono adattati a variazioni nel clima per cercare di prevedere come si adatteranno in futuro. Studi che adottano tale approccio prendono il nome di *spatial e temporal analogues* e danno risultati solo a livello qualitativo, senza considerare costi ed efficacia delle politiche (Morrisette, 1988).

Un'ultima tipologia di studi segue l'approccio tipicamente economico di ottimizzazione del comportamento degli individui, assumendo razionalità degli agenti e, spesso, informazione perfetta rispetto al futuro livello del mare. Il tentativo è quello di stabilire quale sia la misura ottima di protezione delle coste. Per quanto riguarda l'area europea, l'ottimo si ottiene per lo più in caso di protezione quasi totale delle coste (Hope *et al.*, 1993; Fankhauser, 1995). In alcuni casi (Fankhauser, 1995; West *et al.*, 1997) si arriva ad una stima dei costi di adattamento. Va sottolineato che la maggior parte di questi lavori considera solo l'ipotesi di un innalzamento graduale del livello del mare e non l'impatto di eventi estremi sulle zone costiere. West *et al.* mostrano che il danno totale in quest'ultimo caso può aumentare anche di un ordine di grandezza, a causa di perdite di capitale in seguito all'evento.

#### **b) Impatti sull'agricoltura**

Gli studi che considerano un livello arbitrario di adattamento sono volti in genere ad analizzare l'impatto di specifiche politiche sulla produzione di certe colture. Le politiche previste possono essere sia di tipo tecnico (modificazioni nella gestione delle semine e dei raccolti), sia istituzionale (distribuzione delle risorse idriche) ed essere applicate in maniera più o meno intensiva. I risultati mostrano in generale che anche un moderato adattamento può ridurre di molto il danno apportato all'agricoltura dai cambiamenti climatici, ma la misura del danno evitato varia enormemente a seconda delle ipotesi sottostanti i diversi modelli, da pochi punti percentuali a livello globale (Rosenweig and Parry, 1994), al 30-60% per una specifica regione degli USA (Easterling *et al.*, 1993). Reilly *et al.* (1994), partendo dalle stime sulla produzione, calcolano l'im-

patto dell'adattamento sulla perdita economica a livello mondiale. Sotto certe ipotesi, nel passaggio da uno scenario di non-intervento ad uno in cui è previsto l'adattamento, la perdita economica si trasforma in un guadagno. Questi studi sono ovviamente inficiati dall'alto livello di incertezza rispetto alla quantificazione dell'impatto fisico dei cambiamenti climatici sulla produzione agricola. Inoltre, nessuno di questi lavori considera la componente di costo associata alle politiche di adattamento considerate. Più recentemente (Deke *et al.*, 2001) l'adattamento è stato considerato dal punto di vista dei meccanismi di mercato che si innescherebbero spontaneamente in seguito ad un impatto dei cambiamenti climatici sulla produttività della terra (diminuzione dell'offerta di certi prodotti agricoli, cambiamento dei prezzi relativi, riallocazione delle risorse all'interno del settore agricolo, effetti indiretti sugli altri settori e sul commercio internazionale). Il fine ultimo è quello di stabilire quale sia l'impatto sul benessere di varie macro-aree, confrontando scenari di non adattamento a scenari che tengono conto di aggiustamenti spontanei di mercato. Uno dei risultati più interessanti è che i Paesi Europei vedrebbero aumentare la loro competitività internazionale nel settore agricolo nel caso di un forte impatto dei cambiamenti climatici sulla produttività (high impact scenario). Ciò sarebbe dovuto al fatto che i Paesi più poveri (soprattutto India e Cina) subiranno presumibilmente impatti molto più gravi sul settore agricolo rispetto ai Paesi Europei, rendendo necessario un più massiccio ricorso all'importazione di beni alimentari dall'estero, per di più a prezzi accresciuti a causa del calo della produzione a livello mondiale. Al contrario, nei Paesi più sviluppati i meccanismi di mercato dovrebbero agire in modo da compensare, tramite una diversa allocazione dei fattori di produzione fra i vari settori economici, l'iniziale impatto negativo sull'output agricolo. Quindi, in seguito ai meccanismi spontanei di mercato, il livello di benessere in Europa non dovrebbe variare in modo rilevante.

Gli studi che si basano su *spatial e temporal analogues*, come nel caso dell'innalzamento del livello del mare, non danno indicazioni quantitative su costi ed efficacia delle politiche, ma offrono interessanti informazioni su come il clima abbia in passato modificato certi comportamenti degli agricoltori (Smit *et al.*, 1997; Darwin *et al.*, 1995) o il valore della terra (Mendelsohn *et al.*, 1994).

### **c) Impatti sul comfort termico degli individui**

L'adattamento a questo tipo di impatto consiste principalmente nell'acclimatamento degli ambienti, quantificabile attraverso le spese in energia sostenute per mantenere all'interno degli ambienti la temperatura attuale (Rosenthal *et al.*, 1995; Cline, 1992; Fankhauser, 1995). Presumibilmente, il riscaldamento globale in atto porterà ad una diminuzione della domanda di energia nei mesi invernali e ad un aumento durante i mesi più caldi, dovuto al maggior ricorso al condizionamento degli edifici (va però tenuto presente che l'adattamento via climatizzazione degli ambienti ha come effetto, oltre ad una riduzione del danno da discomfort termico degli individui, anche un indesiderato aumento delle emissioni, che può portare alla necessità di maggiori spese di abbattimento e/o ad un aggravarsi degli impatti). Di conseguenza, l'impatto economico netto non è prevedibile a priori e i diversi studi giungono a risultati molto disomogenei. Nel prossimo paragrafo saranno fatte alcune considerazioni sugli effetti sulla domanda di energia nel caso italiano e si cercherà di quantificare l'impatto economico associato.

### **d) Impatti sulla salute umana**

Alcuni studi (Department of Health of UK, 2001) prendono in esame i possibili effet-

ti che il cambiamento climatico avrà sulla salute delle popolazioni vulnerabili. Generalmente, tali effetti vengono classificati in quattro categorie fondamentali: patologie accentuate da stress termici (es. malattie cardiovascolari e respiratorie), malattie trasmesse da vettore (es.: malaria), patologie collegate all'ingestione di acqua o cibo infetti, effetti di eventi climatici estremi (es.: inondazioni). Tali studi, pur descrivendo possibili strategie di adattamento per ognuna delle problematiche di cui sopra, non accennano né ai costi, né all'efficacia di tali politiche. Un nuovo progetto finanziato dalla Commissione Europea (cCASHh), che si concluderà nel 2004, ha, fra gli scopi primari, quello di identificare alcune strategie di adattamento idonee a far fronte agli effetti nocivi sulla salute, anche da un punto di vista di costo-efficacia.

#### ***e) Impatti legati alla migrazione e al re-insediamento della popolazione a rischio***

A causa dell'aumento del livello del mare o degli impatti su determinati settori economici (es. agricoltura, turismo), parte della popolazione potrebbe decidere o essere costretta ad adattarsi migrando altrove. I costi legati alla migrazione e al re-insediamento sono quindi in stretto legame con l'adozione di misure difensive per le coste ed interventi di adattamento per particolari settori economici. La migrazione può essere sia interna al Paese, sia rivolta all'esterno. Quest'ultimo caso è il solo ad essere stato preso in esame dalla letteratura (Cline, 1992; Fankhauser, 1995; Tol, 1995). Gli studi esistenti stimano generalmente l'aumento di immigrazione nei principali Paesi e ne quantificano il costo associato, spesso in termini di mancato reddito nel Paese d'origine e di aiuti finanziari istituzionali previsti per gli immigrati.

### **3. IL CASO ITALIANO**

#### **3.1 Dimensione socio-economica della vulnerabilità**

Vulnerabilità al cambiamento climatico è definita dall'IPCC come "il grado di suscettibilità o dell'incapacità di un sistema di fare fronte agli effetti avversi del cambiamento climatico, inclusi la variabilità e gli eventi climatici estremi. La vulnerabilità è una funzione della natura, dell'entità e della rapidità del cambiamento climatico e della variazione alla quale un sistema è esposto, della sua sensibilità e capacità di adattamento" (4). La vulnerabilità della società e della natura ai cambiamenti climatici è ormai evidente e dimostrata dai danni, dalla sofferenza e dalle vittime causate da eventi estremi quali la siccità, le ondate di forte caldo o freddo, le inondazioni e le bufere: tutti fenomeni sempre più frequenti a livello globale.

Le caratteristiche della vulnerabilità al cambiamento climatico, considerando la capacità di un sistema di far fronte a fattori di stress e di ripristinare una situazione di equilibrio, rispondono non solo a criteri di natura ambientale, ma anche sociale ed economica: un'economia poco sviluppata sarà meno capace di reagire agli effetti del cambiamento climatico, sia attraverso la risposta delle istituzioni e dell'offerta di mercato che attraverso la risposta dal lato della domanda. Inoltre nelle società meno sviluppate si riscontra un minor livello di coordinamento e integrazione fra gli attori sociali ed economici rilevanti: fattore che ne amplifica la vulnerabilità. La maggiore

---

(4) "Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability", IPCC Report 2001

vulnerabilità ai cambiamenti a sua volta acuirà il disagio economico e sociale, incrementando le diseguaglianze e la frammentazione.

La capacità del sistema sociale e naturale di far fronte ed adattarsi ai cambiamenti climatici dipende dunque da innumerevoli fattori fra i quali la ricchezza e la sua distribuzione, la tecnologia, l'educazione, la conoscenza, le infrastrutture, la disponibilità e l'accesso alle risorse, le capacità gestionali, il livello di integrazione e di coesione sociale. Sfruttando una classificazione usata in letteratura<sup>5</sup>, che raggruppa le misure di adattamento in otto categorie (in base alla capacità di sopportare le perdite legate ai cambiamenti climatici, di dividere le perdite, di modificare la 'minaccia', di prevenire gli effetti, di cambiare gli usi di beni e servizi influenzati dai cambiamenti climatici, di cambiare ubicazione delle attività produttive, di investire in ricerca, e infine di educare, informare e incoraggiare comportamenti diversi), si può osservare come diversi livelli di sviluppo economico di un paese o di una regione permettano di adottare determinate misure di adattamento ai cambiamenti climatici, rendendo il paese o la regione più o meno vulnerabile ai cambiamenti stessi. Ad esempio regioni povere saranno più vulnerabili in quanto meno capaci di sopportare delle perdite attuando delle misure in risposta ai cambiamenti, di ri-localizzare le attività economiche, di investire nella ricerca a favore di nuove tecnologie e altre misure di adattamento, di diffondere informazione e conoscenze in grado di modificare il comportamento individuale e degli agenti di produzione.

Se si applicano queste considerazioni al caso italiano, si può osservare come le grosse diseguaglianze nel livello di sviluppo e nella natura dell'economia fra regioni, oltre alla diversità geografica e territoriale, possano indurre diversi gradi di vulnerabilità ai cambiamenti climatici. Rispetto all'iniquità nella distribuzione della ricchezza sul territorio, è utile osservare che, in base all'indagine ISTAT 2001, nel 2000 il 62.7% delle famiglie povere (6) risiedeva nel sud e nelle isole, rispetto al 15.3% nel centro ed al rimanente 22% nel nord, a fronte di un'incidenza della povertà in crescita. I settori generalmente identificati come più vulnerabili nel nostro paese sono l'agricoltura, le foreste, le acque, il turismo e la salute; le aree ritenute più vulnerabili sono le zone costiere, le zone aride e le zone alpine, soggette rispettivamente alle previsioni di innalzamento delle acque del mare e di mutamento del ciclo idrologico. Le regioni meridionali e le isole, dedite all'agricoltura, soggette a maggiore scarsità d'acqua e a forte vocazione turistica, sembrano dunque unire alla vulnerabilità economica un maggiore rischio di esposizione al cambiamento climatico.

Numerosi studi offrono stime sulla grandezza degli impatti (7) dei cambiamenti climatici in Italia. Quasi totalmente assenti invece sono studi volti ad esplorare la dimensione sociale ed economica della vulnerabilità e degli impatti del cambiamento climatico sul territorio, utili soprattutto nell'orientare le politiche di adattamento. Alcuni risultati interessanti a tal proposito sono emersi dal progetto WISE (Weather Impacts on Natural, Social and Economic Systems), finanziato dalla Commissione Europea e condotto in Italia nel corso del triennio 1997-1999 dalla Fondazione Eni Enrico Mattei, volto a valutare l'impatto delle variazioni nel clima, in particolare di estati molto calde

---

(5) Burton et al, *The Environment as Hazard*, 1993

(6) Queste % misurano la povertà relativa, determinata ogni anno rispetto alla spesa media mensile pro capite per consumi delle famiglie (pari nel 2000 a £ 1.569.000)

(7) Per una lettura esaustiva dei principali impatti del cambiamento climatico in Italia si veda il rapporto 1999 elaborato dal Ministero dell'Ambiente in collaborazione con la Columbia University di New York e il Goddard Space Institute della Nasa

e di inverni miti, sui sistemi naturali, sociali ed economici di alcuni paesi Europei, comprendendo là dove possibile anche una valutazione economica. Il progetto ha comportato la realizzazione di studi analoghi nei paesi *partner* partecipanti al progetto: l'Italia, il Regno Unito, la Germania e l'Olanda. Lo studio è stato di duplice natura, riguardando sia la percezione individuale degli impatti del cambiamento climatico sulla vita di tutti i giorni attraverso questionari ed interviste, sia la valutazione quantitativa degli impatti delle variazioni nel clima su alcuni settori dell'economia mediante l'utilizzo di modelli econometrici e dati delle statistiche nazionali.

In Italia, i risultati dell'indagine soggettiva (8) che emergono dagli esiti di un questionario rivolto ad un campione di 300 individui estratto dalle regioni Lombardia e Sicilia indiscutibilmente mostrano che stagioni climatiche estreme, in particolare le estati molto calde, hanno un impatto negativo sulla vita degli individui intervistati, che varia comunque fra le due regioni; in genere il benessere, il lavoro, il tempo libero, la salute, le attività domestiche, la scelta dei mezzi di trasporto sono fortemente influenzati dagli estremi climatici. L'impatto più negativo delle stagioni eccezionalmente calde sul benessere e sulla qualità della vita è identificato, soprattutto al Nord, con il peggioramento della qualità dell'aria. Il consumo di acqua e di energia risulta essere abbastanza sensibile alla variazione del clima, particolarmente al Sud, dove tende ad aumentare durante le estati estremamente calde e scarsamente piovose.

Le differenze regionali fra il Nord e il Sud inducono forme diverse di 'adattamento' al cambiamento climatico: nel Sud, in Sicilia, gli individui tendono a trascorrere più tempo libero all'aria aperta, in spiaggia ed al mare, abbandonando attività *indoor*, mentre al Nord, in Lombardia, gli intervistati tendono a trascorrere più tempo generalmente a contatto con la natura, a frequentare più spesso le piscine, ad usare di meno i mezzi di trasporto pubblico e le auto private favorendo l'uso di biciclette e motorini. Gli individui non sembrano invece adattare le proprie scelte turistiche agli estremi climatici: una leggera variazione si osserva solamente nell'aumento delle gite brevi in giornata in corrispondenza di estati molto calde. Dalle interviste emerge in modo trasparente che la maggioranza degli intervistati ritiene la prospettiva del *global warming* molto reale e preoccupante.

L'analisi quantitativa ha invece permesso di valutare l'incidenza di anomalie nel clima su vari settori, sulla base di dati relativi all'ultimo trentennio (9) e per tutte le regioni italiane.

***In base ai risultati dell'analisi, risultano vulnerabili alle variazioni climatiche estreme soprattutto gli incendi, e in misura variabile in relazione alla distribuzione regionale e intra-annuale, il turismo, il consumo energetico e la produzione in agricoltura.***

Il progetto non è stato in grado di misurare l'impatto delle variazioni climatiche e delle stagioni estreme sul settore assicurativo, data l'assenza di informazioni, e sul consumo d'acqua, a causa della natura frammentaria dei dati disponibili; tuttavia numerosi casi di studio condotti di recente nelle zone del Nord d'Italia mostrano che le variazioni climatiche degli ultimi anni hanno fortemente minacciato la capacità dei bacini alpini di garantire a valle un deflusso minimo vitale costante (10) delle acque dei fiumi che da essi si generano.

---

(8) L'indagine è stata condotta nel corso del 1998

(9) Le serie storiche, ove i dati sono risultati disponibili, si estendono dal 1965 al 1994

(10) Come previsto dal D.Lgs. 183/1989 in recepimento delle direttive europee.

Rispetto agli **incendi**, nel 1985, anno in cui si è verificata un'estate eccezionalmente calda e asciutta, il modello stima un aumento nel numero degli incendi medi per regione imputabile alle variazioni climatiche pari a 328. Operatori del Corpo Forestale e Vigilanza Ambientale della Regione Sardegna riportano un anticipo della campagna anti-incendio dovuto alle recenti stagioni estive particolarmente calde, con un notevole aumento dei costi diretti ed impliciti della campagna stessa. Negli anni in cui si sono verificate le estati più calde, il 1985 ed il 1994, le spese di ripristino per i danni derivanti dagli incendi sono state considerevolmente superiori a quelle sostenute negli anni immediatamente precedenti: nel 1994 ad esempio le spese ammontarono a 86 miliardi di lire correnti, pari a ca. 44,415 milioni di Euro, superiori del 26,3% rispetto alle spese di ripristino sostenute nella stagione precedente.

Rispetto al **turismo**, le stime rivelano che il turismo domestico risulta abbastanza sensibile alle variazioni climatiche, anche se la natura della variazione della domanda di turismo muta nell'arco dell'anno e in relazione alle caratteristiche delle regioni considerate, con degli effetti totali che sembrano compensarsi. Misurando i flussi di turismo interno in base al numero di notti registrate presso gli esercizi ricettivi del turismo, le stime mostrano che mesi estivi molto caldi tendono a diminuire il flusso di turismo stagionale in misura pari a 39.494 registrazioni per notte in media per regione, ovvero pari all'1,22%. Tuttavia la distribuzione regionale degli effetti di un aumento della temperatura non è omogenea: il turismo estivo verso le sole zone costiere aumenta in corrispondenza di estati particolarmente calde, indicando un possibile cambio di destinazione del turismo interno estivo verso zone che offrano maggiore refrigerio. Nelle sole regioni costiere si stima che un aumento di 1° nella temperatura estiva comporti un aumento pari a 62.294 registrazioni per notte. Nelle regioni alpine invece un aumento della temperatura ed una diminuzione della piovosità invernali rispetto alla norma hanno un impatto negativo sul turismo invernale, probabilmente per effetto degli sport legati alla neve. Si stima che un aumento di 1° nella temperatura nel mese di dicembre comporti una diminuzione dei flussi turistici nel mese di gennaio nelle sole regioni alpine pari a 30.368 registrazioni per notte.

Più chiara è la risposta del **settore energetico** agli estremi in aumento della temperatura, nell'ambito del quale si osserva addirittura un aumento di benessere derivante da stagioni eccezionalmente calde. Infatti, le stime mostrano che il consumo di gas e di energia elettrica per uso domestico tendono a diminuire durante anni particolarmente caldi, sia durante il periodo estivo che invernale, con una diminuzione maggiore durante gli inverni più miti rispetto alla norma che non durante le estati estremamente calde. Nel 1994, anno particolarmente caldo, si stima che il consumo invernale di gas per uso domestico in media in Italia sia diminuito di 510.000.000 tep (tonnellate equivalenti di petrolio), pari ad una riduzione della spesa di 414 milioni di lire a prezzi correnti, o 213. 810 Euro.

Riguardo alla **salute**, è stato valutato l'impatto del clima sulla mortalità dovuta a malattie di natura cardiovascolare e respiratoria, quindi più soggetta all'influenza di parametri climatici. Le stime mostrano che elevate temperature nei mesi estivi tendono ad aumentare la mortalità, mentre temperature più elevate rispetto alla media durante i mesi invernali tendono a ridurla. Tuttavia, prescindendo dal valore della vita umana, i numeri che emergono dall'analisi sono molto piccoli: un aumento di 1° nella temperatura media estiva comporterebbe in media 27 morti in più in tutto il Paese. Sempre in base alle stime, l'estate eccezionalmente calda del 1994 avrebbe comportato un aumento delle morti in media nel Paese pari a 63.

In **agricoltura** solo alcuni prodotti risultano essere particolarmente sensibili all'aumento della temperatura, con conseguenti danni economici: la stagione eccezionalmente calda e asciutta del 1985 ad esempio spiega una diminuzione del raccolto di patate in media in ogni regione pari a 13 quintali per ettaro, equivalente ad una perdita in moneta di 376.346 lire per ettaro, a valori correnti, pari a ca. 194 Euro. Analogamente la stagione estrema del 1994 avrebbe comportato una diminuzione nella produzione di vino in media in ogni regione pari a 519 migliaia di ettolitri, con una perdita monetaria complessiva di 44.677.395 migliaia di lire a valori correnti, o 23 milioni di Euro circa. Il quadro delle risposte dell'agricoltura al clima tuttavia non è omogeneo: la produzione di frutta sia al Nord che al Sud è favorita dall'aumento della temperatura, mentre la produzione di grano non risulta essere particolarmente sensibile.

I risultati di questo studio essenzialmente confermano le previsioni suggerite a livello regionale dal più recente rapporto IPCC e suggeriscono la rilevanza dell'impatto economico e sociale dei cambiamenti climatici soprattutto per alcuni settori. La scarsa disponibilità e accessibilità ai dati e alle informazioni rilevanti non ha tuttavia permesso di studiare tutti i settori vulnerabili e di sviluppare un quadro complessivo sulla dimensione socio-economica dei cambiamenti. Nonostante il limite delle stime proposte, e della conseguente valutazione economica, l'analisi mette in luce la variabilità degli effetti dei cambiamenti climatici sul territorio anche in relazione ai diversi contesti di sviluppo economico del Paese, estendendo il concetto di vulnerabilità e stimolando la necessità di ulteriori studi e ricerche per una migliore definizione e orientamento delle politiche di adattamento.

### 3.2 Considerazioni economiche su alcune possibilità di adattamento

Il Third Assessment Report dell'IPCC, relativo a impatti, adattamento e vulnerabilità, afferma che il potenziale di adattamento dei sistemi socio-economici in Europa è piuttosto alto, grazie alle condizioni economiche (PIL elevato e crescita a tasso costante), ad una popolazione stabile e a sistemi politici, istituzionali e tecnologici ben sviluppati. D'altro canto, lo stesso rapporto indica come particolarmente vulnerabili ai cambiamenti climatici le aree del Sud Europeo, soprattutto le zone costiere e quelle più marginali e con condizioni economiche più disagiate.

Data la topografia del nostro Paese, un'importante fonte potenziale di rischio è costituita dall'**innalzamento del livello del mare**, soprattutto a causa della marcata presenza sia di zone residenziali, sia di attività economiche nelle aree costiere italiane. Di conseguenza, nelle zone litoranee che, in seguito a recenti studi condotti soprattutto dall'ENEA, risultano più vulnerabili, è auspicabile un intensificarsi della ricerca sulle migliori opzioni di adattamento, anche dal punto di vista di efficienza economica. Sebbene l'evidenza degli ultimi anni sia per un livello del mare piuttosto stabile, le previsioni per i decenni futuri sono soggette ad un fortissimo grado di incertezza. Inoltre, è assai probabile che, nonostante i valori medi di innalzamento della temperatura e del livello del mare tenderanno a crescere molto lentamente, rendendo gli impatti poco percettibili, i **fenomeni estremi** (inondazioni, alluvioni) aumenteranno di frequenza fin dai prossimi anni. In considerazione di ciò, rimandare interventi di protezione delle coste e degli argini di fiumi e laghi fino a che non si rendano assolutamente necessari potrebbe rivelarsi una strategia perdente, a causa del rischio di ingenti perdite di capitale fisico. La stessa conclusione riguardo all'opportunità di predisporre preventivamente determinate misure di adattamento, in particolare se di

lunga durata e non recuperabili, è stata raggiunta, in seguito ad una dimostrazione economica formale, da Fankhauser *et al.* (1999). Un comportamento proattivo rispetto all'adattamento avrebbe, inoltre, sicuri benefici sul settore assicurativo, riducendo di molto la tendenza al levitare dei premi nel settore *property* che si sta osservando in questi ultimi anni.

Settori quali il **sistema delle acque** e l'**agricoltura**, destinati a subire forti impatti nei prossimi decenni, necessitano altresì di importanti misure di adattamento, e in questo caso l'entità del pericolo di un posticipo degli interventi è assai più chiaro. Basti pensare alla difficilissima situazione che ampie zone del Sud Italia, e in particolare la Sicilia e la Sardegna, stanno sperimentando, in seguito ad una stagione invernale particolarmente secca: da mesi la disponibilità di acqua è ridottissima anche per gli usi domestici, cosicché il settore agricolo viene penalizzato ancor più rispetto alla norma. Oltre a ragioni climatiche ed ambientali, a favorire un processo di desertificazione nel Sud concorre anche la carenza infrastrutturale ed un'inefficienza e malagestione delle strutture esistenti. Progetti di fondamentale importanza quali la riparazione o sostituzione di lunghi tratti della rete idrica o la costruzione di condotte ed impianti di pompaggio in molte zone del Sud comportano grossi impegni finanziari, ma tali spese non dovrebbero interamente rientrare nella categoria dei costi di adattamento, trattandosi di interventi *no-regret*, ossia necessari anche a prescindere dall'impatto dei cambiamenti climatici. Nell'Italia settentrionale, per l'agricoltura dovrebbero essere sufficienti investimenti economici molto meno ingenti: si tratterebbe fondamentalmente di modificare i sistemi di gestione delle acque ed alcune pratiche agricole, con interventi strutturali limitati. Rispetto al rischio di danno alle coltivazioni in seguito ad alluvioni, massicce misure di protezione degli argini e la predisposizione di piani di emergenza saranno invece necessarie soprattutto al Nord. Un'altra modalità d'intervento assai auspicabile è quella dell'informazione del mondo agricolo rispetto alle tendenze climatiche future, alle coltivazioni e alle pratiche agricole più adatte nella nuova situazione, in modo da favorire un adattamento autonomo tempestivo, che ridurrebbe di molto le possibili perdite monetarie nel periodo di transizione verso i nuovi scenari climatici. Infine, è importante evitare di dare segnali di mercato distorti: poiché le persone modificano i loro comportamenti solo nel caso in cui questo cambiamento si traduca in un aumento di benessere, permettere ai segnali di mercato di guidare le scelte degli agenti verso un corretto adattamento è di importanza fondamentale. Un esempio è quello dei sussidi statali o dei prezzi minimi garantiti per certi prodotti agricoli: se l'intervento statale maschera segnali negativi di mercato rispetto a certe tipologie di coltivazioni, gli agricoltori non cambieranno le loro decisioni, per esempio decidendo di modificare la varietà dei raccolti (Fankhauser *et al.*, 1999).

E' auspicabile che rientrino nell'agenda di programmazione economica anche interventi a favore di altri settori vulnerabili ai cambiamenti climatici con un forte impatto sulla sfera sociale, come la **sanità pubblica**. A tale riguardo, come già accennato, l'Organizzazione Mondiale della Sanità sta coordinando uno studio finanziato dall'Unione Europea (*Climate Change and adaptation strategies for human health in Europe*), che si concluderà nel 2004, volto alla valutazione della vulnerabilità della popolazione europea agli impatti sulla salute derivanti dai cambiamenti climatici, nonché all'individuazione delle politiche di adattamento per la salute più efficaci, anche da un punto di vista economico. E' assai probabile che un caso studio sarà proprio sull'Italia.

Altri settori ad elevata vulnerabilità, quali il **turismo**, il **settore energetico** (in particolare idroelettrico) ed **assicurativo**, pur essendo a forte connotazione privatistica,

potrebbero necessitare di interventi di regolamentazione e/o di sussidi economici per raccogliere le nuove sfide derivanti dai cambiamenti climatici.

Valutazioni economiche relative all'adattamento in Italia sono quasi inesistenti, ad eccezione di studi legati a problematiche molto specifiche, come l'acqua alta a Venezia, che hanno un enorme valore a livello locale, ma non possono essere facilmente replicati per l'applicazione ad altre realtà. Nella rassegna della letteratura internazionale si è però sottolineata l'esistenza di alcuni lavori di tipo accademico che, adottando un approccio di modellistica, mirano a valutare i risvolti economici di determinate tipologie di intervento.

Ad esempio, rispetto all'innalzamento del livello del mare è molto istruttivo il modello di Fankhauser (1995), che ha l'obiettivo di derivare la percentuale ottimale di protezione delle coste da un punto di vista di efficienza economica, ossia di minimizzazione del costo totale (5), fornendo dati disaggregati per i singoli Paesi, compresa l'Italia. Da questo studio risulta che, in generale, l'impatto di un aumento del livello del mare sulla percentuale ottima di protezione delle coste non è definibile a priori. Dato un aumento del livello del mare, infatti, da una parte c'è lo stimolo ad una maggiore protezione, dato che un'area più ampia viene minacciata e i benefici della protezione aumentano; d'altra parte, anche i costi di protezione aumentano. L'esito finale dipende dall'importanza relativa di questi due effetti.

Fankhauser ipotizza un aumento del livello del mare pari a 100 cm nel 2100. In questo caso, secondo il modello all'Italia converrebbe proteggere quasi interamente le sue coste, dato l'alto valore economico di gran parte del nostro litorale. In particolare, in corrispondenza di città e porti il modello restituisce un valore molto prossimo al 100%, per le coste aperte la percentuale ottima scende al 95% (contro una media OECD pari all'80%), mentre per le spiagge si ha l'ottimo in corrispondenza del 90%, (OECD: 57%). Nello studio viene anche fornita una stima dei costi di impatto, compresi i costi di protezione costale.

Modelli di questo genere sono interessanti dal punto di vista dell'approccio teorico al problema, ma, dato l'elevato livello di astrazione insito nei modelli globali, non sono utili nell'indicare una metodologia applicabile a problematiche locali.

Per quanto riguarda l'adattamento nel settore agricolo, come si è visto nel paragrafo 2.2, parecchi studi indicano che in zone non particolarmente vulnerabili (come l'Italia Settentrionale) anche interventi di basso costo, che prevedano ad esempio modifiche dei giorni di semina o un utilizzo più oculato delle risorse idriche, potrebbero contribuire enormemente a limitare i danni che i cambiamenti climatici causerebbero in assenza di adeguate modifiche comportamentali, gestionali e/o strutturali. Sotto determinate ipotesi, in seguito ad un'oculata azione di adattamento, gli impatti dei cambiamenti climatici potrebbero addirittura avere effetti economici positivi.

Per le zone, come l'Italia del Sud, più esposte agli impatti negativi dei cambiamenti climatici, possono essere utili studi condotti con riferimento ad alcuni Paesi dell'area Mediterranea, destinati a fronteggiare problematiche simili a quelle del Sud-Italia, soprattutto rispetto alle risorse idriche. Ad esempio, M. El-Fadel and E. Bou-Zeid (2001) hanno preso in considerazione, per il Medio Oriente, diverse opzioni per l'adattamento ad una prevista diminuzione della disponibilità d'acqua, per usi sia civili, sia industriali ed agricoli. Fra le misure di adattamento ipotizzate ci sono politiche di prezzo per controllare la domanda d'acqua, la conservazione di parte dell'acqua in eccesso in caso di periodi di intense precipitazioni, il riutilizzo delle acque di scarico, la desalinizzazione di acqua marina e salmastra. Per alcune di queste tipologie di intervento sono stati calcolati i costi giornalieri.

In generale, da una rassegna della letteratura esistente in tema di aspetti economici dell'adattamento, si può osservare che le informazioni derivabili da tali studi sono di scarsa utilità per i decisori pubblici. Un approccio consigliabile per affrontare problematiche relative all'adattamento consiste in:

- studi a carattere locale;
- utilizzo di metodologie replicabili per l'applicazione a diverse realtà locali;
- considerazione di singoli impatti;
- analisi di diverse alternative di adattamento per ogni impatto.

Nel prossimo capitolo si cercherà di seguire questi criteri in uno studio-pilota sull'adattamento all'innalzamento del livello del mare.

## 4. CASI STUDIO A LIVELLO LOCALE

È già stato più volte sottolineato come l'applicazione alle realtà locali delle strategie di adattamento non possa prescindere da un'attenta analisi qualitativa e quantitativa degli impatti attesi sul territorio. D'altro lato, la predisposizione di studi *ad hoc* in ogni area vulnerabile e per ciascun tipo di impatto comporta molte problematiche, tra cui tempi lunghi e costi elevati. Di qui nasce l'importanza di condurre studi-pilota per le principali tipologie di impatto in aree particolarmente rappresentative del territorio nazionale, studiando una metodologia che possa essere facilmente replicata per altre zone a rischio.

In questo studio sono stati scelti due tipi di impatto – l'innalzamento del livello del mare ed il rischio di desertificazione - rispetto ai quali il territorio italiano risulta particolarmente vulnerabile. Sono quindi state individuate alcune aree rappresentative: la Piana di Fondi - come prototipo delle pianure italiane soggette al rischio di allagamento per innalzamento del livello del mare – ed i comuni di Licata, Cammarata e Ribeira – come archetipi di aree costiere, montuose e collinari con un'economia incentrata sulla produzione agricola e/o sulla zootecnia, fortemente minacciate dal rischio di desertificazione.

Mentre nel caso della Piana di Fondi la metodologia proposta è già stata applicata e ha fornito risultati da cui è stato possibile ricavare delle conclusioni in merito all'opportunità di adattamento, il caso dei comuni siciliani è stato analizzato, per il momento, dal punto di vista preliminare della fattibilità.

Il limite principale di questo tipo di studio consiste nel suo carattere monodisciplinare: il punto di vista economico è solo uno degli innumerevoli aspetti che dovrebbero essere presi in considerazione quando si affrontano studi di impatto dei cambiamenti climatici e di adattamento.

### 4.1 L'innalzamento del livello del mare nella Piana di Fondi: analisi d'impatto e di adattamento

#### 4.1.1 Motivazioni dello studio

Questo lavoro ha lo scopo di verificare l'opportunità di azioni di adattamento all'innalzamento del livello del mare nella Piana di Fondi, con un'ottica strettamente eco-

nomica. Questo esercizio è concettualmente riconducibile al problema di minimizzazione dei costi totali dell'impatto dei cambiamenti climatici visto nel primo capitolo (equazione 1). Il problema è in questo caso semplificato per le seguenti ragioni:

– Non si considerano costi di mitigazione, la cui inclusione non è significativa in studi a carattere locale.

– In caso di adattamento, il danno residuo è ipotizzato pari a zero: mettendo in atto opportune misure di protezione delle terre a rischio di allagamento, si assume che non vi sarà alcuna perdita di valore di tali aree in seguito all'innalzamento del livello del mare.

Date queste premesse, l'adattamento si giustifica, da un punto di vista di *cost efficiency*, se si verifica la seguente condizione:

$$\text{Costo adattamento} < \text{danno conseguente all'impatto}$$

Il danno conseguente all'impatto consiste nel valore economico della terraferma a rischio di allagamento. In altre parole, si assume che, nel caso di assenza di adattamento, tutta l'area che entro il 2100 sarà sotto il livello del mare andrà perduta.

Il fine ultimo dell'analisi è quindi quello di stabilire se l'adozione di misure di protezione delle aree sotto il livello del mare comporti un maggiore o minore dispendio di risorse rispetto all'ipotesi di non intervento.

#### 4.1.2 *Le ipotesi considerate*

Si sono prese in considerazione tre diverse ipotesi:

- 1) Assenza di adattamento
- 2) Prima ipotesi di adattamento: potenziamento del già esistente sistema di bonifica
- 3) Seconda ipotesi di adattamento: ricostruzione dell'antica duna naturale per la protezione delle aree retrodunari.

È possibile condurre un'analisi di cost-efficiency anche rispetto ad una sola opzione di adattamento. In questo caso, la scelta di indagare due alternative di adattamento è stata fatta anche nella prospettiva di estendere questo genere di studio oltre l'ottica strettamente economica. Nel momento in cui vengano considerate anche altre variabili (es: esistenza di portatori d'interesse con preferenze differenti rispetto alle opzioni di adattamento), la considerazione di più alternative permette di effettuare analisi più complesse, come l'analisi a molti obiettivi.

#### 4.1.3 *La Piana di Fondi: territorio ed economia*

La Piana si estende su una superficie di circa 6000 ettari (di cui 1150 ha si trovano già oggi sotto il livello del mare). Il suo territorio comprende gran parte del Comune di Fondi (LT), oltre a piccole porzioni dei Comuni di Monte S.Biagio e Sperlonga. La popolazione si aggira intorno alle 30.000 unità, mentre il PIL pro capite è di circa EUR 13.000 annui.

Il territorio è caratterizzato da:

- un’ampia pianura bonificata ad uso agricolo (60% coltivazioni intensive in serra);
- una fascia litoranea di circa 14 Km con un’alta valenza turistico-balneare, ma ancora poco sfruttata;
- il lago di Fondi (lago salmastro ricco di specie rare), che possiede un grande potenziale turistico- naturalistico, ma non è tuttora valorizzato;
- un’economia fortemente sorretta settore agricolo/alimentare (piccole imprese familiari + Mercato Ortofrutticolo): più del 16% della popolazione attiva è impiegata in attività agricole o collegate all’agricoltura;
- una vasta area di demanio pubblico, adibita per lo più ad uso agricolo. Di questa, una porzione è soggetta ad autorizzazione alla modifica (probabile trasformazione in area edificabile e sviluppo di strutture ricettive per il turismo);
- un notevole numero di costruzioni abusive in aree a destinazione agricola.

#### 4.1.4 La Metodologia

L’analisi si è sviluppata con l’obiettivo di attribuire un valore economico alle aree a rischio di allagamento e di confrontare successivamente tale valore con il costo dei due interventi di protezione alternativi. Il punto di partenza è consistito nel calcolo, mediante tecniche informatiche basate sui GIS, delle aree a rischio (ossia, sotto quota zero) in tre punti temporali corrispondenti a diversi livelli del mare (2002, 2050, 2100), distinguendo l’area a rischio secondo la destinazione d’uso (terreni agricoli, terreni edificati, aree boschive, ecc.).

Quindi, l’analisi è proseguita con:

- La stima delle aree agricole a rischio nei tre anni considerati con un maggior livello di dettaglio:
  - determinazione delle quote di terreno agricolo s.l.m. di natura torbosa e non torbosa e della quota coltivata a serre, grazie all’analisi dell’ortofoto del Comune di Fondi.
  - determinazione delle aree agricole a rischio secondo la proprietà (terreno privato, demaniale, comunale, ecc.), sulla base della carta degli usi civici del Comune di Fondi, appositamente georeferenziata.
- L’attribuzione di un valore economico alle aree a rischio secondo destinazione d’uso, natura e proprietà del terreno, riferendosi ove possibile al valore commerciale. Il valore per ha (o per mq, nel caso delle abitazioni) è stato ricavato da interviste ad operatori locali, con un riscontro basato su statistiche nazionali (es: INEA)
- Il calcolo del flusso di reddito generato nelle aree a rischio, tramite il rapporto del reddito totale prodotto nel territorio della Piana rispetto alla superficie s.l.m. nei tre anni considerati.
- La scelta di due differenti tassi di sconto (3% e 1%) per effettuare un’analisi di sensitività.
- La considerazione di due scenari (high e low) caratterizzati da diverse ipotesi laddove il grado di incertezza è risultato più alto e la scelta soggettiva del ricercatore più determinante rispetto al risultato dell’analisi. In particolare:
  - Low:** valore nullo case abusive
  - basso valore case in area con autorizzazione alla modifica
  - alta % terreno torboso, bassa % terreno a serra

**High:** 0 < valore case abusive < valore case in terreno edificabile  
 > valore case in area con autorizzazione alla modifica  
 < % terreno torboso, > % terreno a serra

Per ognuno degli scenari (*high* e *low*) e utilizzando i due diversi tassi di sconto è stato così calcolato il valore atteso di tutta l'area a rischio. Le variabili fondamentali prese in considerazione sono state:

- il valore commerciale delle aree agricole, differenziato a seconda della qualità del terreno coltivato (torboso, non torboso, a serra) e della proprietà (privata o demaniale)
- il valore commerciale delle case, differenziato a seconda dell'edificabilità o meno del terreno. In caso di terreno non edificabile, il valore delle case abusive è fatto variare da zero ad un valore positivo passando dallo scenario *low* allo scenario *high*.
- il reddito prodotto nell'area a rischio.

Il calcolo effettuato può essere riassunto dall'equazione (2), in cui il primo addendo si riferisce al valore dell'area che già oggi si trova s.l.m., mentre il secondo e terzo addendo considerano la superficie che scenderà s.l.m. fra il 2002 ed il 2050 e fra il 2050 ed il 2100, rispettivamente.

$$VA = \sum_{lc,p} (S_{2002,lc,p} * V_{lc,p} + R_{2002}) + \sum_{lc,p} \left( \frac{SI_{2050,lc,p} * V_{lc,p} + RI_{2050}}{(1+r)^{(2050-2002)}} \right) + \sum_{lc,p} \left( \frac{SI_{2100,lc,p} * V_{lc,p} + RI_{2100}}{(1+r)^{(2100-2002)}} \right) \quad (2)$$

con:

<i>VA</i>	=	valore attuale	<i>R</i>	=	reddito prodotto nell'area a rischio
<i>lc</i>	=	land cover	<i>SI</i>	=	superficie incrementale a rischio
<i>p</i>	=	proprietà del suolo	<i>RI</i>	=	reddito prodotto nell'area incrementale a rischio
<i>S</i>	=	superficie a rischio	<i>r</i>	=	tasso di sconto
<i>V</i>	=	valore economico			

Il risultato della formula fornisce una misura del danno relativo all'impatto 'innalzamento del livello del mare' nella Piana di Fondi nell'ipotesi di assenza di adattamento.

Le ipotesi di adattamento sono state affrontate con un approccio meno analitico: in entrambi i casi sono stati raccolti pareri di esperti per arrivare ad una quantificazione approssimativa dei costi associati alle due tipologie di intervento prospettate. Ovviamente, l'analisi delle opzioni di adattamento può avvenire a crescenti livelli di complessità, fino ad arrivare ad un approfondito studio tecnico-economico.

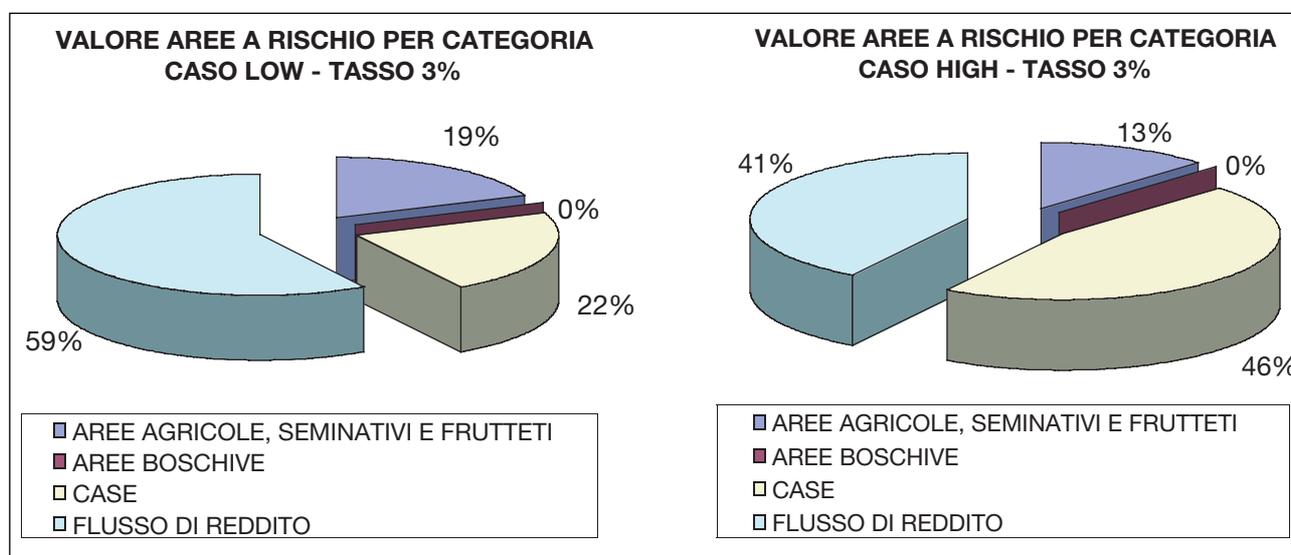
#### 4.1.5 I risultati

Il valore attuale di tutta l'area a rischio di allagamento nell'orizzonte temporale 2002-2100, stando alle nostre ipotesi, varia in un range compreso fra circa 130mila e 268mila

euro, a seconda dello scenario (low o high), del tasso di sconto (3% o 1%) e del limite superiore od inferiore dell'intervallo (per molte variabili è stato utilizzato un intervallo di valori anziché un valore puntuale). I valori sono espressi in milioni di euro.

TASSO DI SCONTO	CASO LOW		CASO HIGH	
	lim inf	lim sup	lim inf	lim sup
3%	130,860	199,238	186,518	260,127
1%	145,785	203,775	202,732	267,642

È interessante notare come l'importanza relativa delle variabili principali muti nel passare dallo scenario low allo scenario high. Nei grafici che seguono, a parità di tasso di sconto, si può rilevare come la variabile con maggior peso sia il flusso di reddito nello scenario low ed il valore delle case nello scenario high. Ciò è dovuto all'attribuzione di un valore economico positivo alle costruzioni abusive nello scenario high, dato il loro proliferare nell'area.



È importante sottolineare come i valori ricavati siano molto sensibili ad eventuali modificazioni del territorio: il cambio di destinazione d'uso dell'area demaniale a sud della SS Flacca (in particolare, lo sviluppo di strutture ricettive per il turismo), la legittimazione progressiva delle aree demaniali a nord della Flacca, la creazione di parco naturale / percorso naturalistico nella zona a valle del Lago di Fondi sono interventi urbanistici potenzialmente atti ad aumentare il valore economico dell'area considerata.

Rispetto alle due opzioni di adattamento, si riportano in breve gli interventi ipotizzati ed i relativi costi:

a) potenziamento dell'attuale sistema di bonifica

- Interventi necessari:**
- aumento potenza di alcune delle 11 idrovore esistenti
  - aumento capacità di invaso ed innalzamento argini canali (tot. km 356 fra acque basse, medie e alte)
  - ampliamento sistema irriguo
  - interventi sui sistemi fognanti di Fondi

*Costo totale* stimabile intorno a **MLD £ 500** di cui:

- circa Mld 400 sono già stati stanziati e spesi
- circa Mld 100 servono per il completamento degli interventi

#### b) ricostruzione della duna preesistente

*Voci di costo:*

- Ricostruzione di 12 Km di duna e relativa impermeabilizzazione: MLD £ 24
- Valore case costruite sull'area interessata dalla ricostruzione della duna: MLD £ 30 - 50
- Arginatura laghi retrodunari con scarico diretto in mare (opzione 1): non quantificato
- Chiusura canali Canneto e S.Anastasia sulla riva e costruzione idrovore per il deflusso delle acque (opzione 2): non quantificato

Come risulta evidente, i risultati relativi a questa ipotesi sono molto parziali, in quanto non è stato effettuato alcuno studio tecnico di fattibilità degli interventi necessari. La ragione è che, prima di uno studio di fattibilità tecnica, dispendioso in termini sia di tempo che di denaro, è assolutamente necessario verificare la desiderabilità sociale dell'opzione di adattamento. In questo caso, la ricostruzione di una duna in aree ormai altamente edificate comporterebbe tanti e tali problemi di accettabilità da parte dei cittadini (polemiche, conflitti d'interesse, ecc), da rendere assolutamente prematuro uno studio specialistico.

### 4.1.6 Conclusioni

I risultati ottenuti dall'applicazione della metodologia sopra descritta inducono a trarre le seguenti conclusioni:

Il già ben sviluppato sistema di bonifica della piana di Fondi permetterà di raccogliere le sfide poste dal previsto innalzamento del livello del mare, con costi incrementali assai minori rispetto al valore del danno potenziale.

L'analisi di altre piane esposte ad un maggior rischio di allagamento e/o con sistemi di difesa meno sviluppati potrebbe evidenziare una cost-inefficienza dell'adattamento (ossia, costi di adattamento > danno conseguente all'impatto).

È auspicabile un'analisi interdisciplinare (desiderabilità socio-politica, studi tecnici, analisi economica, ecc.) quando si considerano opzioni di adattamento complesse.

## 4.2 Siccità e desertificazione in Sicilia: studio di fattibilità

La Sicilia vive una situazione di grave carenza idrica, determinata in parte da scarsità e in parte da una cattiva gestione della risorsa, legata alle perdite nella distribuzione, alla mancata realizzazione di opere di canalizzazione, al cattivo funzionamento di dighe e dissalatori. Questa situazione risulta fortemente acuita dai più recenti cambiamenti climatici, che hanno inciso sulla disponibilità della risorsa idrica a seguito di una diminuzione nella piovosità, di un aumento delle temperature, e di una maggiore frequenza degli eventi climatici estremi.

L'ipotesi di studio sulla valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici nella Provincia di Agrigento si propone di isolare l'impatto economico dei cambiamenti climatici in tre Comuni della Provincia, evidenziando come le opzioni di adattamento in discussione incontrino le esigenze di una più efficiente ed efficace gestione della risorsa per contrastare il fenomeno della siccità e della desertificazione in corso.

I comuni identificati nello studio di fattibilità sono i Comuni di Licata, Cammarata e Ribera, rappresentativi di un'area estremamente fragile in termini socio-economici ed ambientali ed esposta ad un processo di desertificazione; i tre Comuni inoltre esemplificano l'economia dell'intera regione, essendo caratterizzati rispettivamente dalla produzione di primizie in serra, fortemente idrovore, dalla zootecnia, e da produzioni arboree, prevalentemente di arance tarocco.

Questo studio locale si propone di sviluppare un approccio 'micro-fondato', per dare concretezza alle implicazioni sociali ed economiche dei cambiamenti climatici e per orientare le strategie di adattamento, volte ad affrontare gli effetti dei cambiamenti climatici nel contesto del più ampio problema di gestione della risorsa idrica in presenza di scarsità.

Da un'analisi dell'evidenza scientifica sugli impatti dei cambiamenti climatici sul settore agricolo e zootecnico su scala globale e regionale emergono le seguenti considerazioni principali:

- i costi e/o benefici si misurano su scale che variano dalle singole coltivazioni o allevamenti a livello locale al commercio su scala globale,
- a livello locale, sembrano esserci interazioni fra gli effetti diretti dei cambiamenti climatici e le crescenti concentrazioni di CO<sub>2</sub> e di altri cambiamenti ambientali che influiscono sul raccolto e sulla fisiologia animale
- gli impatti in agricoltura sono fortemente determinati dagli aumenti nella temperatura, e influenzati dalla concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera, dalla disponibilità d'acqua, dalla natura del suolo, dalla diffusione di insetti e malattie
- effetti diretti dei cambiamenti climatici sugli allevamenti animali riguardano lo scambio di temperatura fra gli animali ed il loro ambiente che ne influenza la capacità di crescere, di produrre latte o lana, di riprodursi. Effetti indiretti riguardano l'influenza del clima sulla quantità e qualità del foraggiamento, e sulla diffusione di malattie e parassiti
- le strategie di adattamento sviluppate a livello locale trovano applicazione anche su scala regionale; opzioni di adattamento in agricoltura includono uno spostamento nella data della semina, una variazione nelle culture, interventi per l'irrigazione, l'uso di fertilizzanti, cambiamenti di destinazione d'uso della terra etc..

L'ipotesi di studio per i tre Comuni siciliani si propone: a) di investigare gli effetti diretti della maggiore variabilità nel clima e degli eventi climatici estremi manifestatisi negli ultimi anni sul rendimento in agricoltura e zootecnia, attribuendovi un valore economico, b) di identificare appropriate strategie di adattamento, valutandone il ruolo nel contesto del più ampio problema della scarsità e della necessità di una efficiente gestione della risorsa idrica. L'analisi, quindi, almeno in prima approssimazione, non si concentrerà né sulle interazioni fra gli impatti locali dei cambiamenti climatici in agricoltura e zootecnia ed il sistema economico, né sugli effetti indiretti delle concentrazioni di CO<sub>2</sub> sul rendimento in agricoltura.

A livello metodologico lo studio prevede in primo luogo un'analisi delle principali caratteristiche socio-economiche e ambientali dei tre Comuni, costruendo degli indicatori locali della desertificazione. Secondariamente, utilizzando dati locali sulle variabili produttive e climatiche in serie storica mensile/ stagionale per l'ultimo decennio, si prevede uno studio di impatto della variabilità e degli estremi climatici sul rendimento in agricoltura e zootecnia. Tale studio sarà basato essenzialmente su un'analisi quantitativa ed utilizzerà lo stesso approccio impiegato nel progetto WISE e descritto nel paragrafo 3.1, ricercando la funzione d'impatto più appropriata per il settore agricolo e zootecnico. Quindi, saranno applicate metodologie proprie dell'econometria delle serie storiche per stimare gli impatti futuri. Infine, si procederà con la valutazione economica degli impatti attuali ed attesi.

Lo studio di impatto sarà seguito dall'analisi delle opzioni di adattamento basata essenzialmente sulle interviste agli attori rilevanti, sia privati che istituzionali. La valutazione economica delle opzioni di adattamento sarà riferita non solo all'impatto del cambiamento climatico, ma anche al più ampio problema della scarsità legato a fattori di natura tecnica e politico-istituzionale.

Nel Comune di Licata ad esempio i problemi di scarsità, di peggioramento della qualità e di cattiva gestione dell'acqua, esemplificati dai guasti al dissalatore di Gela o lungo la rete di distribuzione e dai prelievi abusivi, suggeriscono una valutazione delle opzioni di adattamento ai cambiamenti climatici nel contesto dei problemi locali di gestione della risorsa idrica. Tavoli di concertazione locale hanno già messo in luce alcune opzioni di adattamento per far fronte al problema della scarsità, fra le quali: la costruzione di invasi per l'irrigazione; il recupero delle acque reflue; opere di canalizzazione della diga del Gibbesi; la costruzione di dissalatori locali; la gestione dei servizi idrici più efficace, attraverso la privatizzazione di EAS (Ente Acque Siciliane), che attualmente gestisce 12 acquedotti, diverse dighe e 1160 km di condotte esterne; il rimboschimento; la variazione delle colture; la valorizzazione del turismo rispetto allo sviluppo in agricoltura. L'economicità di questi interventi, alcuni dei quali si possono identificare come *no regret*, dovrà essere valutata sia rispetto al problema specifico dell'adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici su agricoltura e zootecnia, che rispetto ai problemi locali di gestione della risorsa idrica.

## CONCLUSIONI

Questo studio si è posto l'obiettivo di fare luce su come i cambiamenti climatici in atto potrebbero influenzare i settori socio-economici italiani e su quali opzioni di adattamento dovrebbero essere considerate allo scopo di minimizzare i danni attesi. Inoltre, tramite l'analisi di due casi studio, si sono proposte possibili metodologie per la stima degli impatti e dell'adattamento ai cambiamenti climatici in aree particolarmente rappresentative del territorio nazionale.

Nello specifico, è stata analizzata la letteratura esistente a livello internazionale relativamente ad impatti dei cambiamenti climatici, vulnerabilità ed adattamento, sottolineando ove possibile i risultati applicabili al caso italiano. Sono quindi stati presentate le principali conclusioni del progetto WISE (Weather Impacts on Natural, Social and Economic Systems), finanziato dalla Commissione Europea e condotto in Italia nel corso del triennio 1997-1999 dalla Fondazione Eni Enrico Mattei. Nell'ambito di questo progetto si è provveduto, quando possibile, a fornire una dimensione quantitativa degli impatti dei cambiamenti climatici sui principali settori socio-economici italiani.

Dallo studio è emerso che i settori più vulnerabili in Italia sono agricoltura, turismo, industria e servizi (soprattutto il settore assicurativo), insediamenti umani e salute. Il territorio italiano sarà diversamente interessato da questi impatti, a seconda sia delle caratteristiche geografiche, sia del livello di sviluppo economico locale. Le aree più minacciate sono quelle costiere e montane, oltre alle aree del Sud a forte connotazione agricola. È stato evidenziato come, per far fronte ai rischi del global warming, sia auspicabile un atteggiamento attivo e quando possibile preventivo, volto a minimizzare gli impatti negativi nei diversi settori. Di conseguenza, sono state presentate alcune indicazioni sulla dimensione economica di alcune possibili strategie di adattamento.

È stata quindi sottolineata l'importanza di condurre studi-pilota per analizzare le principali tipologie di impatto e le possibili misure di adattamento in aree particolarmente rappresentative del territorio nazionale, studiando una metodologia che possa essere facilmente replicata per altre zone a rischio. A titolo di esempio, si sono considerati il caso dell'impatto dell'innalzamento del livello del mare nella Piana di Fondi (LT) ed è stata prospettata un'ipotesi di lavoro per lo studio dell'impatto della siccità e della desertificazione in tre comuni siciliani.

Nonostante da questo lavoro emerga un quadro abbastanza comprensivo delle problematiche principali connesse ai cambiamenti climatici in Italia nonché delle possibili soluzioni, è altamente auspicabile che vengano compiuti ulteriori sforzi di ricerca, volti ad indagare più approfonditamente gli impatti su singoli settori economici e soprattutto l'opportunità di implementare specifiche politiche di adattamento. A tal fine, un approccio consigliabile potrebbe essere quello di rapportare i costi ai benefici, non solo economici, di misure di adattamento alternative per ogni tipologia d'impatto, considerando le specificità nazionali e locali, tramite l'ausilio di tecniche di valutazione economica quali l'analisi costi-benefici, costi-efficacia o a molti obiettivi. In questo modo, ai policy makers sarebbero fornite le informazioni fondamentali per affrontare con maggior consapevolezza le nuove sfide poste dai cambiamenti climatici.

## BIBLIOGRAFIA

Cline, W. R. (1992): *The Economics of Global Warming*. Institute of International Economics, Washington, DC.

Darwin, R., Tsigas, M., Lewandrowski, J. and Ranases, A. (1995): *World agriculture and climate change: economic adaptations*. Department of Agriculture, Washington, DC: U.S. Agricultural Economic Report N. 703

Departement of Health, UK (2001): *Health Effects of Climate Change in the UK*. An Expert Review for Comments, [www.doh.gov.uk/hef/airpol/climatechange](http://www.doh.gov.uk/hef/airpol/climatechange)

Deft Hydraulics (1993): *Sea Level Rise. A Global Vulnerability Assessment*, 2<sup>nd</sup> Revised Edn. Delft Hydraulics and Ministry of Transport, Public Works and water Management, The Hague

Deke, O., Hooss, K.G., Kasten, C., Klepper, G., Springer, K. (2001): *Economic Impact of Climate Change: Simulations with a Regionalized Climate-Economy Model*, Kiel Working Paper No. 1065, Kiel Institute of World Economics, Kiel (Germany)

Easterling, W. E., Crosson, P. R., Rosenberg, N. J., McKenney, M. S., Katz, L. A. and Lemon, K. M. (1993): *Agricultural impacts of and responses to climate change in the Missouri-Iowa-Nebraska-Kansas (MINK) region*. *Climatic Change* **24**(1/2) 23-62.

El-Fadel, M. and Bou-Zeid, E.: *Climate Change and Water Resources in the Middle East: Vulnerability, Socio-Economic Impacts, and Adaptation*, RICAMARE

European Commission (1999): *Weather Impacts on Natural, Social and Economic Systems (WISE)*, DG XII (Environment and Climate Research Programme) - Framework IV -, <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/projects/wise>.

European Commission (ongoing) *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health in Europe (cCASHh)*, DG Research (Environment and Sustainable Development Programme), Framework V.

Fankhauser, S. (1995): *Valuing Climate Change*. The Economics of the Greenhouse, Earthscan, London.

Fankhauser, S., Smith, J. B., Tol, R. S. J. (1999): *Weathering climate change: some simple rules to guide adaptation decisions*, *Ecological Economics* **30**, 67-78.

Feenstra, J.F., I. Burton, J.B. Smith and R.S.J. Tol (eds.) (1998): *Handbook on Methods of Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies*, pp. 4.1-4.20, United Nations Environment Programme and Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Nairobi and Amsterdam

Hope, C., Anderson, J. and Wenman, P. (1993): *Policy analysis of the Greenhouse Effect*. An application of the PAGE model. *Energy Policy* **21**(3), 327-338

IPCC (1994): *Preparing to Meet the Coastal Challenges of the 21<sup>st</sup> Century*, Conference Report of the World Coast Conference in Noordwijk, WHO and UNEP, Geneva

IPCC (2001): *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, Vulnerability*. Ed. J. J. McCarthy, O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken, K. S. White, Cambridge University Press

Mendelsohn, R., Nordhaus, W. D. and Shaw, D. (1994): *The impact of global warming on agriculture*. *American Economic Review* **84**(4), 753-771.

- Morrisette, P. M. (1988): The rising level of the great Salt Lake: an analogue of societal adjustment to climate change. In *Societal Responses to Regional Climatic Change – Forecasting by Analogy*, ed M. H. Glantz, Westview Press, Boulder.
- Nicholls, R.J. and Leatherman, S.P. (1995): *The implications of accelerated sea-level rise for developing countries: a discussion*, Journal of Coastal Research, **14**, 303-323
- Nordhaus, W.D. (1991a): *A Sketch of the Economics of the Greenhouse Effect*, American Economic Review, Papers and Proceedings **81** (2), 146-50
- Nordhaus, W.D. (1991b): *To Slow or not to Slow: The Economics of the Greenhouse Effect*, Economic Journal **101** (407), 920-37
- Nordhaus, W.D. (1993): *Survey on Uncertainties Associated with Potential Climate Change*, Mimeo, Yale University, New Haven, Conn.
- Nordhaus, W.D. (1994): *Expert Opinion on Climate Change*, American Scientist, January-February, 45-51
- Parry, M. L. (editor) (2000): *Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project*. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, UK
- Reilly, J., Hohmann, N. and Kane, S. (1994): *Climate Change and agricultural trade: who benefits, who loses?* Global Environmental Change **4**(1), 24-36.
- Rosenthal, D.H., Gruenspecht, H.G., Moran, E.A. (1995): *Effects of Global Warming on Energy Use for Space Heating and Cooling in the United States*, Energy Journal **16** (2), 77-96
- Rosenzweig, C. and Parry, M. L. (1994): *Potential impact of climate change on world food supply*, Nature **367**, 133-138.
- Smit, B., Blain, R. and Keddie, P. (1997): Corn Hybrid selection and climatic variability: gambling with nature? *The Canadian Geographer*
- Titus, J. (1992): *The Cost of Climate Change to the United States*, in S.K. Majumdar, L.S. Kalkstein, B. Yarnal, E.W. Miller and L.M. Rosenfeld (eds), *Global Climate Change: Implications, Challenges and Mitigation Measures*, Pennsylvania: Pennsylvania Academy of Science
- Tol, R.S.J. (1993): *The Climate Fund. Survey of Literature on Costs and Benefits*, Working Document W 93/01, Free University of Amsterdam
- Tol, R.S.J. (1995): *The Damage Costs of Climate Change – Towards More Comprehensive Calculations*, Environmental and Resource Economics, **5**, 353-374.
- Tol, R.S.J., Fankhauser, S., Smith, J.B. (1998): *The scope for adaptation to climate change: what can we learn from the impact literature?*, Global Environmental Change, **8** (2), 109-123.
- West, J. J., Dowlatabadi, H., Patwardhan, A. and Small, M: J. (1997): *Assessing economic impact of sea level rise*. Climate, Change and Risk, eds. T.E. Downing, A. A. Olsthoorn and R. S. J. Tol, Routledge, London.

**Prof. Davide Pettenella, Dr. Elisa Zanolini,  
Dr. Francesco Pauli**  
Fondazione Eni Enrico Mattei

---

**Valutazione delle attività  
forestali nelle strategie di  
mitigazione dei cambiamenti  
climatici previste dal  
Protocollo di Kyoto**

---



# Valutazione delle attività forestali nelle strategie di mitigazione dei cambiamenti climatici previste dal Protocollo di Kyoto

---

## INTRODUZIONE

A Kyoto, durante la terza sessione della Conferenza delle Parti (CoP-3) della Convenzione delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, uno dei principali temi negoziali è stata l'ipotesi di consentire ai Paesi industriali (Allegato I del Protocollo) di utilizzare le foreste e i terreni agricoli per raggiungere gli impegni di riduzione delle emissioni di gas-serra. In particolare il Protocollo di Kyoto, all'articolo 3.3, fa riferimento ad una lista di attività – da contabilizzare nei bilanci nazionali degli assorbimenti e delle emissioni – legate ai cambiamenti nelle forme d'uso del suolo, limitatamente alle attività di "afforestazione", "riforestazione" e "deforestazione". Inoltre, esso rende possibile, con alcune limitazioni, l'impiego di altre attività forestali e d'uso del suolo che siano "*direct human induced*" per poter conseguire gli obiettivi nazionali di riduzione delle emissioni.

I *sink* - vale a dire i serbatoi, come sono stati chiamati nel gergale del Protocollo le foreste e i suoli agricoli - sono stati probabilmente il tema più complesso nel processo negoziale successivo alla CoP-3 di Kyoto (Schlamadinger e Marland, 1998). A Marrakesh, nell'ultima Conferenza delle Parti (CoP-7), si è arrivati ad un accordo che permette di prefigurare l'organizzazione che i diversi Paesi dell'Allegato I si daranno per raggiungere gli obiettivi del Protocollo. Tale organizzazione prevede la creazione di un mercato che possa remunerare sia gli investimenti nel campo del risparmio e della razionalizzazione dei consumi energetici sia quelli connessi alla creazione di *sink* di carbonio (Binkley *et al.*, 2002).

Scopo del presente lavoro è quello di tentare una valutazione delle misure di *Land-use Change* e specificatamente delle attività forestali alla luce delle decisioni della settima Conferenza delle Parti. Va sottolineato che il contributo che – in forme dirette o indirette – il settore forestale può dare al bilancio nazionale dei gas di serra e, quindi, al raggiungimento degli obiettivi di riduzione si concretizza in diverse attività non tutte riconosciute – e quindi formalmente contabilizzabili – in base alle regole stabilite in sede di attuazione del Protocollo. Nel seguito, quindi, dopo avere brevemente descritto le principali decisioni derivanti dal processo negoziale, verranno prese in esame le diverse misure forestali che possono contribuire alla riduzione delle emissioni di gas di serra in atmosfera. L'attenzione verrà concentrata sulla quantificazione dei volumi e successivamente sulla valutazione dei costi relativi agli interventi forestali e del loro potenziale contributo in termini di riduzione dei costi complessivi di adempimento agli obblighi del protocollo, anche se – nella descrizione generale degli interventi - si farà riferimento ad alcune misure non utilizzabili *in toto* nell'implementazione degli accordi presi in sede CoP, questo per fornire elementi di riflessione per le future fasi negoziali.

## 1. Le misure forestali nell'ambito delle strategie attivate dal Protocollo di Kyoto

Il Protocollo di Kyoto agli articoli 3, 6 e 12 riconosce alle foreste e ai suoli agricoli un ruolo importante nelle strategie di mitigazione dei cambiamenti del clima (Brown et al., 1996), sostanzialmente attraverso tre categorie di opzioni: creazione di nuove foreste, appropriata gestione delle foreste esistenti e dei suoli agricoli (1), uso delle biomasse in sostituzione delle fonti fossili e di altri materiali (Ciccarese e Pettenella, 2002).

Specificatamente, l'articolo 3.3 precisa che i paesi dell'Allegato I del Protocollo, vale a dire i paesi che hanno assunto impegni di riduzione, possono servirsi degli assorbimenti di carbonio derivanti dalle nuove piantagioni forestali realizzate su terreni già in precedenza forestali (*reforestation*, nel testo del Protocollo) e su terreni non forestali (*afforestation*), al netto delle emissioni legate ai processi di deforestazione (*deforestation*), purché si siano verificati dal 1990 in poi.

Inoltre, il Protocollo ha demandato ad una successiva Conferenza delle Parti la responsabilità di decidere quali attività legate all'uso del suolo e alle variazioni dell'uso del suolo che comportano una fissazione del carbonio atmosferico (oltre a quelle di afforestazione, riforestazione e deforestazione) possano essere incluse tra quelle in grado di generare crediti di carbonio a compensazione delle emissioni di gas climalteranti (Schlamadinger et al., 2001).

Infine il Protocollo ha stabilito che ogni paese potrà realizzare questi tipi di interventi (o una parte di essi) anche al di fuori dei propri confini territoriali (articoli 6 e 12).

Dopo la pubblicazione di un rapporto redatto dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), finalizzato a chiarire questi temi controversi e a definire i dettagli relativi al ruolo da assegnare alle foreste e ai suoli agricoli all'interno del Protocollo (Watson et al., 2000), si è giunti finalmente a un accordo nel corso della settima sessione della Conferenza delle Parti (CoP-7), svoltasi a Marrakesh (Marocco) nel novembre del 2001. L'accordo è frutto di complessi negoziati tra i paesi che intendevano limitare al massimo l'uso dei *sink* (al fine di concentrare gli sforzi di riduzione dell'effetto serra sulle politiche energetiche di riduzione delle emissioni di gas da fonti fossili) e quelli che, viceversa, intendevano usare i *sink* per raggiungere gran parte degli impegni di riduzione.

Gli accordi di Marrakesh relativi alle foreste e ai suoli agricoli sono contenuti nella Decisione 11/CP.7 (2). Nella prima parte della Decisione sono riaffermati una serie di principi, caldeggiati dai paesi in via di sviluppo, che hanno il fine di:

- difendere l'integrità del Protocollo, evitando che si faccia un ricorso massiccio ai *sink*, da molti considerato un modo per eludere gli impegni reali di riduzione;
- evitare che l'uso dei *sink* possa contrapporsi agli obiettivi di conservazione della biodiversità e di gestione sostenibile delle foreste.

Per quanto riguarda l'articolo 3.3 (**afforestazione, riforestazione e deforestazione**), gli accordi hanno sostanzialmente confermato quanto già era previsto nel testo del Protocollo, anche perché al proposito non permanevano elementi di incertezza o ambiguità, a parte le definizioni dei termini (box 1). Tutte le quantità di car-

---

(1) A queste azioni si attribuisce convenzionalmente il termine "*sink*".

(2) La Decisione è disponibile al sito: <http://www.mct.gov.br/clima/ingles/negoc/pdf/Cop7/11cp7.pdf>

bonio immagazzinate nel suolo e nel soprassuolo tra il 2008 e il 2012 (il cosiddetto primo periodo d'impegno) in una piantagione realizzata dopo il 1° gennaio 1990 e prima del 31 dicembre 2012, potranno essere usate per raggiungere gli impegni di riduzione. Altro aspetto rilevante è che non sono stati posti limiti alla quantità di crediti ottenibili con l'art. 3.3. Teoricamente, un paese potrebbe raggiungere tutti i suoi impegni di riduzione solo con le nuove piantagioni forestali.

Concretamente, ciò significa che per l'Italia potranno rientrare in questa categoria di progetti gli oltre 100.000 ettari d'arboricoltura da legno realizzati con il Regolamento 2080/92, anche se a seguito all'emanazione del Decreto Legislativo 227/2001 "Orientamento e modernizzazione del settore forestale", è affermata la reversibilità di tali formazioni arboree e la facoltà delle Regioni di escludere l'arboricoltura da legno dalla definizione di foresta. La pioppicoltura e gli impianti a ciclo breve per la produzione di biomasse potranno, quindi, essere conteggiati, anche nel caso in cui questi debbano essere utilizzati all'interno del primo periodo d'impegno. Infatti l'accordo di Marrakesh prevede che siano ammissibili tutti i tipi di piantagioni, purché i debiti derivanti dalle utilizzazioni forestali effettuate nel corso del primo periodo d'impegno su piantagioni eseguite dal 1990 in poi non siano maggiori dei crediti contabilizzati su quella stessa superficie.

### **Box 1 - Terminologia relativa al settore forestale nel Protocollo di Kyoto**

In un allegato della bozza di Decisione CMP.1 di Marrakesh sono definiti alcuni termini chiave per rendere operative le attività in campo agricolo e forestale del Protocollo di Kyoto, secondo quanto previsto dagli articoli 3.3 e 3.4.

(a) "Foresta" è un'area con dimensioni minime di 0,05-1,0 ettaro, con un tasso di copertura arborea di almeno 10-30%, con piante in grado di raggiungere, a maturità e *in situ*, un'altezza minima di 2,5 m. Un Paese può scegliere, sia per le dimensioni minime che per il tasso di copertura, il limite minimo all'interno del *range*.

(b) "Affermentazione" è la conversione in foresta, per azione antropica, di un'area che non sia stata foresta per almeno 50 anni; l'afforestazione può essere realizzata per mezzo di piantagione, semina e/o un intervento antropico di sostegno all'affermazione delle modalità naturali di propagazione.

(c) "Riforestazione" è la conversione, per azione antropica, in foresta di un terreno già in precedenza forestale, ma che nel passato cinquantennio è stato convertito ad altri usi, realizzata per mezzo di piantagione, semina e/o azione antropica di sostegno all'affermazione di modalità naturali di propagazione.

(d) "Deforestazione" è la conversione per azione antropica di un'area forestale in non forestale.

(e) "Rivegetazione" è una azione antropica volta ad aumentare gli *stock* di carbonio in un sito, mediante la realizzazione di una copertura vegetale su un'area minima di 0,5 ettari, che non rientri nelle definizioni di afforestazione e riforestazione.

(f) "Gestione forestale" è un complesso di pratiche per la conduzione e l'uso sostenibile di una foresta, finalizzate al conseguimento di rilevanti funzioni ecologiche (quali la tutela della diversità biologica), economiche e sociali.

(g) "Gestione delle colture agrarie" è un complesso di pratiche su territori su cui sono effettuate coltivazioni agrarie e su terreni messi a riposo o temporaneamente non adoperati per produzioni agricole.

(h) "Gestione dei prati e dei pascoli" è un complesso di pratiche su terreni utilizzati per l'allevamento del bestiame, volti a modificare la quantità e il tipo di vegetazione e il bestiame allevato.

Altro aspetto rilevante è il fatto che, non essendo specificato il parametro relativo alla larghezza per la definizione di foresta (vedi box 1), anche le piantagioni lineari, finalizzate alla produzione di biomasse e/o a finalità protettive e paesaggistiche, potranno essere incluse tra le attività di fissazione riconosciute dal Protocollo (vd. alcuni interventi realizzati nell'ambito del Regolamento 2078/92).

Simmetricamente alle stime relative alle attività di afforestazione e riforestazione, il nostro paese dovrà elaborare dati sulle emissioni legate alla deforestazione (in base a quanto esplicitato nell'articolo 7 del Protocollo). A questo proposito va evidenziata la carenza di dati e informazioni su un fenomeno che in Italia, pur essendo di dimensioni modeste, è comunque presente<sup>3</sup>. Sarà, infatti, necessario predisporre un sistema di identificazione delle aree deforestate a partire dal 1° gennaio 1990, fino al 31 dicembre 2007 e di descrizione dell'evoluzione delle forme d'uso di tali superfici.

Ma le decisioni più importanti assunte a Marrakesh riguardano l'individuazione delle attività in campo agricolo e forestale, oltre a quelle definite dall'art. 3.3, che un paese potrà scegliere di utilizzare per raggiungere gli impegni assunti a Kyoto: la gestione delle superfici forestali, la rivegetazione, la gestione dei suoli agricoli, la gestione dei prati e dei pascoli. Per tutte le suddette attività permangono le due clausole già richiamate: che abbiano avuto inizio dal 1990 e che siano legate ad una azione antropica (*human-induced*, nel testo del Protocollo – art. 3.4, cioè connessa ad espliciti e diretti interventi gestionali).

C'è una differenza sostanziale tra la prima e le altre tre attività sopra segnalate: i crediti generati dalle ultime tre attività possono essere usati *in toto*, come le attività dell'art. 3.3. Al contrario, quelli generati dalla gestione forestale sono contabilizzati per intero per pareggiare eventuali debiti che un paese può avere dal bilancio tra afforestazione e riforestazione da un alto (*carbon sink*) e deforestazione dall'altro (*carbon source*) (4).

Una volta pareggiati eventuali debiti derivanti dall'art. 3.3, i crediti di carbonio ottenuti con la gestione forestale devono essere ridotti al 15%. Tale detrazione serve per eliminare, con approccio empirico e molto approssimato, quella frazione di carbonio che è accumulato dalle foreste per effetto del (presunto) aumento degli *stock* come conseguenza di diversi fattori quali: la fertilizzazione dovuta alle deposizioni di azoto nei suoli, l'incremento della concentrazione di anidride carbonica e l'invecchiamento naturale dei soprassuoli. Tali fattori non rispondono al requisito di essere *human induced* che, come detto in precedenza, è condizione necessaria perché i crediti dell'art. 3.4 siano ammissibili.

Va segnalato, infine, che gli accordi di Marrakesh hanno stabilito, per ogni paese dell'Allegato I, dei limiti ai crediti potenzialmente raggiungibili con la gestione fore-

---

(3) Non considerando gli incendi boschivi (che – per legge – non determinano un cambiamento di destinazione di uso del suolo) il fenomeno della deforestazione riguarda in Italia prevalentemente le autorizzazioni alla conversione di terreni vincolati dal Vincolo idrogeologico ad utilizzi non forestali. Si ricorda, inoltre, che anche i tagli rasi, quando non comportano cambiamenti nelle forme d'uso del suolo, non sono assimilati ad interventi di deforestazione.

(4) I debiti che è possibile pareggiare con la gestione forestale non possono comunque essere maggiori di 8 milioni di tonnellate di carbonio.

stale. Per l'Italia tale limite è di 0,18 milioni di tonnellate di carbonio (MtC) (5), oggettivamente sottodimensionato rispetto alle capacità fissative del settore e soprattutto sproporzionato rispetto a quello di paesi analoghi al nostro per tipologia o estensione della superficie forestale quali, per esempio, Francia (0,88 MtC) e Germania (1,24 MtC), senza fare riferimenti più critici al limite negoziato per la Russia (33,0 MtC).

Ovviamente, per rispondere alle richieste definite all'interno del Protocollo di Kyoto, ogni paese dovrà contabilizzare, secondo procedure che sono in fase di definizione formale, le variazioni degli stock sia sulle nuove piantagioni forestali che sulle foreste sottoposte a gestione forestale. Tali procedure prevedono innanzi tutto una chiara identificazione delle aree interessate (per esempio, attraverso la georeferenziazione) e una stima analitica delle variazioni degli stock di carbonio dal 2008 e il 2012 (per esempio, attraverso misure dirette, l'uso di funzioni di crescita di validità locale o una combinazione di questi strumenti). Per poter conteggiare gli effetti fissativi non è invece necessario che siano monitorate le variazioni anno per anno degli stock intervenute dopo la piantagione e l'inizio del primo periodo d'impegno. Va segnalato, a questo proposito, che – per i progetti di gestione forestale che si rifanno all'articolo 3.4 - un paese può decidere di riportare dati su tutte le componenti dell'ecosistema forestale che contribuiscono alla fissazione di carbonio (biomassa dendrometrica, biomassa arborea totale, suolo) o su una o due di queste, purché siano forniti dati trasparenti e verificabili a dimostrazione che quella particolare componente non considerata nel bilancio non sia una fonte netta di emissioni (per esempio si potrà evitare di fornire dati sul suolo, ma si dovrà documentare che questa componente non determina emissioni).

In particolare, per quanto riguarda i metodi per l'identificazione e la stima di tali variazioni, molti aspetti saranno chiariti con la pubblicazione (attesa alla fine del 2003) di un rapporto sulle modalità di elaborazione degli inventari delle emissioni (*"The Elaboration of Good Practice Guidance for Land-Use, Land-Use Change and Forestry for the Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories"* - box 2).

### **Box 2 – Il rapporto sulle modalità di elaborazione degli inventari delle emissioni.**

La redazione del rapporto *"The Elaboration of Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry for the Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories"* nasce da un invito all'*Intergovernmental Panel on Climate Change* da parte dell'*UNFCCC* in seguito a una decisione assunta a Marrakech nel corso della CoP-7 (Decision 11/CP.7, par. 3 – FCCC/CP/2001/13/Add.1). Il rapporto ha le seguenti finalità:

1. elaborare metodi per stimare, misurare, monitorare e riportare variazioni negli stock di carbonio ed emissioni di gas-serra di natura antropogenica derivanti da fonti e assorbimenti dei *sink* che risultano dalle attività di cambiamento dell'uso del suolo e delle foreste (*Land Use Land Use Change and Forestry* - LU-LUCF) negli articoli 3.3, 3.4, 6 e 12 del Protocollo di Kyoto (paragrafo 3a);

---

(5) Tale dato deriva da una stima basata sulle informazioni relative alle foreste con piano di gestione (*"forest under management plan"*) come registrate dalla FAO nel Global Forest Resources Assessment 2000: l'11% (1,117 M ettari) rispetto al totale della superficie boscata nazionale (9,970 M ettari). E' evidente, tuttavia, che l'identificazione di "superficie gestita" con "superficie dotata di un piano di assestamento" è una grossolana approssimazione che penalizza il settore forestale italiano.

2. preparare, tenendo presente le *1996 Revised IPCC Guidelines*, un rapporto sulle pratiche di buona gestione e sulle modalità di ponderazione dei fattori incerti (*Good Practices and Uncertainty Management*) per una sua possibile adozione alla IX sessione della Conferenza delle Parti dell'UNFCCC (paragrafo 3b);

3. definire analiticamente i processi di *'direct human induced degradation'* (degradazione indotta da azioni antropiche) e *'devegetation'* (riduzione della copertura vegetale) delle foreste e altri tipi di vegetazione, citate nella stessa bozza di Decisione e le opzioni metodologiche per riportare le relative variazioni degli *stock* (paragrafo 3c).

4. sviluppare metodologie di carattere operativo per separare i cambiamenti per azione antropica degli *stock* di carbonio da quelli dovuti a fattori naturali (quali la fertilizzazione dovuta all'aumento in atmosfera della concentrazione di CO<sub>2</sub> e le deposizioni azotate nei suoli) e le pratiche forestali avviate prima del 1990 (paragrafo 3d).

Tale rapporto deve fornire indicazioni a tutti i paesi per sviluppare inventari di qualità, credibili, che non generino sovra- o sotto-stime, in grado di ridurre entro limiti accettabili le incertezze e che assicurino il pieno utilizzo delle migliori risorse informative disponibili, anche tenendo in considerazione le specifiche condizioni nazionali. Inoltre, esso deve presentare metodologie che siano valide per il *reporting* sulle attività agricole e forestali, sia nell'ambito della Convenzione sia nell'ambito del Protocollo di Kyoto.

## 2. Le misure forestali attivabili in Italia

In base alle decisioni sopra analizzate, il contributo che – in forme dirette o indirette – il settore forestale può dare al bilancio nazionale dei gas di serra e, quindi, al raggiungimento degli obiettivi di riduzione si concretizza in quattro linee di attività:

- realizzazione di piantagioni artificiali *ex novo* su terreni agricoli (art. 3.3),
- conteggio della crescita degli *stock* nelle foreste seminaturali (art. 3.4),
- sostituzione di combustibili fossili con biomasse legnose,
- incremento della capacità di fissazione di carbonio nei prodotti legnosi.

Mentre le prime due linee di attività fanno riferimento a precisi articoli del Protocollo (e, quindi, a precise norme di attuazione) relative al *carbon sink*, la terza linea si riferisce a misure di politica energetica, mentre la quarta viene qui riportata per il suo interesse generale e teorico, dal momento che nel primo periodo di implementazione si è esclusa la possibilità di conteggiare il carbonio temporaneamente fissato nei prodotti legnosi.

Nel seguito vengono prese in considerazione le quattro tipologie d'intervento, con un'attenzione specifica alla presentazione della metodologia di stima e alle possibilità che tali linee di intervento offrono, se attuate nel contesto nazionale (6), per il raggiungimento degli obiettivi definiti nel Protocollo di Kyoto.

---

(6) In questa sede non si farà riferimento alle possibilità offerte dall'impiego dei meccanismi flessibili per investimenti forestali all'estero.

## *Piantagioni artificiali realizzate ex novo su terreni agricoli*

Per stimare il *sink* negli interventi relativi a nuove piantagioni realizzate a partire dal 1990 si sono utilizzate tre fonti principali di dati:

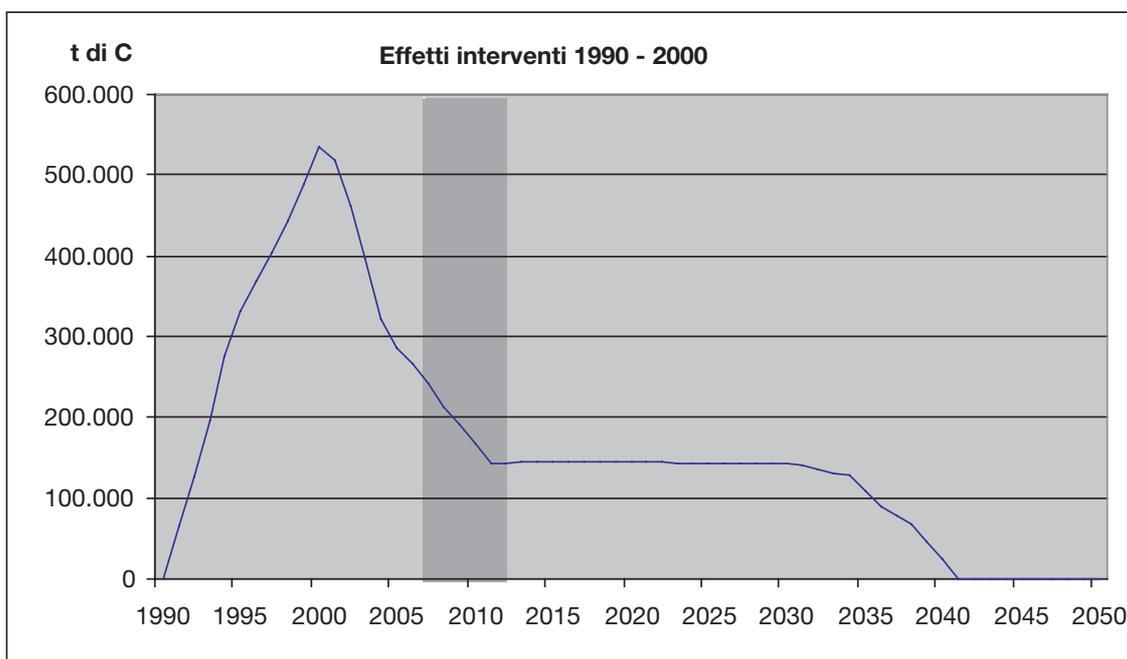
- per il periodo 1990-94, le Statistiche forestali dell'ISTAT;
- per il periodo 1995-99, i dati del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali relativi al Reg. CE 2080/92 (Colletti, 2001);
- per gli anni più recenti e le proiezioni i risultati di una indagine INEA-ALIFOR in corso di pubblicazione relativa all'attuazione delle misure forestali nei Piani di Sviluppo Rurale predisposti a seguito del Reg. CE 1257/99 (Cesaro e Pettenella, in stampa).

I dati, anche grazie ad informazioni fornite direttamente dalla Direzione Economia Montana, Foreste e Risorse Idriche del MIPAF, sono stati disaggregati per 5 tipologie di piantagioni:

- piantagioni di pioppo,
- piantagioni di eucalitti,
- piantagioni con latifoglie di pregio a ciclo lungo,
- piantagioni di conifere nelle regioni settentrionali,
- piantagioni di conifere nelle aree centro-meridionali (pini mediterranei).

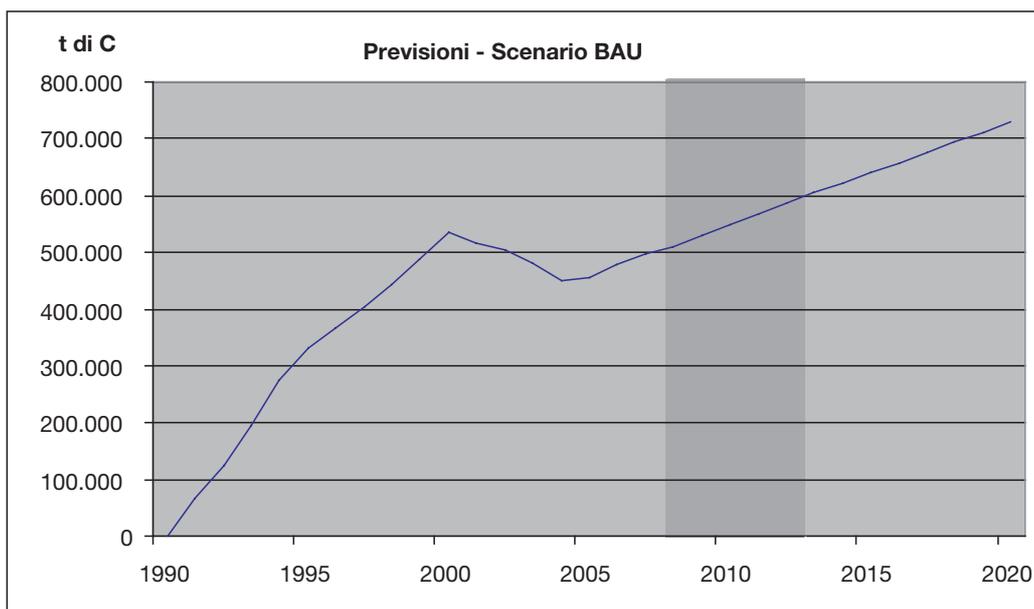
Tale disaggregazione ha consentito di scegliere specifici dati di incremento e di turno e di migliorare la qualità della stima.

Il grafico che segue riporta l'evoluzione del carbonio fissato nei rimboschimenti effettuati dal 1990 al 2000, ipotizzando che, dopo l'utilizzazione a fine turno, tali superfici non vengano nuovamente imboschite. La stima indica come fissazione complessiva cumulata un valore di 10.121.353 t di C; il carbonio fissato nel periodo 2008-2012 – *1<sup>st</sup> commitment period* – sarebbe di 858.552 t (in media 171.710 t di C/anno).

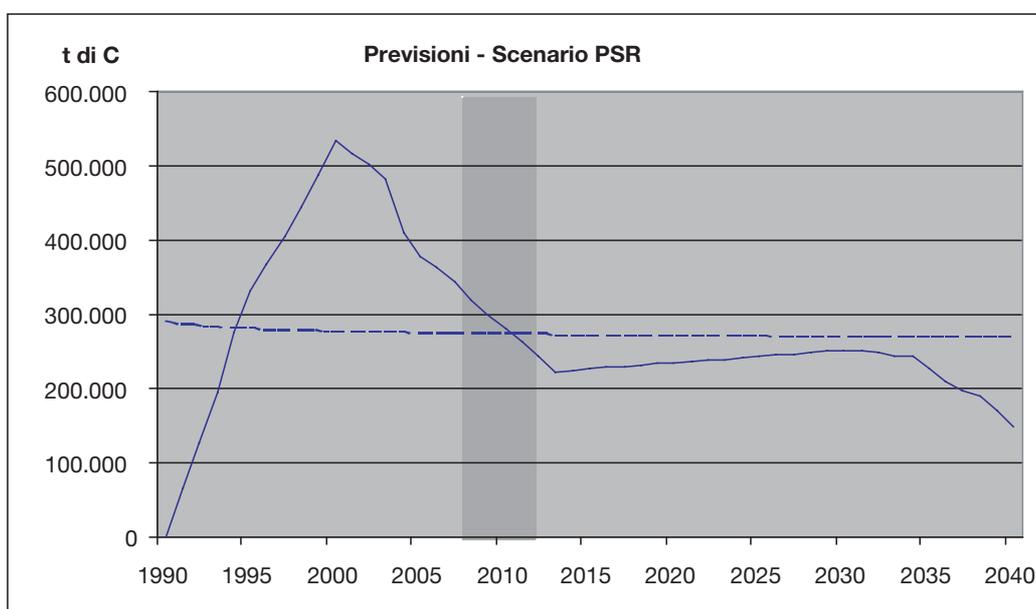


Sulla base del modello di stima sopra descritto sono state effettuate delle simulazioni in base a tre scenari.

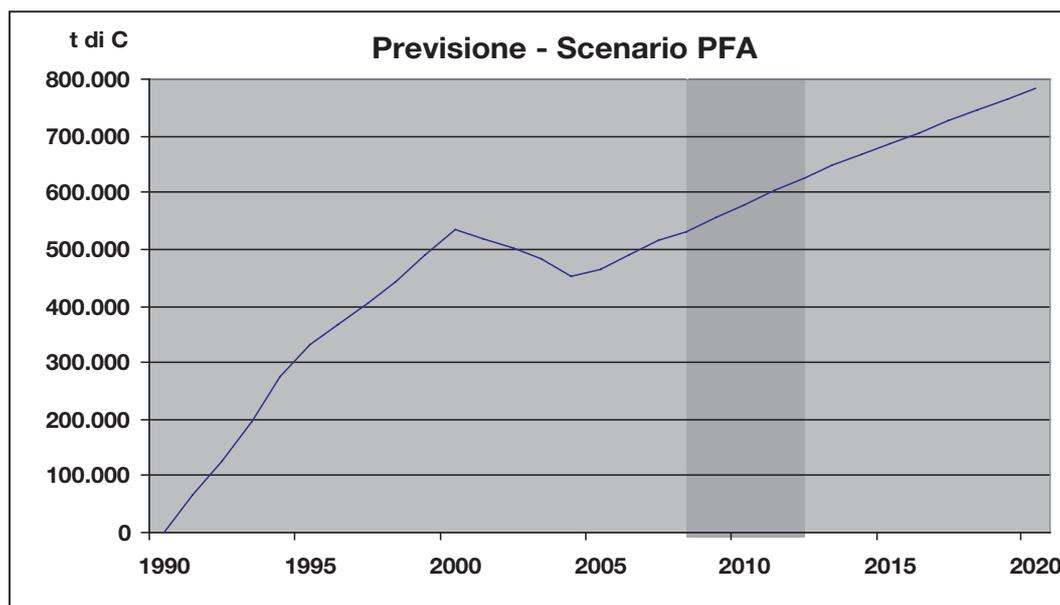
**Scenario *business as usual* (BAU):** si è assunto che dal 2001 – per ciascun tipo di formazione – vengano impiantate nuove superfici al ritmo medio degli ultimi cinque anni (1996-2000). La fissazione nel periodo 2008-2012 (vd. figura) ammonterebbe a 2.744.549 t di C (in media 548.910 t di C/anno).



**Scenario "Piani di Sviluppo Rurale" (PSR):** si è ipotizzato che nel 2001 e 2002 venga mantenuto – per ciascun tipo di formazione – lo stesso ritmo di impianto dell'ultimo lustro (1996-2000), mentre in seguito – come lasciano presupporre l'attuale programmazione finanziaria dei Piani di Sviluppo Rurale (Reg. CE 1257/99) e l'analisi congiunturale dei mercati dei prodotti dei rimboschimenti – ulteriori impianti di arboricoltura da legno vengano realizzati ad un ritmo pari ad un decimo dell'attuale. La fissazione nel periodo 2008-2012 ammonterebbe a 1.407.718 t di C (in media 281.544 t di C/anno).



**Scenario "Politiche forestali attive" (PFA):** la stima dell'andamento della fissazione di carbonio nei rimboschimenti effettuati dal 1990 è basata sull'ipotesi che nel 2001 e 2002 venga mantenuto – per ciascun tipo di formazione – lo stesso ritmo di impianto dell'ultimo quinquennio (1996-2000) ed in seguito il ritmo di impianto aumenti del 10% rispetto a tale riferimento, grazie a politiche di incentivazione particolarmente attive. La fissazione nel *1<sup>st</sup> commitment period* raggiungerebbe 2.893.086 t di C (in media 578.617 t di C/anno).



Tutti i grafici presentati si riferiscono a dati cumulati delle potenzialità di fissazione dei rimboschimenti italiani: in nessun caso sono state fatte ipotesi di ritorno del suolo al primitivo utilizzo agricolo. Nel capitolo successivo, sulla base dei risultati dell'analisi di scenario qui riportata, sono state assunte due ipotesi più estreme nella previsione di possibili interventi (e dei corrispondenti costi) relativi all'art. 3.3.

### *La crescita degli stock nelle foreste seminaturali*

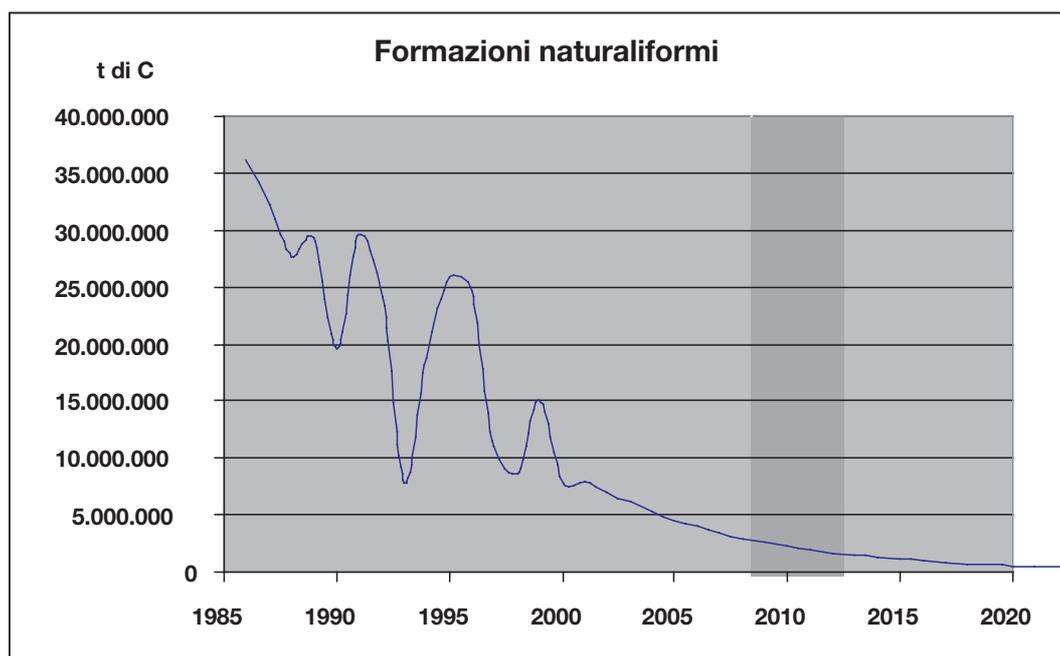
La stima del carbonio fissato grazie a interventi di gestione nelle foreste seminaturali (articolo 3.4) è stata effettuata utilizzando il modello CSEM elaborato da Anderle, Dal Bon, Ciccarese e Pettenella e perfezionato a seguito di una ricerca condotta per l'ANPA i cui risultati sono in fase di pubblicazione. Il modello disaggrega la superficie forestale nazionale in 15 tipologie forestali (vd. Inventario Forestale Nazionale per l'Italia - IFNI):

- fustaia abete rosso
- fustaia abete bianco
- fustaia larice
- fustaia pini montani
- fustaia pini mediterranei
- altre conifere
- fustaia faggio

- fustaie querce
- fustaia altre latifoglie
- ceduo faggio
- ceduo castagno
- ceduo carpini
- cedui querce
- ceduo altre latifoglie
- altre formazioni

Per ogni singola tipologia è stata stimata una curva logistica in base ai dati forniti dall'ISAFa relativa all'andamento degli *stock* nei punti inventariali. Le funzioni stimate sono riferite alle superfici dell'IFNI, rese dinamiche in base alle variazioni della superficie forestale registrata annualmente dall'ISTAT. I dati della biomassa inventariale sono corretti per tenere in considerazione la biomassa epigea non oggetto di inventario (rami) e della biomassa ipogea. I dati di *stock* della biomassa sono sommati a quelli delle variazioni del carbonio nel suolo, anch'essi variabili in base ad una logistica entro due valori di massimo e minimo per singola tipologia forestale assunti deterministicamente. Tale impostazione del modello consente di includere una stima, anno per anno, degli effetti degli incendi (fonte MIPAF) sul suolo e soprasuolo.

Il grafico che segue riporta la stima dell'andamento della funzione di *sink* (netto) derivante dalla differenza annuale dei dati di *stock* relativi alle 15 tipologie forestali. La stima di *sink* per il periodo 2008-2012 è pari a 11.375.000 t di C (in media 2.275.000 t di C/anno).



Assumendo il 15% di tale valore (341.000 t di C/anno), il dato di riferimento risulta, comunque, nettamente superiore al *cap* definito a Marrakesh.

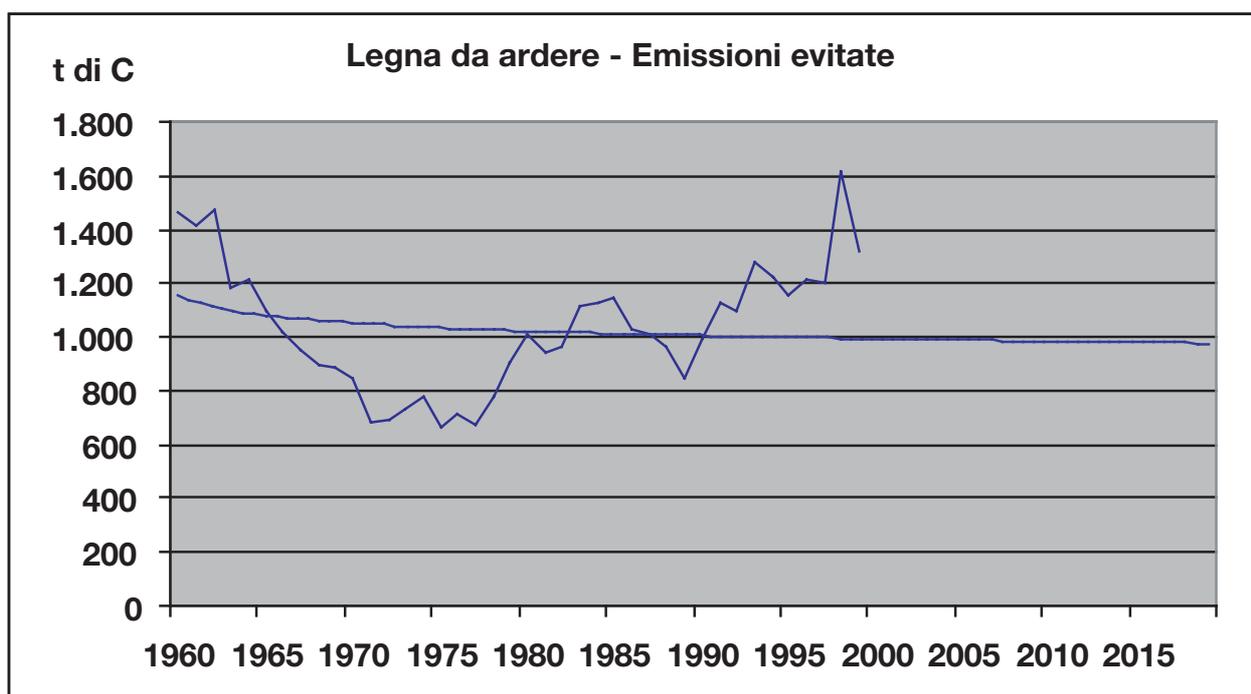
## Sostituzione di combustibili fossili con biomasse a fini energetici

Sulla base dei dati ECE-FAO (di fonte ISTAT) relativi ai prelievi ad uso energetico, si è stimato l'effetto di sostituzione di combustibili fossili tra il 1960 e il 2000. Il risparmio si assesta nell'ordine delle 1 M t di C/anno. Sulla serie storica si è effettuato un tentativo di proiezione (vd. figura; dati in migliaia di t). Vanno segnalati tre limiti di grande rilevanza relativi a tale stima:

- i dati ufficiali, benché di carattere censuario e non campionario, sono ritenuti in più sedi fortemente sottostimati. Confrontando i dati relativi all'ultimo decennio con quelli stimati in due indagini campionarie promosse dall'ENEA, si evidenzia che la sottostima è dell'ordine del 30% (Gerardi *et al.*, 1998; Tommasetti, 2000);

- tali dati non contemplano i consumi a fini energetici dei residui della prima e seconda lavorazione industriale, valori particolarmente significativi. Uno studio dell'ENEA condotto su 130 aziende del settore legno-arredo della Provincia di Treviso ha stimato che le aziende produttrici di mobili utilizzano mediamente a fini energetici il 25% degli scarti prodotti contro un valore del 10% delle aziende dedicate alla lavorazione del legno. La percentuale di riutilizzo s'innalza al 39% se l'analisi viene operata sulle sole aziende del campione con più di 50 addetti. La stessa indagine ha evidenziato che circa il 30% degli scarti viene venduta. Estendendo questi risultati all'intero territorio nazionale si può stimare la produzione di scarti legnosi del settore dell'industria del legno variabile tra i 2.246.996 e 3.506.676 t/anno;

- anche alla luce delle considerazioni sopra richiamate, oltre che per l'andamento dei prelievi a fini energetici riportato nel grafico (graduale riduzione fino a metà degli anni '70 e successiva crescita irregolare), una valutazione revisionale, se non basata su variabili esterne, è quanto mai aleatoria (ovvero fortemente dipendente dalla metodologia statistica impiegata).



## *Incremento della capacità di fissazione di carbonio nei prodotti legnosi*

Per la stima della capacità di fissazione di C nei prodotti legnosi, in attesa che venga definita in sede internazionale una metodologia univoca, si è fatta una valutazione con due riferimenti:

- il C fissato nei prodotti industriali provenienti da materie prime prelevate dai boschi italiani;
- il C fissato nei prodotti legnosi relativi al consumo apparente di semilavorati (non si è potuto fare riferimento al consumo apparente di prodotti finiti in quanto non sono disponibili coefficienti che consentano di trasformare i dati in peso di mobili e altri prodotti nel peso o volume equivalente in legno).

Sono stati considerati i seguenti semilavorati (dati di fonte FAO-ECE): segati di conifere, segati latifoglie, compensati, tranciati, pannelli particelle, pannelli di fibre, paste ad uso cartario (7). Le sette tipologie di prodotto sono destinate in misura diversa ai vari impieghi finali; la tabella che segue riporta le assunzioni sulla ripartizione degli impieghi finali in cinque settori fatte in base alle fonti disponibili.

### Impieghi finali del consumo apparente (in %)

	<b>Carta</b>	<b>Mobili</b>	<b>Edilizia</b>	<b>Imballaggi</b>	<b>Altro</b>	<b>Totale</b>
segati di conifere	4	5	80	8	3	100
segati latifoglie	5	75	5	10	5	100
compensati	0	75	5	15	5	100
Tranciati	0	85	15	0	0	100
pannelli particelle	0	85	10	5	0	100
pannelli di fibre	0	80	15	5	0	100
paste	90	0	0	10	0	100

Per le cinque categorie di impiego finale si sono assunti, sempre in base alla letteratura disponibile, diverse lunghezze del ciclo di vita dei prodotti; in particolare:

- carta: 2 anni,
- mobili: 7 anni,
- edilizia: 15 anni (8),
- imballaggi: 3 anni;
- altri prodotti: 3 anni.

Per effettuare una valutazione del C *sink* annuale "netto" (cioè tenendo conto della ri-emissione di C in atmosfera al termine del ciclo di vita), le elaborazioni sono state fatte a partire dai dati del 1960.

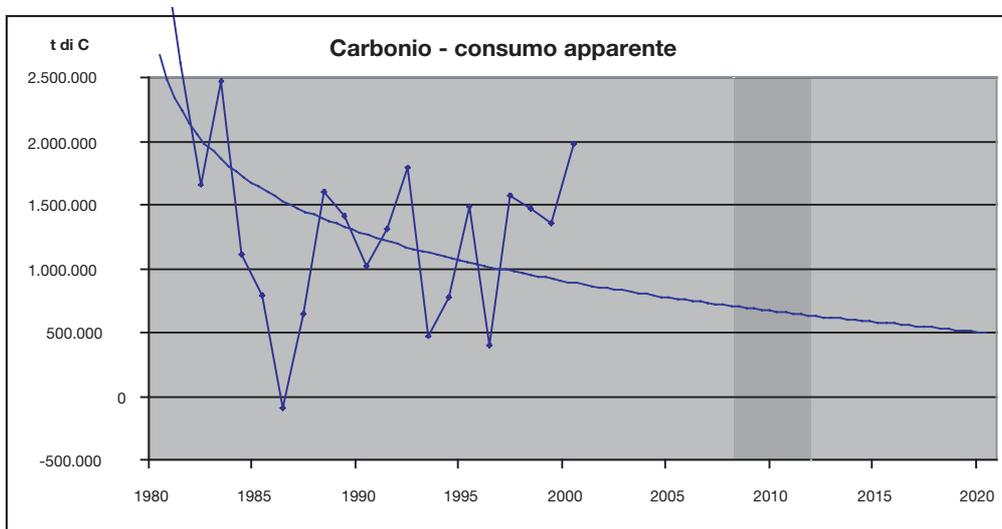
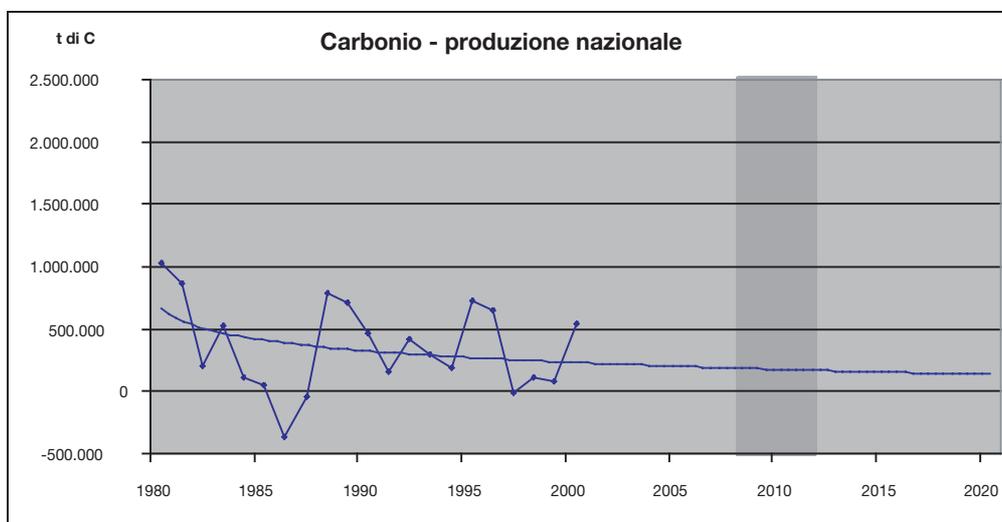
---

(7) Nelle elaborazioni non si è tenuto conto dell'assortimento "legna da ardere" poiché lo si è considerato – dal punto di vista del sequestro di carbonio dall'atmosfera – come un serbatoio a bilancio annuale, quindi ininfluenza.

(8) A livello nazionale l'impiego di legname ad uso strutturale in edilizia è molto contenuto, ciò può spiegare il ridotto numero di anni del ciclo di vita.

Le due figure che seguono riportano i risultati delle elaborazioni su dati dei due gruppi di serie storiche considerati e le proiezioni al 2020. L'ordine di grandezza dello *stock* riferito ai prelievi nazionali si assesta tra 200.000 e 400.000 t di C. Le variazioni dello *stock* di carbonio contenuto nei prodotti legnosi riferiti al consumo apparente si assesta su valori di grandezza superiore (tra 500.000 e 1.500.000 t di C), ma anche le fluttuazioni annue sono più marcate e ciò influenza certamente l'andamento della curva di tendenza.

I risultati non consentono di ipotizzare che la fissazione temporanea di C nei prodotti legnosi possa essere parte di una strategia di contenimento dei fenomeni di emissione dei gas di serra in atmosfera, salvo nel caso in cui non si espanda l'impiego del legno in edilizia. I risultati ottenuti sono da ricondurre alla dinamica delle produzioni e del consumo apparente (incrementi annui non molto significativi) e alla tipologia di prodotti legnosi prevalenti nel mercato nazionale (carta e mobili a base di legno ricostruito) e, quindi, alla limitata lunghezza del ciclo di vita. Va, tuttavia, osservato che l'industria del legno rappresenta un "volano" per le funzioni di fissazione nelle formazioni forestali: in una prospettiva di gestione sostenibile, i prelievi di biomassa forestale (e il conseguente effetto di "ringiovanimento" dei boschi) vengono compensati da accresciuti incrementi dello *stock*.



### 3. I costi delle misure forestali

Alla luce dei risultati dell'analisi delle potenziali misure forestali presentata nella pagine precedenti, sono state individuate 10 specifiche linee d'intervento. Tali interventi riprendono le tipologie sopra riportate (e in alcuni casi le specificano) con le seguenti eccezioni:

– non si è considerata la semplice ipotesi di conteggiare un invecchiamento "naturale" delle formazioni forestali, linea di intervento che risulterebbe a costo nullo, salvo gli eventuali costi amministrativi connessi all'individuazione, inventariazione e monitoraggio delle formazioni; si è, invece, preferito considerare un'ipotesi di accompagnamento del processo di invecchiamento e di crescita dello *stock* tramite la realizzazione di misure selvicolturali (sfolli, diradamenti, piantagioni localizzate, ecc.);

– non si sono tenuti in considerazione gli interventi connessi alla fissazione di carbonio nei prodotti legnosi in quanto, come già accennato, al di là dei modesti effetti di questa linea di intervento, gli accordi relativi all'implementazione del Protocollo non prevedono tale conteggio nel *first commitment period*;

– le misure basate sulla creazione di impianti a breve ciclo (*short rotation forestry - SRF*) sono state considerate per la sola valenza di produzione di biomasse a fini energetici in sostituzione di combustibili convenzionali e non per gli effetti di *carbon sink* come, in linea teorica, reso possibile dall'art. 3.3; trattandosi, per definizione, di piantagioni a ciclo breve e velocemente reversibili al precedente utilizzo agricolo dei terreni, l'effetto di fissazione temporanea di carbonio è, infatti, limitato ad un numero di anni molto ridotto (in Italia non sono presenti casi di utilizzo permanente di terreni per SRF e la reversibilità sembra una esigenza di carattere colturale).

Per ognuna delle 10 linee d'intervento sono stati individuati due livelli-limite di possibile attuazione e una durata del ciclo d'investimento, secondo quanto riportato nella tabella che segue. La tabella segnala anche, a titolo di confronto, l'attuale livello di realizzazione delle tipologie di intervento previste o, per l'attuazione degli interventi di gestione forestale (art. 3.4), l'estensione dell'area che potrebbe in parte essere interessata agli interventi.

Misure forestali ipotizzate nella simulazione relativa ai costi d'intervento

	condizioni attuali	espansione potenziale		
		minima	massima	"turno"
	ha	ha	ha	Anni
<b>Piantagioni (art. 3.3)</b>				
• piantagioni di pioppo	110.000	20.000	30.000	10
• piantagioni di eucalitti	20.000	5.000	30.000	21
• piantagioni con latifoglie di pregio a ciclo lungo	80.000	150.000	300.000	40
• piantagioni di conifere nelle regioni settentr.	700.000	20.000	50.000	60
• piantagioni di conifere nelle aree centro-merid.	500.000	50.000	100.000	40
<b>Gestione for. seminaturali (art. 3.4)</b>				
• diminuzione incendi	4.000.000	100.000	300.000	20
• miglioramenti boschivi	3.500.000	500.000	700.000	20
• gestione evoluzione naturale	2.000.000	200.000	400.000	20
<b>Produzioni energetiche</b>				
• SRF	10.000	10.000	30.000	12
• produzioni da boschi convenzionali	6.400.000	500.000	800.000	20

Per le due condizioni-limite di espansione degli interventi sono stati calcolati i costi di investimento e gli effetti in termini di *carbon sink*. La tabella che segue riporta i

coefficienti assunti per la conversione delle masse dendrometriche di legname in tonnellate di carbonio. Va a questo riguardo ricordato che, relativamente ad alcuni dei parametri utilizzati nella conversione, esistono dei significativi elementi di incertezza. Tra gli aspetti metodologici di non secondaria importanza che andranno definiti nel prossimo futuro va rimarcata la necessità dell'impiego di un set di coefficienti di conversione omogenei e condivisi. Nella successiva tabella sono riportati i costi e gli effetti di fissazione collegati alle 10 tipologie di intervento per i due livelli di attuazione, mentre nella figura è stata evidenziata la relazione tra costo unitario e capacità fissativa o di sostituzione per tipologia d'intervento forestale nell'ipotesi di espansione minima degli interventi.

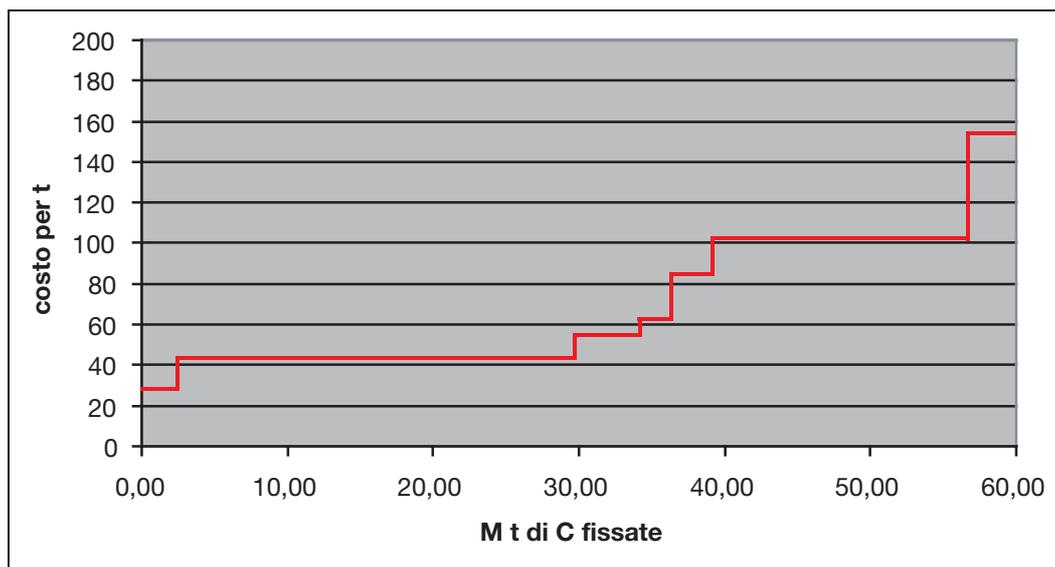
#### Coefficienti di conversione impiegati nello studio

Coefficienti	latifoglie	conifere	media
Densità basale	0,60	0,50	-
Massa blastometrica	1,30	1,20	-
Massa ceppaia, radici	1,25	1,25	-
Contenuto carbonio	0,50	0,50	-
Coefficiente totale	0,49	0,38	0,43

#### Costi ed effetti di fissazione e sostituzione collegati alle 10 tipologie di intervento

	valutazioni per unità di superficie (ha)				totale potenzialità		
	costo intervento Euro	incrementi legnosi mc/anno	effetti fissativi tC/anno	totale t di C	costo fissazione Euro/tC	Costo Euro	C fissato/ anno tC/anno
<b>Espansione potenziale minima dell'intervento</b>							
<b>PIANTAGIONI (art. 3.3)</b>							
• piantagioni di pioppo	3.500	25,0	12,2	121,9	29	70.000.000	243.750
• piantagioni di eucalitti	4.500	7,0	3,4	71,7	63	22.500.000	17.063
• piantagioni con latif. di pregio a ciclo lungo	6.000	3,0	1,5	58,5	103	900.000.000	219.375
• piantagioni di conif. nelle regioni settentr.	5.000	4,0	1,5	90,0	56	100.000.000	30.000
• piantagioni di conifere nelle aree centro-merid.	4.500	4,0	1,5	60,0	75	225.000.000	75.000
<b>GESTIONE FOR. SEMINATURALI (art. 3.4)</b>							
• diminuzione incendi	4.000	3,0	1,3	25,9	155	400.000.000	129.375
• miglioramenti boschivi	3.000	2,0	0,9	17,3	174	2.100.000.000	431.250
• gestione evoluzione naturale	3.500	1,5	0,6	12,9	271	700.000.000	129.375
<b>PRODUZIONI ENERGETICHE</b>							
• SRF	8.000	20,0	7,8	93,6	85	80.000.000	78.000
• produzioni da boschi convenzionali	1.500	2,0	1,7	34,0	44	750.000.000	850.000
<b>Espansione potenziale mass. dell'intervento</b>							
<b>PIANTAGIONI (art.3.3)</b>							
• piantagioni di pioppo	3.500	25,0	12,2	121,9	29	105.000.000	365.625
• piantagioni di pioppo	4.500	7,0	3,4	71,7	63	135.000.000	102.375
• piantagioni di eucalitti	6.000	3,0	1,5	58,5	103	1.800.000.000	438.750
• piantagioni con latif. di pregio a ciclo lungo	5.000	4,0	1,5	90,0	56	250.000.000	75.000
• piantag. di conif. nelle regioni settentr.	4.500	4,0	1,5	60,0	75	450.000.000	150.000
• piantag. di conif. nelle aree centro-merid							
<b>GESTIONE FOR. SEMINATURALI (art. 3.4)</b>							
• diminuzione incendi	4.000	3,0	1,2	24,0	167	1.200.000.000	360.000
• miglioramenti boschivi	3.000	2,0	0,8	16,0	188	2.100.000.000	560.000
• gestione evoluzione naturale	3.500	1,5	0,6	12,0	292	1.400.000.000	240.000
<b>PRODUZIONI ENERGETICHE</b>							
• SRF	8.000	20,0	7,8	93,6	85	240.000.000	234.000
• SRF	1.500	2,0	0,6	12,0	125	1.200.000.000	480.000

**Nota:** la successione delle tipologie di intervento (dalla più efficiente in termini di costo per tonnellata di carbonio alla meno efficiente) è la seguente: piantagioni di pioppo, produzioni da boschi convenzionali, piantagioni di conifere nelle regioni settentrionali, piantagioni di eucalitti, piantagioni di conifere nelle aree centro-meridionali, SRF, piantagioni con latifoglie di pregio a ciclo lungo, diminuzione incendi, miglioramenti boschivi, gestione evoluzione naturale.



Da ultimo è importante sottolineare che nella valutazione degli interventi sono stati tenuti in considerazione i soli costi di intervento. Come segnalato nella tabella, la gran parte degli interventi è caratterizzata da una presenza di redditi finanziari (nel caso della pioppicoltura alle attuali condizioni di mercato si può ipotizzare il caso limite di interventi di *no regret*).

	<b>redditi finanziari a fine "turno"</b>	<b>esternalità pubbliche</b>	<b>cross sectoral policies</b>
Piantagioni di pioppo	si (no regret)	no	PAC, pol. filiera
Piantagioni di eucalitti	si	limitate	PAC, pol. filiera
Piantagioni con latifoglie di pregio a ciclo lungo	si, limitati	significative	PAC, paesaggio, biodiversità
Piantagioni di conifere nelle regioni settentr.	si, limitati	limitate	PAC
Diminuzione incendi	si, limitati	significative	Biodiv., paesaggio
Miglioramenti boschivi	si, limitati	significative	Pol.filiera, biodiversità
Gestione evoluzione naturale	no	limitate	Biodiv., paesaggio, pol. filiera
SRF	si	no	Pol. energ. rinnovabili
Produzioni da boschi convenzionali	si	limitate	Pol. energ. rinnovabili

La convenienza pubblica alla realizzazione degli investimenti forestali potrebbe essere significativamente aumentata se si potessero conteggiare in forma generalizza-

ta alcune esternalità connesse alla presenza e buona gestione dei boschi, esternalità per le quali esiste una evidenza empirica ma non un sistema contabile in grado di consentire stime a livello aggregato. Si pensi agli effetti positivi connessi alla presenza o espansione di aree forestali per quanto riguarda la tutela della biodiversità, la stabilizzazione idrogeologica, la conservazione del paesaggio, la riduzione dei costi della Politica Agricola Comunitaria (PAC), l'offerta di aree ricreative, la regolazione del ciclo dell'acqua. Molti degli investimenti forestali analizzati hanno, infine, positivi impatti intersettoriali con politiche di sviluppo d'importanza strategica per il paese, quali quelle energetiche e dell'industria del legno e della carta (9).

#### **4. Contributo potenziale delle misure forestali al costo di riduzione delle emissioni in Italia**

Il problema della valutazione dei costi per l'adempimento degli obblighi di Kyoto fa parte del dibattito politico e scientifico sul protocollo.

Non esistono strumenti o metodi certi per determinare l'entità degli sforzi economici che i paesi coinvolti dovranno sostenere se decideranno di adempiere agli obblighi. Va tenuto infatti presente che lo sforzo di riduzione delle emissioni coinvolge tutto il sistema produttivo e sociale del paese, e le azioni che si possono implementare sono le più varie per tipologia e costo.

Nella letteratura, le valutazioni vengono fatte, sostanzialmente, secondo tre metodi alternativi:

- attraverso modelli di equilibrio economico generale;
- attraverso modelli tecnologici (che possono tenere conto delle riduzioni prive di costo);
- attraverso stime ed analisi del costo marginale di abbattimento (MAC) ovvero del costo unitario di una riduzione marginale delle emissioni.

L'ultimo metodo, che illustriamo nel seguito, ha il grande vantaggio dell'estrema semplicità e dell'applicabilità a qualunque paese semplicemente a partire dai dati sul consumo dei prodotti energetici e relativi prezzi.

Per contro, questa semplicità potrebbe anche essere giudicata eccessiva, sia per il fatto di non distinguere le azioni compiute, sia in quanto si utilizzano modelli che descrivono il funzionamento del sistema in assenza di costrizioni sulle emissioni di CO<sub>2</sub> per valutare l'effetto di vincoli inediti per il sistema stesso.

Il prodotto finale è costituito dalle curve di costo marginale di abbattimento (MAC), le quali forniscono, per ogni livello di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, il costo per ridurre di un'ulteriore unità (tonnellata) l'emissione complessiva.

Le curve di costo marginale di abbattimento da noi considerate sono quelle proposte in Ellerman & Decaux, 1998 e in Ciorba, Lanza, Pauli, 2001, richiamati, nelle loro linee essenziali, nel prossimo paragrafo.

---

(9) I prodotti legnosi sono la terza voce di importazione nella bilancia commerciale italiana.

## *I modelli considerati*

Ellerman e Decaux si basano sul modello EPPA, un modello di equilibrio economico generale sviluppato dal MIT che include l'attività economica, l'uso di energia e le emissioni di CO<sub>2</sub>. Tale modello fornisce, per diversi vincoli sulle emissioni, un prezzo ombra del carbonio. Sulla base dei prezzi ombra così determinati gli autori valutano (per semplice interpolazione) una curva MAC per USA, Giappone, Unione Europea dei 12 (UE12) e altri gruppi di paesi. Non si ottiene, dunque, una curva specifica per l'Italia. Nel seguito si è adottata la curva per UE12 come se fosse relativa all'Italia.

In Ciorba, Lanza, Pauli (2001) (CLP da qui in poi), gli autori hanno stimato dei modelli di domanda settoriale dei prodotti energetici, ottenendo una funzione che lega il consumo dei prodotti ai prezzi degli stessi:

$$(Q_1, K, Q_s) = f(p_1, K, p_s)$$

(l'indice rappresenta i diversi prodotti energetici considerati).

Per ottenere la curva dei costi marginali si considera l'effetto di un aumento del "prezzo del carbonio" e si valuta la corrispondente variazione nelle emissioni. Precisamente, se con  $c_i$  si indica il contenuto percentuale di carbonio di ciascuno dei prodotti energetici, si incrementa ciascuno dei prezzi di  $c_i \Delta p$  e, in corrispondenza ai nuovi prezzi  $p_i^* = p_i + c_i \Delta p$ , si valutano le quantità consumate:

$$(Q_1^*, K, Q_s^*) = f(p_1^*, K, p_s^*)$$

e, di conseguenza, la variazione nelle emissioni di carbonio:

$$\Delta C(\Delta p) = \sum_{i=1}^s c_i Q_i^* - \sum_{i=1}^s c_i Q_i$$

ripetendo il procedimento per diversi valori di  $\Delta p$  si ottengono le curve di costo marginale desiderate.

## *Valutazione dei costi e carbon sinks*

Né Ellermann e Decaux, né Ciorba, Lanza e Pauli tengono conto, nei citati lavori, della possibilità di ridurre le emissioni anche attraverso l'incremento della superficie boschiva ossia l'incremento della capacità di assorbimento di CO<sub>2</sub> da parte del sistema forestale.

Occorrerebbe, per poter correttamente tenere conto di questa alternativa, conoscere il costo marginale di incremento o creazione di superficie boschiva, nonché la misura in cui tale incremento porta ad una riduzione delle emissioni stesse.

Le informazioni di cui disponiamo sono invece (vedi tabelle del paragrafo 3)

- costo medio;
- entità massima di incremento o creazione di boschi per tipologia di intervento;
- stima della CO<sub>2</sub> assorbita per ciascuna tipologia di intervento per anno e totale (ossia relativa all'intero periodo durante il quale l'intervento dispiega i suoi effetti).

Una funzione di costo marginale si può comunque valutare una volta noto il costo totale e l'entità massima dell'intervento assumendo che il costo marginale abbia andamento lineare fino all'entità massima (e poi infinito). Infatti dal costo e abbattimento totale possiamo calcolare la curva in due punti (l'origine, poiché ad abbattimento zero corrisponde costo marginale zero, e il punto corrispondente al massimo abbattimento potenziale (MAP), in corrispondenza al quale è noto il costo totale e quindi l'area sottesa dalla retta tra ascissa zero e ascissa pari al MAP).

Un elemento importante nel valutare gli interventi riportati nella tabella è la durata degli stessi. Come si vede dalla tabella, il periodo di tempo durante il quale ciascun intervento dispiega i suoi effetti varia tra i 10 e i 60 anni, sicché il prezzo in tabella va riferito a queste durate.

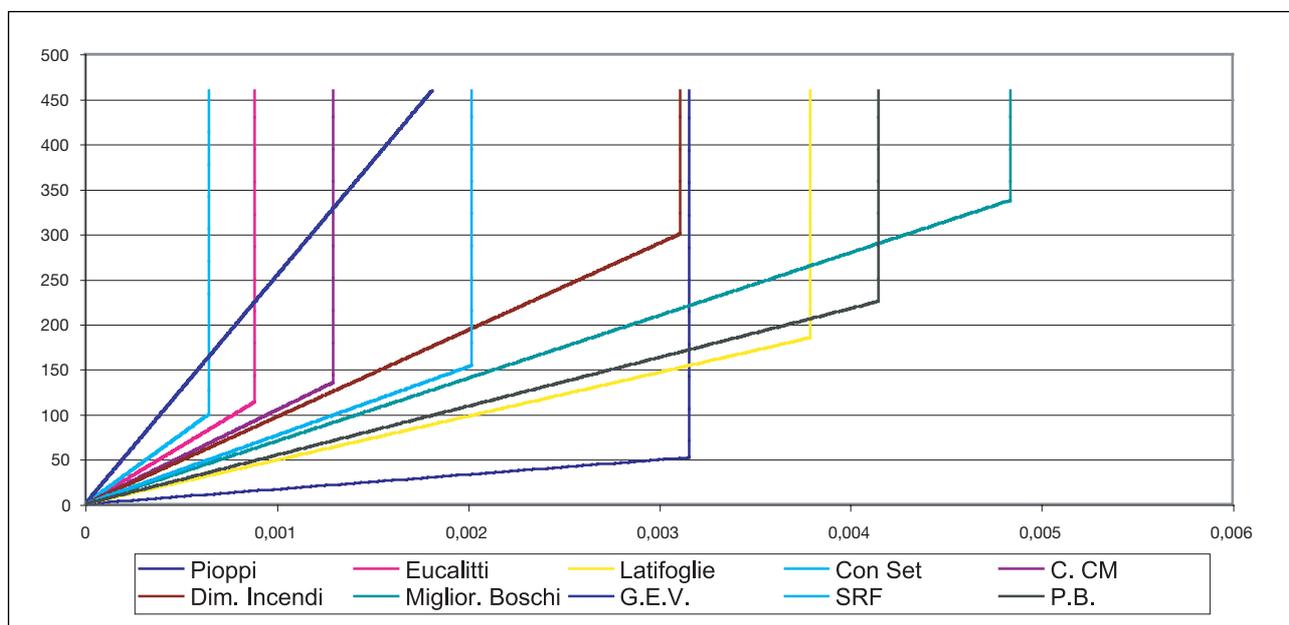
Ad esempio, nel caso della pioppicoltura, gli alberi piantati crescono velocemente, ed hanno dunque un elevato effetto di assorbimento, facendo registrare buoni risultati nei primi anni, il pioppeto giunge però rapidamente a maturità (circa 10 anni) e di conseguenza viene tagliato e il terreno viene utilizzato a mais. In un rimboschimento in montagna viceversa il legno cresce molto lentamente, producendo un effetto limitato nei primi anni ma che perdura e, dopo 70-100 anni costituisce uno stock elevato e soprattutto permanente.

Nell'effettuare le valutazioni si è scelto di valorizzare gli interventi più duraturi. La logica della valutazione consiste nel ripetere gli interventi di più breve durata un numero di volte sufficiente ad eguagliare la durata degli interventi più duraturi, si considera poi come costo annuo equivalente il valore attualizzato all'epoca iniziale diviso per il numero di anni.

Se il tasso di sconto adottato è zero, come nelle elaborazioni che seguono, la procedura descritta equivale a dividere semplicemente il costo per il numero di anni per i quali l'intervento dura (diverso per ciascun intervento).

Con queste informazioni si può valutare una curva di costo marginale sotto ipotesi di linearità della stessa fino al massimo abbattimento potenziale.

Il grafico riporta le curve MAC ottenute nel modo descritto per ciascuna tipologia di intervento, ciascuna di esse diviene verticale in corrispondenza al MAP (costo infinito).



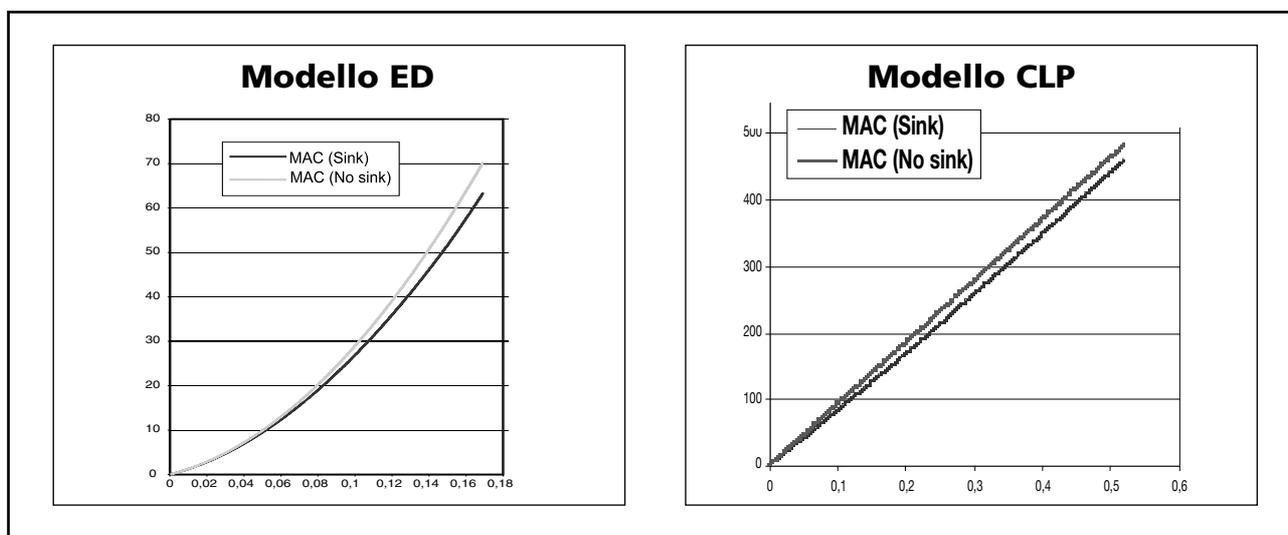
Prima di conglobare queste curve, insieme a quella ricavata in CLP, in una curva MAC complessiva, conviene fare alcune osservazioni sulle potenzialità delle attività forestali nel contribuire agli obblighi del protocollo di Kyoto.

Con la partecipazione al protocollo l'Italia ha contratto l'obbligo di contenere le emissioni di CO<sub>2</sub> nel 2010 al di sotto di 104,1Mt, a fronte di emissioni nel 1997 pari a 115,7Mt e di una previsione BAU al 2010 di 132,2Mt.

I progetti di attività forestale, se portati alla loro massima espansione, comporterebbero annualmente una riduzione delle emissioni conteggiabile ai fini degli accordi pari a 2Mt, il 7,2% della differenza tra previsione BAU e impegno al 2010. In termini di costi, secondo il modello CLP il costo della riduzione per tonnellata di Carbonio è 113 US\$, il costo medio degli interventi forestali è 117 US\$. Su queste basi non ci si può attendere un contributo decisivo nella riduzione dei costi dagli interventi in attività forestali.

Costruiamo dunque la curva MAC complessiva. Per fare ciò consideriamo una griglia di valori per il costo marginale. In corrispondenza a ciascuno di essi, sia  $p$ , valutiamo, per ciascuna tipologia di intervento (compreso l'aumento dei prezzi dei combustibili fossili e derivati), il livello di abbattimento il cui costo marginale è non superiore a  $p$ .

La curva così costruita è riportata in figura per i due modelli considerati e, come a questo punto ci si attendeva, si discosta poco dalla curva di costo marginale, più alta, che non tiene conto della possibilità di intervenire attraverso attività forestali.



Sulla base di queste curve si è dunque calcolata il nuovo costo marginale di abbattimento ed il nuovo costo totale di abbattimento con gli interventi forestali nelle due ipotesi di espansione come descritte nel paragrafo 3. La riduzione percentuale del costo marginale e totale è indicata in tabella relativamente ai due modelli e alle due ipotesi di espansione.

Espansione potenziale degli interventi		ED	CLP
Minima	MAC	9.1	5.6
	TAC	8.9	8.3
Massima	MAC	15.4	10.1
	TAC	14.6	14.2

## Analisi di sensitività

Si è già messo in evidenza come la valutazione del contributo dei sinks alla riduzione dei costi per l'adempimento del Protocollo di Kyoto risenta di forti incertezze:

- insite nei modelli in cui i sink stessi vengono inseriti (le curve MAC stimate in CLP e ED)
- proprie della valutazione dei parametri relativi ai sink stessi (ricavi finanziari, esternalità) come già sottolineato nel paragrafo 3;
- tipiche delle previsioni delle emissioni BAU al 2010.

Ulteriori elementi di incertezza possono poi venire dalla interazione tra le politiche in campo forestale e altre politiche di settore.

Si è cercato dunque di valutare il peso di questi elementi di incertezza mediante una semplice simulazione: ai più importanti parametri incerti si è assegnata una distribuzione di probabilità, simulando da essa un certo numero di valori in corrispondenza a ciascuno dei quali si è valutata la riduzione di costo. Dal risultato è quindi possibile determinare il grado di incertezza sulla riduzione dei costi dovuto all'incertezza sui parametri iniziali. In particolare, abbiamo assunto distribuiti normalmente con media pari ai valori stimati e scarto quadratico medio pari al 10% di tale valore i coefficienti delle curve MAC, in modo da tenere conto di un possibile errore in eccesso o difetto. I costi delle iniziative costituiscono, come si è detto, una sovrastima dei costi effettivi, pertanto i costi degli interventi indicati nelle tabelle del paragrafo 3 sono stati ridotti di una percentuale distribuita come un'esponenziale di media 10%. Infine, per la potenzialità degli interventi si sono assunti i valori indicati nella tabella come limiti estremi e si è assunta una distribuzione rettangolare tra tali valori. Si ottiene così una distribuzione di probabilità per le percentuali di riduzione, distribuzione che è riassunta sinteticamente nella tabella in termini dei percentili 2,5 e 97,5.

	ED	CLP
MAC	9.3 15.9	5.8 10.0
TAC	9.1 15.8	8.7 14.8

## CONCLUSIONI: VERSO UN MERCATO CHE POSSA REMUNERARE GLI INVESTIMENTI FORESTALI

La realizzazione di investimenti forestali per la fissazione di carbonio è già una realtà operativa: 4 milioni di ettari sono già stati oggetto di intervento dal 1992 ad oggi (Moura-Costa, 2001) in più di 40 progetti realizzati sia in Paesi in via di sviluppo (Brasile, Bolivia, Costa Rica, Ecuador, Malesia, Uganda) che in Paesi industriali (Australia, Olanda) o con economie in transizione (Repubblica Ceca, Romania). Molte di queste iniziative sono state sottoposte a certificazione indipendente relativa agli effetti degli investimenti in termini di fissazione di carbonio. Autorità statali ed enti indipendenti offrono funzioni di controllo e garanzia. La Banca Mondiale ha creato un fondo e un organismo di intermediazione tra domanda e offerta di investimenti compensativi che

interessa anche investimenti forestali (il *Prototype Carbon Fund*, con una dotazione di 180 milioni di dollari; vd. <http://prototypecarbonfund.org>). Finora, tuttavia, tutti gli interventi in quelle che sono state chiamate – un po' semplicisticamente (10) – le "Kyoto forests" sono stati di carattere volontario e realizzati nella prospettiva di anticipare una legislazione che richiederà ai produttori di gas di serra l'obbligo di realizzare investimenti compensativi. In diversi casi gli interventi sono stati effettuati con fondi per la cooperazione ai Paesi in via di sviluppo e/o con fondi derivanti da *carbon tax* imposte ai produttori nazionali di energia. Non di rado gli investimenti realizzati sono stati motivati dal desiderio di alcune imprese di acquisire presso il pubblico una immagine di azienda responsabile dei propri impatti ambientali e per acquisire un vantaggio competitivo ("*environmentally friendly*"): la *British Petroleum*, ad esempio, si è imposta volontariamente un tetto di emissioni e quindi si è data una strategia di investimenti compensativi tra i quali figura anche un intervento forestale in Bolivia.

L'ammissibilità degli interventi forestali ai fini del soddisfacimento degli obblighi derivanti dal protocollo di Kyoto è suscettibile di portare ad una riduzione dei costi che i partecipanti all'accordo dovranno sopportare senza perciò allentare gli obiettivi in termini di salvaguardia dell'ambiente. Gli interventi forestali avranno dunque un valore determinato dal costo delle attività alternative ammissibili ai fini del soddisfacimento degli obblighi del protocollo di Kyoto. La quantificazione del risparmio, come quella del costo, è compito non facile. Relativamente all'Italia si è stimato che la possibilità di ricorrere ad interventi forestali per adempiere agli obblighi potrebbe portare ad una diminuzione dell'onere tra il 9 e il 15%.

Ad ogni investimento realizzato è associata una quota di emissioni evitate ("*emission reduction*") in termini di tonnellate di carbonio (o di anidride carbonica), con un relativo prezzo che corrisponde al costo marginale della tonnellata di carbonio fissata in ogni singolo progetto forestale, costo che è oscillato – nella seconda metà degli anni '90 - tra i 7 e i 20 dollari/tonnellata di carbonio (Smith e Scherr, 2001; Totten 1999). Nei prossimi mesi, quando il Protocollo entrerà in fase operativa, l'esperienza pregressa sarà di grande utilità per organizzare lo scambio di quote di emissione. I passi da fare non sono, comunque, semplici: definiti gli obiettivi e la tipologia di interventi ammissibili, si dovranno stabilire gli obblighi per i produttori e/o distributori di energia (11) e, quindi, innescare il meccanismo che porti alla realizzazione di interventi di risparmio, investimenti compensativi o alla possibilità di scambi di quote (FIELD, 2000). E' importante che si possa presto pervenire ad un quadro di regole che diano garanzie di trasparenza e correttezza agli scambi, anche per definire il ruolo che potrà essere operativamente dato agli investimenti nel settore forestale.

---

(10) In effetti gli interventi si sono concretizzati non solo in nuove piantagioni, ma anche in miglioramenti e arricchimenti di foreste con provvigioni che possono essere aumentate o in messa a protezione di foreste soggette a fenomeni di sovra-utilizzazione.

(11) Questa fase, definita di "*allocation*", sarà di responsabilità dei singoli Paesi, anche se – per i quindici Paesi dell'Unione Europea - andrà realizzata entro un quadro di regole definite dalla Comunità, soprattutto per ciò che riguarda la compravendita sul mercato comunitario delle quote.

## Bibliografia

- Binkley C.S., D. Brand, Z. Harkin, G.Bull, N.H.Ravindranath, M.Obersteiner, S.Nilsson, Y.Yamagata, M.Krot (2002): *Carbon sink by the forest sector options and needs for implementation*. Forest Policy and Economics, 4 (1), 65-77.
- Brown S., J. Sathaye, M. Cannel, P.E. Kauppi (1996): *Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management*. Commonw. For. Rev. 75 (1), pp. 80-91.
- Cesaro L., D. Pettenella (in stampa): *Le misure forestali nei Pani di Sviluppo Rurale*. Relazione al Convegno Associazione Laureati Italiani in Discipline Forestali, Accademia Italiana di Scienze Forestali. Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, Roma, 14 maggio 2002 (in stampa).
- Ciccarese L., D.Pettenella (2002): *Le foreste nell'attuazione del Protocollo di Kyoto dopo Marrakesh*. Sherwood - Foreste e alberi oggi, 8 (80), 5-10.
- Ciorba U., A. Lanza, F. Pauli (2001): *Kyoto Protocol and Emission. Trading: Does the US make a difference?* FEEM Nota di lavoro 90.2001
- Ellermann D., A. Decaux (2000): *Analysis of ost-Kyoto CO2 emissions trading using MAC curves*. MIT Press, Boston.
- FIELD (2000): *Designing options for implementing an emissions trading regime for greenhouse gases in the EC*. European Commission, DG Environment, Foundation for International Environmental Law and Development, London.
- Gerardi V., G.Perrella, F.Masia (1998): *Il consumo di biomassa a fini energetici nel settore domestico*. ENEA RT/ERG/98/9.
- Mohren G.M.J., J.F. Garza Caligaris, O. Maser, M. Kanninen, T. Karjalainen, A. Pussinnen, G.J. Nabuurs (1999): *CO2FIX for Windows: a dynamic model of the CO2 fixation in forests*. Institute for Forestry and Nature Research, Instituto de Ecologia Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Ensenanza, European Forest Institute.
- Moura-Costa P. (2001): *The climate convention and evolution of the market for forest carbon offsets*. Unasyuva, 52 (206), 34-41.
- Schlamadinger B., G.Marland (1998): *The Kyoto Protocol: provisions and unresolved issues relevant to land-use change and forestry*. Environmental Science and Policy 1(4), 313-327.
- Schlamadinger B., S.Woess-Gallasch, A.Cowie (eds) (2001): *Carbon Accounting and Emissions Trading Related to Bioenergy, Wood Products and Carbon Sequestration*. IEA Bioenergy Task 38, Greenhouse Gas Balances of Biomass and Bioenergy Systems Workshop Proceedings, Canberra, Australia, pp. 167-194.
- Schulze E.D., R.Valentini, M.J.Sanz (2002): *The long way from Kyoto to Marrakesh: implications of the Kyoto Protocol negotiations for global ecology*. Global Change Biology, 8 (6), 505-518.
- Smith J., S.J.Scherr (2001): *Forest carbon and local livelihoods. Policy Report, Center for International Forestry*. Research and Forest Trends, Bogor.
- Tommasetti G. (2000): *I consumi di legna nelle famiglie italiane*. Sherwood 8 (59), p. 15-19.

Thuille A., N.Buchmann, E.D.Schultze (2000): *Carbon stocks and soil respiration rates during deforestation, grassland use and subsequent Norway spruce afforestation in the Southern Alps, Italy*. In: *Tree Physiology* (20): 849-857.

Totten M. (1999): *Getting it right: emerging markets for storing carbon in forests*. Forest Trends, World Resource Institute, USA.

Watson R.T., I.R. Noble, B. Bolin, N.H. Ravindranath, D.L. Verada e D.L. Dokken (2000): *Land Use, Land-Use Change, and Forestry, A Special Report of the IPCC*, Cambridge University Press.

*Edito dall'ENEA*

*Progetto Speciale Clima Globale*

*C.R. Casaccia – Via Anguillarese, 301 – 00060 S. Maria di Galeria – Roma*

*<http://clima.casaccia.enea.it>*

*Stampa Tipografia Arti Grafiche Tilligraf SpA – Roma*

*Finito di stampare nel mese di gennaio 2003*

Allegato:



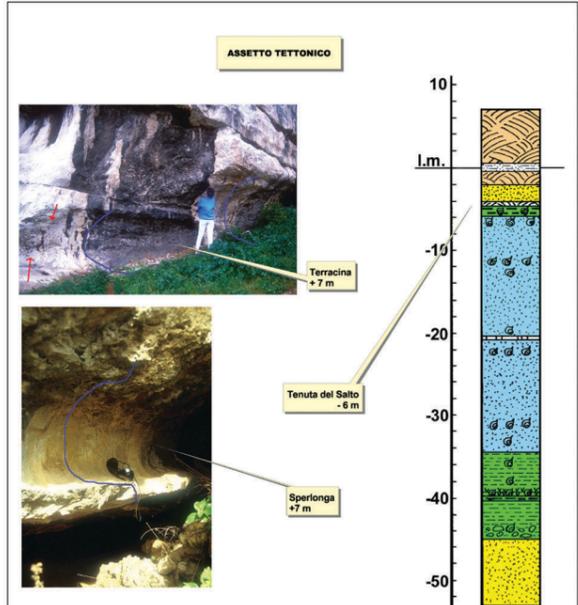
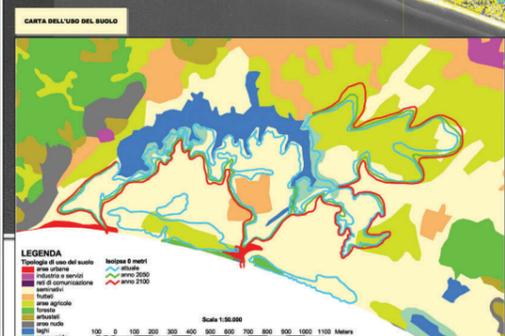
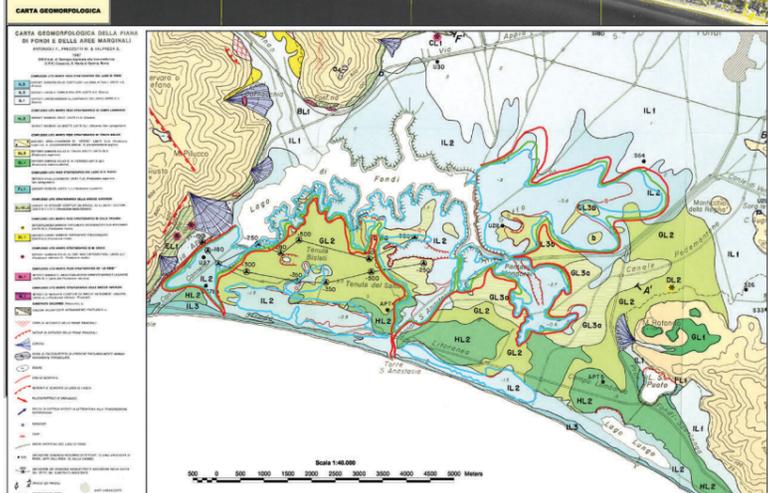
Lavoro diretto e svolto dal Progetto Speciale "Clima Globale" dell'ENEA in collaborazione con la FEEM e con il contributo finanziario del Ministero dell'Ambiente e del Territorio



## Piana di Fondi: Carta del rischio per la risalita del livello del mare

Fabrizio Antonioli\*, Emanuela Caiaffa\*, Gretel Gambarelli\*, Alessandra Gorla\*, Gabriele Leoni\*  
\* ENEA, \* Fondazione ENI Enrico Mattei (FEEM)

CON IL CONTRIBUTO DI: Ernesto Carcone (Consorzio di Bonifica della Piana di Fondi)  
Orietta Casali (ENEA)  
Geom. Fiore (Comune di Fondi)  
Alessandro Lanza (FEEM)  
Carlo Perotto (Provincia di Latina)  
Margherita Scoppola (INEA)  
Giorgio Vicini (FEEM)



VALORE ECONOMICO AREA A RISCHIO (mld £)

TASSO DI SCONTO	SCENARIO LOW*		SCENARIO HIGH*	
	limite inferiore	Limite superiore	Limite inferiore	Limite superiore
3%	253,381	365,779	361,150	503,677
1%	282,279	394,563	392,544	518,228

\*I due scenari prevedono ipotesi diverse:  
 • sul valore delle costruzioni nelle aree non edificabili  
 • sulla qualità ed il valore del terreno agricolo sotto il livello del mare

