

LA VALUTAZIONE ECONOMICA DEGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI IN ITALIA E DELLE RELATIVE MISURE DI ADATTAMENTO

Carlo Carraro¹, Jacopo Crimi², Alessandra Sgobbi²

1 - Università Ca' Foscari di Venezia, Fondazione Eni Enrico Mattei,
Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici

2 - Fondazione Eni Enrico Mattei,
Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici

Con il contributo di:

Anna Alberini, Andrea Bigano, Francesco Bosello, Margaretha Breil, Michela Catenacci, Aline Chiabai, Fabio Eboli, Gretel Gambarelli, Alessandra Gorla, Carlo Giupponi, Paulo A.L.D. Nunes, Luca Marazzi, Ramiro Parrado, Francesco Pauli, Roberto Roson, Chiara Trivisi.

Prima versione: Agosto 2007. Rivisto: Novembre 2007

Questo rapporto nasce dalla collaborazione fra APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici) e il CMCC (Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici) ed è stato realizzato all'interno del percorso organizzativo per la Conferenza Nazionale sui Cambiamenti Climatici (CNCC), promossa dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e organizzata da APAT il 12-13 Settembre 2007 a Roma.

Commenti e suggerimenti sono benvenuti all'indirizzo electronics@apat.it entro la fine di gennaio.

Nota introduttiva

Questo rapporto nasce da un lavoro di collaborazione fra APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici) e il CMCC (Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici) realizzato all'interno del percorso organizzativo per la Conferenza Nazionale sui Cambiamenti Climatici (CNCC), promossa dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e organizzata da APAT il 12-13 Settembre 2007.

APAT ha ritenuto importante realizzare uno studio sulla valutazione economica degli impatti dei cambiamenti climatici e delle relative misure di adattamento in Italia, al fine di fornire una prima analisi e alcuni strumenti metodologici su questa tematica.

I risultati dello studio sono stati raccolti in vari rapporti scientifici di sintesi sulla valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici e presentati sia nei workshop preparatori alla Conferenza Nazionale che nella seconda giornata della plenaria della CNCC:

- Le Zone Alpine Italiane: Implicazioni economiche del cambiamento climatico e strategie di adattamento. Saint-Vincent, 2-3 luglio 2007
- La dimensione socio-economica, i costi dell'inazione e le strategie di adattamento ai cambiamenti climatici sul sistema italiano idrogeologico. Napoli, 9-10 luglio 2007
- La desertificazione, i costi dell'inazione e la valutazione delle opzioni di adattamento al cambiamento climatico. Alghero, 21-22 giugno 2007
- Impatti del cambiamento climatico sulle zone costiere: Quantificazione economica di impatti e di misure di adattamento – sintesi di risultati e indicazioni metodologiche per la ricerca futura, con una appendice su “Valutazione degli impatti del cambiamento climatico in aree costiere italiane: tre casi studio a confronto”. Palermo, 27-28 giugno 2007
- Gli impatti degli eventi estremi idrogeologici sulla vita umana: aspetti metodologici per la valutazione dei costi e delle politiche di intervento. Roma, 25 giugno 2007
- Gli impatti macroeconomici del cambiamento climatico sui vari settori economici e sul commercio internazionale con un modello di equilibrio generale. Roma, 13 settembre 2007 Plenaria CNCC

Durante la Conferenza Nazionale, l'APAT è stata individuata come organismo di supporto tecnico-scientifico necessario allo sviluppo di strategie e piani di adattamento ai diversi livelli territoriali, con funzioni di centro di competenza sugli impatti e sull' adattamento ai cambiamenti climatici.

E' per queste ragioni che APAT e CMCC, coerentemente con le proprie funzioni istituzionali e proseguendo il lavoro avviato con la preparazione della Conferenza sui Cambiamenti Climatici 2007, hanno deciso di collocare on line lo studio sulla valutazione economica degli impatti dei Cambiamenti Climatici, con lo scopo di favorire la conoscenza di documenti già disponibili, sollecitare la trasmissione di contributi e infine raccogliere i suggerimenti e commenti da parte della comunità scientifica di riferimento, da integrare nella versione che sarà prossimamente pubblicata.

Si prega di inviare eventuali commenti e suggerimenti all'indirizzo economics@apat.it entro la fine di gennaio.

Indice

1.	INTRODUZIONE	4
2.	SCENARI DI CAMBIAMENTO CLIMATICO	5
2.1	IL CLIMA IN ITALIA	7
2.1.1	<i>Il bacino del Mediterraneo</i>	7
2.1.2	<i>Il rischio idrogeologico</i>	8
2.1.3	<i>Le zone Alpine</i>	9
2.1.4	<i>L'ambiente marino e costiero</i>	9
2.1.5	<i>La desertificazione</i>	10
3.	IDENTIFICAZIONE DEGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI IN ITALIA E DEL LORO COSTO	11
3.1	LE ZONE ALPINE ITALIANE	11
3.1.1	<i>Il costo degli impatti dei cambiamenti climatici sulle zone alpine italiane</i>	13
3.2	IL SISTEMA IDROGEOLOGICO ITALIANO	17
3.2.1	<i>Il costo degli impatti dei cambiamenti climatici sul sistema idrogeologico</i>	19
3.3	LE ZONE COSTIERE E L'AMBIENTE MARINO	20
3.3.1	<i>Il costo degli impatti dei cambiamenti climatici sulle zone costiere ed ambiente marino</i>	22
3.4	LE ZONE A RISCHIO DESERTIFICAZIONE	25
3.4.1	<i>Il costo degli impatti dei cambiamenti climatici sulle zone a rischio desertificazione</i>	26
4.	ADATTARSI AI CAMBIAMENTI CLIMATICI: STRATEGIE, COSTI E BENEFICI	28
4.1	ADATTAMENTO NELLE LE ZONE ALPINE E RELATIVI COSTI	31
4.2	ADATTAMENTO PER IL SISTEMA IDROGEOLOGICO E RELATIVI COSTI	33
4.3	ADATTAMENTO NELLE ZONE COSTIERE E AMBIENTE MARINO E RELATIVI COSTI	34
4.4	ADATTAMENTO NELLE ZONE A RISCHIO DI DESERTIFICAZIONE RELATIVI COSTI	36
5.	STIMA DEGLI IMPATTI MACROECONOMICI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO PER L'ITALIA	40
5.1	IL MODELLO	41
5.2	I RISULTATI DEL MODELLO	42
6.	GAP CONOSCITIVI	43
6.1	ZONE ALPINE	46
6.2	SISTEMA IDROGEOLOGICO	46
6.3	ZONE COSTIERE ED AMBIENTE MARINO	47
6.4	AREE A RISCHIO DESERTIFICAZIONE	47
6.5	IMPATTI MACROECONOMICI	49
7.	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	51
	APPENDICE METODOLOGICA	60
1.	IL PROBLEMA DECISIONALE	60
1.1	<i>Scopo degli esercizi di valutazione</i>	60
1.2	<i>Definizione dello scenario di riferimento</i>	61
1.3	<i>Definizione degli scenari di cambiamento climatico</i>	61
2.	VALUTAZIONE ECONOMICA DEGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI E DELLE STRATEGIE DI ADATTAMENTO	62
2.1	<i>Identificazione degli impatti</i>	62
2.2	<i>Valutazione ed importanza relativa dei rischi derivanti dai cambiamenti climatici</i>	62
2.2	<i>Valutazione delle opzioni</i>	63
3.	METODOLOGIE PER LA VALUTAZIONE ECONOMICA DEGLI IMPATTI E DELLE DIVERSE STRATEGIE DI ADATTAMENTO	66
3.1	<i>Approcci bottom-up</i>	68
3.1.1	<i>Metodi di valutazione convenzionali market-based</i>	70
3.1.1.1	<i>Valutazione basata su cambiamenti negli stock di beni/servizi di mercato</i>	70
3.1.1.2	<i>Valutazione basata su replacement cost e averting expenditure</i>	71
3.1.2	<i>Metodi di valutazione per beni non-market</i>	72
3.1.2.1	<i>Metodi basati su revealed preference</i>	72
3.1.2.2	<i>Metodi stated preference</i>	72
3.2	<i>Approcci top-down</i>	73
3.2.1	<i>Computable general equilibrium</i>	74

3.2.2 <i>Integrated assessment (IA) models</i>	74
3.3 <i>Benefit transfer</i>	74
4. LA SCELTA DELLA TECNICA DI VALUTAZIONE	75
4.1 <i>Valutazione delle opzioni</i>	80
3.4.1 <i>Analisi costi benefici</i>	81
3.4.2 <i>Analisi costi-efficacia</i>	82
3.4.3 <i>Analisi multicriteriale</i>	83
4.2 <i>Sistema idrogeologico: come stimare gli impatti del cambiamento climatico</i>	85
4.3 <i>Zone alpine: come stimare gli impatti del cambiamento climatico</i>	87
4.4 <i>Aumento del livello medio del mare: come stimare gli impatti del cambiamento climatico</i>	89
4.5 <i>Aree a rischio desertificazione: come stimare gli impatti del cambiamento climatico</i>	91
4.5 APPENDICE METODOLOGICA – RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	94

1.Introduzione

Il cambiamento climatico è già una realtà dei giorni nostri e non farà che accentuarsi in futuro. Come già segnalato dal rapporto dell'IPCC del 2001 e confermato dal recentissimo quarto rapporto (IPCC, 2007a,b,c), anche se le emissioni di gas serra fossero stabilizzate oggi, si osserverebbe comunque nei prossimi decenni un aumento della temperatura media globale, con una serie di effetti associati. Ad esempio, l'eccezionale estate canicolare del 2003 che ha mietuto vittime nelle principali città europee e così colpito l'opinione pubblica diventerà un fenomeno "normale" alla fine del 21esimo secolo. Allo stesso modo è in aumento e aumenterà ulteriormente la frequenza di periodi di intense precipitazioni con relative inondazioni e ci adatteremo a inverni più caldi con località sciistiche poco innevate.

Queste prime evidenze del cambiamento climatico vengono riconosciute in maniera ineguale a livello politico nelle diverse parti del mondo. L'Unione Europea ha preso la posizione più proattiva sulla necessità di mitigare il cambiamento climatico e di prevenire impatti pericolosi. Si è infatti impegnata a rispettare l'obiettivo di limitare l'aumento della temperatura globale entro un massimo di 2°C sopra i livelli pre-industriali, allo scopo di contenere il cambiamento climatico ad un livello gestibile e di ridurre la probabilità di sconvolgimenti irreversibili dell'ecosistema globale.

La mitigazione non può tuttavia essere l'unica risposta al cambiamento climatico e dovremo comunque imparare a vivere con un clima modificato. In particolare, poiché si sono osservati impatti non trascurabili a fronte di aumenti di temperature inferiori a 2°C (Warren et al., 2006), l'Europa e il resto del mondo dovranno adattarsi a cambiamenti inevitabili, anche qualora gli obiettivi di stabilizzazione fossero raggiunti.

A livello europeo è stata quindi recentemente riconosciuta la necessità di affrontare l'adattamento al cambiamento climatico, e ciò ha portato al lavoro della Commissione proprio su questo argomento ("*Green Paper on Climate Change and Adaptation*", presentato al pubblico il 3 luglio 2007)¹.

Obiettivo di questo studio è fornire una prima serie di analisi e soprattutto un approccio metodologico per pervenire alla valutazione economica degli impatti dei cambiamenti climatici e delle relative misure di adattamento. Per raggiungere tale obiettivo, è necessario superare diversi ostacoli.

Per poter definire delle appropriate strategie di adattamento è infatti necessario disporre di una quantificazione dei loro costi e dei loro benefici. I costi sono dati dal valore monetario delle opere o delle iniziative o delle politiche che producono l'adattamento al cambiamento climatico. I benefici sono definiti dall'ammontare di danno da cambiamento climatico che si è potuto evitare grazie all'adattamento. Per valutare i benefici di una strategia di adattamento è quindi necessario conoscere il valore del danno totale prodotto dal cambiamento climatico (detto anche costo di inazione) e quanto di questo danno è evitabile grazie alla strategia di adattamento.

Per conoscere il valore del danno totale prodotto dal cambiamento climatico è necessario conoscere l'impatto fisico del cambiamento climatico ed assegnare quindi un valore economico a tale impatto. Questa operazione risulta sovente difficile per due motivi: (i) non esistono spesso proiezioni degli impatti fisici dei cambiamenti climatici, soprattutto su scala nazionale o regionale (le scale su cui si sviluppano in pratica le politiche di adattamento); (ii) non esiste un valore monetario per tutti i danni fisici prodotti dal cambiamento climatico.

Al primo problema dovrebbero ovviare gli scienziati, costruendo modelli che permettano il *downscaling* degli scenari globali degli impatti dei cambiamenti climatici. Ad oggi questo è fatto in

¹ Maggiore enfasi è stata posta sull'adattamento anche nella *UN Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), per esempio attraverso un programma di lavoro di cinque anni sugli impatti, la vulnerabilità e l'adattamento al clima.

modo molto limitato (per l'Italia in particolare) e soggetto a grandi incertezze. Esistono studi sulle conseguenze delle variazioni di temperatura già osservate, per esempio sulla produzione agricola e sulla salute umana, o di incrementi attuali del livello del mare sull'erosione costiera, ma non ci sono ancora sufficienti e affidabili proiezioni del valore futuro di questi impatti fisici a seguito di potenziali variazioni climatiche.

Al secondo problema dovrebbero ovviare gli economisti, mettendo a punto delle tecniche di valutazione che permettano di assegnare un valore monetario anche a quegli impatti, ad esempio sulla biodiversità o sul patrimonio storico/artistico o su un paesaggio, che non hanno un valore di mercato. Anche se, su questo piano sono stati fatti alcuni progressi importanti attraverso lo sviluppo di nuove tecniche di valutazione (si veda l'Appendice Metodologica per maggiori informazioni sulle diverse tecniche di valutazione economica), molte incertezze permangono.

La sintesi che seguirà riassume il lavoro fatto per quantificare il valore economico dei costi dei cambiamenti climatici su quattro aree italiane ad alta vulnerabilità: quelle alpine, quelle costiere, quelle a rischio di desertificazione e a rischio idrogeologico². Per ciascuna area abbiamo cercato, sulla base della letteratura esistente (assai insufficiente, soprattutto per l'Italia) di identificare le principali conseguenze "fisiche" dei cambiamenti climatici futuri e di dare loro un valore economico. Abbiamo cercato di quantificare poi il valore delle conseguenze di possibili strategie di adattamento. Infine, attraverso un modello settoriale dell'economia mondiale, abbiamo aggregato i vari effetti del cambiamento climatico in modo da valutare la risposta autonoma in termini di adattamento del sistema economico nazionale e il costo netto residuale del cambiamento climatico (utilizzando la variazione del prodotto interno lordo come indicatore macroeconomico aggregato).

Va però evidenziato come la quantificazione fisica degli impatti futuri del cambiamento climatico – e di conseguenza una sua stima monetaria – sia limitata dalle poche informazioni oggi disponibili, soprattutto in termini di proiezioni locali del clima futuro. Ne consegue che anche la valutazione economica risulta condizionata dalle limitate informazioni sugli impatti fisici locali dei futuri cambiamenti climatici.

2.Scenari di cambiamento climatico

Il quarto rapporto dell'IPCC conferma molte delle conclusioni del terzo rapporto (IPCC, 2001); in particolare, il cambiamento climatico non significherà solo un aumento di temperatura, ma una modifica dell'intero sistema climatico, ivi compresi precipitazioni, venti, nonché la frequenza e l'intensità degli eventi estremi, con modalità diverse in differenti regioni del mondo. A livello locale permane però una forte incertezza sugli effetti del cambiamento climatico.

Per quanto riguarda l'Europa, anche se il *downscaling* dei risultati dai modelli globali di circolazione (GCM, *global circulation models*) ai modelli regionali di circolazione (RCM, *regional circulation models*) non è un procedimento immediato ed è condizionato da numerose incertezze, è opinione condivisa che:

- i. Nel 2100 le temperature medie globali in Europa saranno di 1,8–4,0° C più alte rispetto alla media del 1980–2000 (migliore stima, *range* probabile 1,1–6,4° C).
- ii. Le precipitazioni seguiranno il trend attuale, con un aumento di frequenza nell'Europa del Nord e una diminuzione nell'Europa del Sud. Anche la loro intensità aumenterà nell'Europa settentrionale e diminuirà nell'Europa meridionale.
- iii. Potrà verificarsi un aumento delle precipitazioni estreme in tutta Europa.

² Per maggiori dettagli si vedano: Bigano e Pauli (2007) per il rischio idrogeologico; Bosello et al. (2007a) per le zone alpine; Breil et al. (2007) per le zone costiere; e Gambarelli et al. (2007) per il rischio desertificazione.

La Tabella 1 riassume lo stato dell'arte dei cambiamenti climatici osservati e previsti nel mondo e in Europa.

Tabella 1: Cambiamenti delle condizioni climatiche osservati e previsti (EEA, 2007)

Variabile climatica	Cambiamento osservato	Cambiamento previsto (senza mitigazione)	Riferimenti bibliografici
Temperatura	<p>Globale: aumento di 0,76 °C negli ultimi 100 anni</p> <p>Anni '90 decennio più caldo negli ultimi 150 anni; anni 1998 e 2005 più caldi di qualsiasi altro singolo anno dal 1850</p> <p>Europa: aumento di 1,1 °C. La temperatura dovrebbe aumentare di più nelle stagioni invernali rispetto alle stagioni estive; aumento maggiore nella Penisola Iberica, Europa sud-orientale e Stati Baltici</p>	<p>Globale: migliore stima dell'aumento 1,8–4.0 °C in questo secolo (<i>range</i> 1,1–6,4 °C)</p> <p>Europa: aumento medio 2,1–4,4 °C entro il 2080 (<i>range</i> 2,0–6,2 °C) con gli aumenti maggiori in Europa orientale e meridionale</p>	<p>IPCCa,b, 2007; EEA, 2006; Schröter, 2005.</p>
Precipitazioni	<p>Globale: nell'ultimo secolo sono stati osservati trend molto variabili nello spazio e nel tempo</p> <p>Europa settentrionale: aumento delle precipitazioni pari al 10–40 %</p> <p>Europa meridionale e orientale: riduzione delle precipitazioni pari al 20 %</p>	<p>Europa settentrionale: aumento precipitazioni annuali 1–2 % per decennio. Riduzione delle precipitazioni estive</p> <p>Europa meridionale: Riduzione globale delle precipitazioni annuali. Riduzione del 5 % in estate</p>	<p>IPCCa,b, 2007; JRC, 2005; Klein Tank et al., 2002.</p>
Eventi Estremi (temperatura)	<p>Gli estremi delle temperature sono più intensi e frequenti di qualche decennio fa</p>	<p>Si prevede un aumento della frequenza e della gravità delle ondate di calore in un mondo più caldo</p>	<p>Klein Tank, 2004; Meehl e Tebaldi; 2004, Moberg e Jones, 2005; Stott et al., 2004.</p>
Eventi Estremi (precipitazioni)	<p>Globalmente, periodi secchi più lunghi e intensi</p> <p>Aumento significativo dei giorni piovosi nell'Europa centrale e settentrionale, riduzione dei giorni piovosi nell'Europa meridionale. Aumento dei fenomeni piovosi intensi nella maggior parte dell'Europa, fortemente legati al <i>trend</i> di aumento dei giorni secchi consecutivi (<i>North Atlantic Oscillating increasing trend</i>)</p>	<p>Fenomeni di precipitazioni estreme più frequenti in tutta Europa</p> <p>Europa settentrionale: periodi estivi di siccità più frequenti, nonostante fenomeni di precipitazioni intense in questi periodi</p> <p>Europa meridionale: aumento dei periodi di siccità in tutte le stagioni</p>	<p>Alexander et al., 2006; Frei et al., 2006; Haylock e Goodess, 2004.</p>

2.1 Il clima in Italia

Osservando i dati climatici ed idrogeologici degli ultimi 200 anni, il CNR identifica diversi fattori e settori che già mostrano variazioni che possono essere imputate ai cambiamenti climatici. Secondo questi dati, le temperature medie in Italia sono aumentate di 1,7°C rispetto ai livelli pre-industriali – aumento maggiormente concentrato negli ultimi 50 anni. Il tasso di crescita delle temperature medie in Italia è quasi il doppio rispetto al tasso registrato per le medie globali. Negli ultimi 50 anni, sono aumentate maggiormente le temperature massime rispetto alle minime – implicando una maggior escursione termica giornaliera. Le ondate di calore estivo sono significativamente aumentate, mentre sono diminuite le ondate di freddo invernale (Ferrara e Farruggia, 2007).

Le precipitazioni totali sono diminuite di circa il 5% per secolo su tutto il territorio nazionale – in particolare, per i periodi primaverili (9%), e soprattutto nelle regioni centro-meridionali. È diminuito anche il numero complessivo di giorni di pioggia, soprattutto negli ultimi 50 anni (di circa 6 giorni nelle regioni settentrionali, e di circa 14 giorni nelle regioni centro-meridionali). I fenomeni siccitosi sono in aumento – soprattutto nei periodi invernali al nord, e nei periodi estivi al centro-sud (Ferrara e Farruggia, 2007). D'altro canto, sembra aumentata la probabilità che le precipitazioni siano di carattere intenso.

La diminuzione delle precipitazioni sembra causare una riduzione delle risorse idriche disponibili, per altro già distribuite inegualmente sul territorio nazionale (41% al nord, 26% al centro, 20% al sud e 6% sulle isole) (si veda la Campagna di studio della Conferenza Nazionale sulle Acque).

L'aumento della temperatura e il cambiamento osservato nel regime idro-pluviometrico comportano dei cambiamenti nei principali ecosistemi italiani, e ci si attende che gli ecosistemi terrestri migreranno verso nord ad un tasso di circa 150km per ogni grado di aumento della temperatura, mentre gli ecosistemi montani di circa 150m verso l'alto per ogni grado in più.

2.1.1 Il bacino del Mediterraneo

Il Mediterraneo emerge come una delle aree più sensibili ai possibili cambiamenti climatici futuri. Secondo i modelli più recenti, infatti, la zona del mediterraneo vedrà un riscaldamento molto maggiore della media globale (specialmente in estate), un sensibile aumento delle ondate di calore, ed una marcata diminuzione delle precipitazioni. Inoltre, le stime più recenti dell'IPCC (IPCC, 2007b) non considerano l'effetto dell'aumento del livello dei mari dell'Antartico e della Groenlandia, resi noti da studi recenti: l'aumento del livello del mare potrebbe quindi essere due volte maggiore di quello previsto dall'IPCC nel prossimo secolo, cioè superare un metro³.

Per il bacino mediterraneo gli scenari parlano di un abbassamento del livello medio delle precipitazioni, secondo diverse previsioni, tra il 30 e il 40% (Giorgi et al. 2004) o, secondo alcuni autori, fino al 70% (Räisänen et al. 2004). L'effetto combinato di temperature superiori e precipitazioni ridotte favorirà l'occorrenza di episodi di ondate di calore e siccità (Schär et al. 2004).

Le previsioni sul rischio di eventi estremi (*storminess*) non sono univoche: si prevede un generale incremento degli eventi di questo genere per tutta l'Europa, anche se alcune fonti parlano di una decremento della frequenza di eventi estremi verso la parte orientale del Mediterraneo (Busuioc 2001), ma anche di incremento della *storminess* per parti dell'Adriatico, dell'Egeo e del Mare Nero (Guedes Soares et al. 2002).

La Tabella 2 riporta alcuni degli impatti dei cambiamenti climatici, che andranno ad interessare settori specifici.

³ WWF, Il rapporto IPCC in breve, <http://beta.wwf.it/client/ricerca.aspx?root=12091&content=1>

Tabella 2: Alcuni impatti attesi dai cambiamenti climatici nell'area mediterranea durante il secolo XXI, sotto l'ipotesi che non ci sia adattamento⁴

Settore / Sistema	Impatto	Area Mediterranea
Risorse idriche	Inondazioni	↓
	Disponibilità d'acqua	↓↓↓
	<i>Water stress</i>	↓↓↓
Foreste, arbusti e zone erbacee	Foreste: Produzione Primaria Netta (PPN)	Da ↑ a ↓
	Spostamento delle specie arboree verso nord / aree interne	Da ↑ a ↓
	Stabilità dei sistemi forestali	↓↓↓
	Arbusti: PPN	↓↓↓
	Disturbi Naturali (ad es., incendi, specie invasive, vento)	↓↓↓
	Aree erbacee: PPN	↓↓↓
Biodiversità	Piante	↓↓↓
	Biodiversità d'acqua dolce	↓↓↓
Agricoltura	Area coltivabile	↓↓
	Area agricola	↓↓
	Coltivazioni estive (mais, girasole)	↓↓↓
	Coltivazioni invernali (frumento)	↓↓
	Domanda d'irrigazione	↓↓↓
	Coltivazioni per la produzione di energia (biofuel)	↓↓
	Allevamenti bestiame	↓↓

Fonte: adattato dal quarto rapporto IPCC (2007b).

2.1.2 Il rischio idrogeologico

Gli scenari di cambiamento climatico attesi per il futuro evidenziano la necessità di prendere nella dovuta considerazione il rischio di aumento e di intensità delle inondazioni e delle frane sul territorio italiano: infatti, sebbene i dati climatologici prevedano che la futura scarsità di acqua sia una priorità per l'Italia, non deve essere trascurata la possibilità che si verifichino occasionalmente inondazioni molto più severe di quanto accaduto finora in media. Analoga considerazione vale per le frane, alle quali il territorio italiano è particolarmente esposto e che possono essere innescate da precipitazioni intense.

Il rapporto tra rischio idrogeologico e cambiamento climatico include molteplici interazioni con altri effetti del cambiamento climatico, sia in termini di impatti che in termini di strategie di adattamento. Per esempio, gli effetti del cambiamento climatico sulle zone alpine non comportano solo impatti negativi sul turismo invernale in seguito alla ridotta disponibilità di neve sulle piste da sci, ma anche variazioni nel rischio di inondazioni e di frane, a causa dello scioglimento accelerato di neve e ghiacciai e a causa della maggiore instabilità delle piste in montagna, nonché l'aumento del rischio di inondazioni per la tracimazione dei laghi glaciali.

In questo ambito, il potenziale delle strategie di adattamento, mirate a minimizzare l'impatto sul benessere delle persone esposte al rischio di inondazioni e frane, sulle risorse naturali coinvolte e sul potenziale di crescita economica delle zone a rischio, è notevole. È quindi estremamente importante che l'impatto del cambiamento climatico sia preso in debita considerazione nella

⁴ La portata dell'impatto stimato è indicata dal numero di frecce (da una a tre). Impatti positivi: freccia verso l'alto; impatti negativi" freccia verso il basso; un cambiamento nella direzione dell'impatto durante il secolo corrente è indicato con "Da... a..".

definizione delle strategie di protezione dal rischio idrogeologico. La consapevolezza dell'importanza di questo problema si sta diffondendo a tutti i livelli, e l'Unione Europea sta prendendo in considerazione il cambiamento climatico in tutte le sue politiche, comprese quelle relative alle risorse idriche.

2.1.3 Le zone Alpine

Un'attenzione particolare meritano gli scenari di cambiamento climatico per le zone Alpine, che sono stati sviluppati in letteratura con maggior dettaglio regionale. Simulazioni regionali sull'andamento del clima, in uno scenario di raddoppio della concentrazione di CO₂, indicano un generale trend di riscaldamento per le Alpi in inverno, più marcato in estate specialmente ad altitudini elevate, e particolarmente acuto per le Alpi occidentali (Heimann and Sept, 2000). Intensità e frequenza delle precipitazioni sono previste aumentare in inverno, ma ridursi significativamente in estate (Haeberli and Beniston, 1998). Queste osservazioni generali rispecchiano coerentemente gli scenari di cambiamenti climatico sviluppati per regioni alpine più circoscritte come le Alpi svizzere: qui, rispetto al 1990, l'aumento della temperatura nel 2050 dovrebbe attestarsi a circa 1-5 °C in estate e circa 1-3 °C in inverno. Le precipitazioni dovrebbero invece aumentare del 5-25% in inverno ed essere caratterizzate sempre di più da eventi piovosi piuttosto che nevosi, e diminuire di circa il 5-40% in estate (OcCC, 2003).

L'alta sensibilità della copertura nevosa ai cambiamenti di temperatura si dovrebbe tradurre in una generalizzata riduzione del manto nevoso (Martin and Etchevers, 2005) connotata da uno scioglimento anticipato della neve in primavera, intensificando una tendenza che è già osservabile alle medie e basse altitudini in Svizzera (Laternser and Schneebeli, 2003), Slovacchia (Vojtek et al., 2003) e Croazia (Gajic-Capka, 2004). Si stima che 1 °C di aumento della temperatura possa ridurre la durata della copertura nevosa fino ad alcune settimane anche alle altitudini più elevate (Hantel et al., 2000). Studi effettuati per la Svizzera stimano che un riscaldamento di 4 °C possa ridurre il volume del manto nevoso del 90 % a 1000 metri di quota e del 30-40 % a 3000 m (Beniston, 2003). Parallelamente aumenterà anche l'altitudine alla quale le precipitazioni nevose tendono a manifestarsi. La cosiddetta "linea di affidabilità della neve" (LAN) attualmente situata tra i 1200-1300 metri s.l.m. per Austria e Svizzera (Wielke et al. 2004) e 300 metri più in alto per le aree alpine più calde esposte agli influssi del Mediterraneo (Witmer 1986, Matulla et al. 2005; Martin et al. 1994) potrebbero elevarsi di circa 150 m per ogni °C di aumento di temperatura (Föhn 1990, and Haeberli and Beniston 1998).

La linea di equilibrio dei ghiacciai è invece prevista elevarsi dai 60- 70 m (Vincent, 2002) ai 140 m (Maish, 2000) per ogni °C con associata maggiore ablazione e ritiro del ghiacciaio. Anche questo processo è già ampiamente osservabile: dal 1850 al 1980 i ghiacciai nelle Alpi hanno perso approssimativamente il 30-40 % della loro area e metà della loro massa (Haeberli e Beniston, 1998); dal 1980 ad oggi un ulteriore 10-20% del ghiaccio rimanente è andato perduto (Haeberli e Hoelzle, 1995). Solo l'estate eccezionalmente calda del 2003 ha portato ad una perdita del 10% della massa residua dei ghiacciai Alpini. L'Italia non fa eccezione: monitorando un campione di 335 ghiacciai nel periodo 1980-1999, è stato rilevato come la percentuale di ghiacciai in avanzata scenda dal 66% del 1980 al 4% del 1999, mentre quella dei ritiri salga dal 12% all'89% (Tibaldi, 2007). È verosimile prevedere che la maggior parte dei ghiacciai delle Alpi scompaia durante il corso del ventunesimo secolo (Haeberli e Burn, 2002, Zemp et al, 2006).

2.1.4 L'ambiente marino e costiero

Dai più recenti rapporti dell'IPCC emergono, per l'area mediterranea, principalmente tre linee di fenomeni che possono indurre impatti rilevanti per le zone costiere italiane: l'innalzamento del

livello medio del mare, l'aumento delle temperature medie, e una crescente frequenza di eventi estremi.

Per il periodo del 2070–2099, si prevede, rispetto al periodo climatico normale del 1961–1990, un innalzamento del livello medio degli oceani che varia tra 0,09 e 0,88 m per il prossimo secolo (IPCC, 2007a) con innalzamenti anche superiori per l'Europa e nello specifico per il Mediterraneo in caso di crollo dell'*Atlantic meridional overturning circulation* (MOC) (Wigley, 2005).

Si prevedono inoltre l'accentuarsi di problemi di eutrofizzazione e stress nei sistemi biologici costieri, in seguito all'innalzamento delle temperature (EEA, 2004; Robinson et al., 2005; SEPA, 2005; SEEG, 2006).

I cambiamenti sul livello medio del Mar Mediterraneo appaiono anomali rispetto alle medie globali, in quanto negli ultimi 30 anni il livello del mare ha mostrato di essere stazionario o addirittura in calo. Questo fenomeno è riconducibile a due fattori: l'aumento di evaporazione causato da un aumento della temperatura, e la diminuzione degli apporti dai fiumi e il conseguente aumento di salinità, che impedisce gli apporti di riequilibrio idrico tra il Mediterraneo e l'Atlantico. Secondo l'ENEA, nel mediterraneo l'innalzamento del livello del mare dovrebbe essere contenuto a 18-30 cm per il 2090, senza considerare però i fattori di subsidenza naturali importanti per le coste italiane. I problemi principali per le zone costiere si avranno dunque in termini di erosione e instabilità dei litorali, soprattutto nell'alto Adriatico e Tirreno.

Antonioli (2003) avverte, insieme ad altri autori, della grande variabilità tettonica e isostatica italiana e delle tendenze di subsidenza naturali e antropiche (emungimento di acqua e gas dal sottosuolo). Di conseguenza risulterebbe assai più rilevante lo studio del comportamento tettonico delle aree pianeggianti per individuarne con precisione i tassi di variazione. Infatti, rispetto ai tassi di risalita media attesi per i mari italiani (circa 0,2- 0,4 mm/anno), molte zone costiere a potenziale rischio (perché già topograficamente depresse, sotto il livello del mare) presentano valori di sollevamento o abbassamento che sono assai più alti dei tassi di risalita del mare (ENEA, 2001).

2.1.5 La desertificazione

Nel caso della desertificazione, ovvero un insieme di fenomeni che determinano una diminuzione o la scomparsa della produttività biologica o economica del suolo, l'azione dell'uomo ha un ruolo determinante (Rubio, 1995): vi è quindi una forte co-azione di determinanti antropiche e naturali, a cui i cambiamenti climatici contribuiscono in modo diretto, ma anche e soprattutto indiretto, in primo luogo attraverso il bilancio dell'acqua e le sue interazioni con il comparto suolo (siccità, erosione, ecc.).

Il quarto rapporto IPCC (IPCC, 2007 a,b) indica che 'il cambiamento climatico e la pressione antropica legata all'utilizzo della terra probabilmente comportano impatti sinergici sugli ecosistemi e sulle specie delle aree desertiche che potrebbero essere compensati almeno in parte da benefici in termini di produttività della vegetazione e sequestro del carbonio dovuti all'aumento della CO₂ in atmosfera. L'effetto netto di questi trend con un'elevata probabilità varierà fra regioni'. Il rapporto, sebbene non si occupi espressamente di desertificazione, riporta stime o, per lo meno, direzioni d'impatto in una serie di settori, collegati in maniera chiara al fenomeno della desertificazione. Sono di particolare interesse le stime relative al settore acqua, agricoltura, foreste e biodiversità. In generale la letteratura sembra concordare sul fatto che dai cambiamenti climatici in area mediterranea ci si debba aspettare in sostanza un esacerbarsi delle criticità già evidenti in questi anni (Giupponi e Shechter, 2003).

Secondo i dati dell'Atlante Nazionale delle aree a rischio desertificazione (in corso di stampa), a livello nazionale le aree a rischio di desertificazione interessano oltre un quinto della superficie e arrivano ad oltre il 40% dei territori del sud Italia. L'Atlante identifica vari sistemi di degradazione

che concorrono al fenomeno e in particolare: erosione idrica, deposizione, urbanizzazione, salinizzazione, e aridità. Fra questi il più rilevante territorialmente è quello relativo all'erosione. Le aree sensibili ammonterebbero complessivamente al 9,1%, in particolare in Sardegna e Sicilia, oltre che alla Puglia e alla Calabria, ma significative estensioni con suoli vulnerabili sono presenti anche in Campania, Toscana e Lazio.

È importante segnalare fin d'ora la diversità delle tipologie di degradazione del suolo che vengono fatte rientrare nel fenomeno più generale della desertificazione. Ciò, assieme al fatto che sulla definizione stessa del fenomeno esistono visioni assai diverse (si veda il capitolo 4.4 e Gambarelli et al., 2007), crea non pochi problemi in sede di valutazione economica degli impatti e delle strategie di adattamento.

3. Identificazione degli impatti dei cambiamenti climatici in Italia e del loro costo

Sulla base del quadro generale delineato nella sezione precedente, che fa riferimento soprattutto ai risultati del quarto rapporto IPCC e ai recenti studi dell'EEA, possiamo procedere ad un esame delle implicazioni economiche degli impatti fisici sopra-descritti, ed a una quantificazione del loro costo monetario. Ridurre gli impatti ad una dimensione unica – quella monetaria – è necessario per semplificare l'identificazione della risposta “ottimale” ai cambiamenti climatici, rendendo possibile una analisi costi-benefici delle diverse strategie di adattamento

In questo studio, stante la carenza di proiezioni relative all'Italia dei futuri impatti fisici dei cambiamenti climatici, abbiamo ampiamente utilizzato la tecnica del *benefit transfer* in modo da poter applicare all'Italia informazioni provenienti da studi relativi ad altri paesi o a scale geografiche sovra-nazionali (in particolare relativi all'Unione Europea).⁵

La sintesi che seguirà riassume il lavoro fatto per quantificare il valore economico dei costi dei cambiamenti climatici su quattro aree ad alta vulnerabilità: quelle alpine, quelle costiere, quelle a rischio di desertificazione e a rischio idrogeologico².

3.1 Le zone alpine italiane

Ambiente alpino è quasi sinonimo di ambiente “naturale”, anche se, specialmente nella seconda metà del secolo, le forze antropogeniche - industria, turismo e infrastrutture – hanno contribuito in modo sostanziale al suo modellamento. Basti considerare, a titolo esemplificativo, che oggi circa l'80% dei corsi d'acqua alpini risulta alterato per la produzione di energia elettrica (Haberl et al., 2002). È molto probabile quindi che le pressioni antropogeniche interagiscano con quelle climatiche nei confronti delle quali criosfera ed ecosistemi montuosi sono particolarmente sensibili. È pertanto verosimile che il cambiamento climatico nelle zone alpine conduca all'estremizzarsi di conflitti tra le istanze di sviluppo economico e quelle della sostenibilità ambientale (Diaz et al., 2003).

In primo luogo, ci si può attendere un aumento della frequenza ed entità delle perdite economiche associate ai fenomeni climatici estremi. Il territorio alpino, per sua natura, è particolarmente soggetto al rischio idrogeologico e il previsto incremento nella frequenza ed intensità dei fenomeni precipitativi medi ed estremi associato a fenomeni del tutto peculiari come l'arretramento dei ghiacciai costituiranno un elemento di aggravio di tale rischio e del costo collegato. I modelli di

⁵ Il *benefit transfer* richiede: la conoscenza di un certo numero di casi studio e/o di rassegne di valutazione (autori, sponsor, ipotesi, metodologie, risultati, etc.), in maniera tale da disporre di fonti il più possibile affidabili in relazione alle finalità d'indagine; l'individuazione dei migliori valori monetari unitari applicati in tali studi; l'applicazione di idonei criteri di trasferibilità dei valori di danno tratti dalla letteratura (spesso riferiti a contesti territoriali di altri Paesi) al contesto di riferimento. Si veda l'Appendice Metodologica.

simulazione climatica regionale concordano infatti nel prevedere un intensificarsi del ciclo dell'acqua, con un parallelo incremento delle precipitazioni eccezionali nella regione alpina. Ad un aumento della temperatura di 2° C corrisponderebbe, a fronte di variazioni minime del numero di precipitazioni di medio-bassa intensità, un aumento del 20–40% di quelle estreme con evidenti impatti sulla stabilità geologica della regione (Guthler, 2002). Questo fenomeno risulterebbe particolarmente intenso sul versante meridionale delle Alpi, e quindi per l'Italia, a causa dell'esposizione al trasporto atmosferico di acqua dal Mediterraneo. Il cambiamento climatico nelle zone alpine si configura quindi come un elemento ulteriore di dissesto geologico suscettibile di aumentare lo stress su strutture abitative, infrastrutture turistiche e di trasporto, rischio per l'incolumità delle popolazioni residenti e fonte di crescenti perdite economiche.

I cambiamenti climatici influenzeranno inoltre lo sviluppo del settore turistico alpino. In primo luogo, variabili climatiche quali la temperatura e le precipitazioni contribuiscono a determinare l'attrattiva o il "comfort" di una località turistica. Di conseguenza, ogni cambiamento in queste variabili può alterare la propensione dei turisti a visitare quella specifica località. In secondo luogo, altre variabili di immediata rilevanza per il turismo alpino, come la disponibilità e l'affidabilità della copertura nevosa in inverno così come la lunghezza stessa delle stagioni estiva ed invernale vengono direttamente influenzate dal clima. Infine, il già ricordato possibile incremento del rischio frane, valanghe e alluvioni può sottoporre a stress addizionale le strutture turistiche (villaggi turistici e impianti di risalita) aumentandone i costi di manutenzione e le spese per le attività di prevenzione/protezione.

Sebbene nel caso particolare delle colture alpine si possano riscontrare nel medio periodo alcuni effetti positivi in conseguenza del cambiamento climatico in termini di aumento della produttività dei suoli dovuta all'effetto di fertilizzazione di una maggior concentrazione di CO₂, ipotizzando una disponibilità idrica costante, e moderati scenari di incremento della temperatura (Calanca et al., 2006), altri impatti possono essere fortemente negativi. Ancora una volta gli eventi climatici estremi, in particolare l'intensificarsi dei fenomeni precipitatori e il connesso incremento del rischio idrogeologico possono mettere in pericolo le coltivazioni, soprattutto quelle collocate in aree instabili e/o esposte. Inoltre l'erosione degli strati fertili superficiali (*run-off*) dovrebbe anch'essa aumentare a causa delle maggiori precipitazioni a carattere piovoso d'inverno, solo parzialmente compensate dalle minori precipitazioni estive.

Anche le zone boschive subiranno un notevole cambiamento. In risposta alle mutevoli sollecitazioni climatiche le specie animali e vegetali cambieranno la loro distribuzione sul territorio alpino. Il trend già osservato in passato di un progressivo spostamento ad altitudini maggiori delle specie vegetali - quantificabile in 0,5 – 4 m per decennio - è destinato a continuare (Kullman, 2002; Körner, 2003; Egli et al., 2004; Sandvik et al., 2004; Walther, 2004) con conseguente spostamento verso l'alto della linea boschiva di alcune centinaia di metri nel corso del prossimo secolo (Badeck et al., 2004). È quindi presente già da ora un concreto rischio di perdita di biodiversità d'alta quota, soprattutto nivale (Guisan and Theurillat, 2000; Walther, 2004), dal momento che le specie sommitali si trovano sempre di più a competere con le più adattabili specie in arrivo dalle quote inferiori. Alcune ricerche stimano una possibile perdita di specie vegetali per le zone montane Mediterranee e Lusitane nell'ordine del 62% entro il 2080 per lo scenario A1 dell'IPCC (Thuiller et al., 2005). Anche la fenologia è destinata a mutare: si è già evidenziato un anticipo medio di 3 giorni ogni 10 anni di tutte le fasi vitali (emissione delle foglie, fioritura e fruttificazione) delle principali specie forestali che, se destinato a continuare, può provocare gravi danni all'equilibrio tra le componenti vegetali, animali e del suolo delle foreste (Corpo Forestale dello Stato, 2007). All'aumento della temperatura si lega anche l'incremento nella diffusione di particolari insetti patogeni. I dati relativi a quest'ultimo tipo di fenomeno scarseggiano, tuttavia è già stato osservato che alcuni insetti infestanti come la processionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) mostrano una tendenza allo spostamento in quota, più pronunciato in particolare nei pendii meridionali delle montagne italiane. Rischi elevati per il patrimonio boschivo e forestale alpino sono rappresentati

inoltre dall'aumento della frequenza di episodi siccitosi, dall'aumentato rischio incendi e dagli eventi climatici estremi la cui intensità e frequenza è prevista aumentare.

Infine un altro effetto negativo legato all'interazione tra clima, foreste e periodi eccezionalmente caldi riguarda l'osservata trasformazione delle foreste da *carbon sink* a emettitori di carbonio (Ciais et al. 2005).

3.1.1 Il costo degli impatti dei cambiamenti climatici sulle zone alpine italiane

Non esistono ancora stime monetarie comprensive ed esaustive degli impatti dei cambiamenti climatici nelle zone alpine italiane. Esistono tuttavia alcuni dati per il settore turistico, principalmente sul segmento invernale, vista la rilevanza economica e sociale che questo riveste nel contesto alpino.

La possibilità di praticare attività sportive e ricreative in inverno è direttamente collegata alla disponibilità e affidabilità della copertura nevosa così come alla lunghezza stessa delle stagioni estiva e invernale. Il Riquadro 1 riporta alcune stime riguardanti la possibilità di praticare sport invernali outdoor rispetto a diversi scenari di incremento della temperatura.

Riquadro 1: Influenze dei cambiamenti climatici sul turismo invernale

Due recenti contributi focalizzano sugli impatti del cambiamento climatico per il turismo invernale sull'area alpina Italiana: OECD, 2007; EURAC, 2007. Entrambi gli studi adottano la cosiddetta regola dei "100 giorni" (Witmer, 1986) secondo cui una copertura nevosa è considerata sufficiente per consentire il normale svolgimento di una stagione sciistica se dura per almeno 100 giorni ed ha uno spessore di almeno 30 cm. Una particolare stazione sciistica è considerata "affidabile" se per almeno metà della sua estensione si situa al di sopra della "linea di affidabilità della neve" (LAN), la quota cioè sopra la quale i 30 cm. per i 100 giorni sono garantiti. In conformità con Föhn (1990) e Haeberli e Beniston (1998) viene ipotizzato che la LAN, attualmente situata tra i 1200-1300 metri s.l.m., sia destinata ad elevarsi di circa 150 m per ogni °C di aumento di temperatura.

Tabella I – Stazioni sciistiche delle Alpi Italiane con copertura nevosa affidabile a seconda di diversi scenari di aumento della temperatura.

Altitudine LAN →	> 1500 (UCC) (Stato attuale)	> 1650 (+1°C)	> 1800 (+2°C)	> 2100 (+4°C)
Valle d'Aosta	22	20	16	5
Piemonte	30	22	16	6
Lombardia	21	14	11	6
Veneto	14	12	8	2
Trentino	25	17	14	4
Alto Adige	54	46	23	7
Friuli Venezia Giulia	1	0	0	0
Italia	167	131	88	30

Fonte: EURAC (2007)

Già in caso di una variazione moderata di temperatura, +1°C e LAN a 1.650 s.l.m. (vedi tabella D), il turismo alpino invernale sarebbe fortemente penalizzato in Friuli Venezia Giulia - dove tutte le stazioni sciistiche si troverebbero al di sotto della LAN - e in Lombardia, Trentino e Piemonte, dove rispettivamente il 33%, 32% e il 26 % delle stazioni sciistiche finirebbero al di sotto della LAN. Un ulteriore incremento di temperatura, +2°C, e LAN a 1.800 m, danneggerebbe l'Alto Adige e il Veneto, dove rispettivamente il 50% e il 33% delle rimanenti stazioni sciistiche con copertura nevosa affidabile verrebbe a trovarsi al di sotto della LAN. In caso infine di un aumento di temperatura di 4°C e LAN a 2.100 m, le stazioni sciisticamente affidabili in tutto l'arco alpino italiano si ridurrebbero a 30, cioè solo il 18% di quelle attualmente operative. Le regioni più colpite risulterebbero il Veneto, il Trentino e l'Alto Adige (dove il 75 %, 71 % e 69% delle stazioni sciistiche si troverebbe al di sotto della LAN), mentre le regioni relativamente meno vulnerabili si dimostrerebbero la Lombardia e la Valle d'Aosta a causa dell'elevata altitudine degli impianti.

Volendo riassumere, nel caso di un aumento delle temperature di 4°C, valore che rientra nel *range* previsto dall'IPCC per il 2100, l'attività sciistica potrebbe diventare fisicamente possibile solo nel 18% degli impianti di risalita dell'intero arco alpino italiano. Allo stato attuale, non si dispone di informazioni sufficientemente dettagliate per tradurre questa informazione in una precisa quantificazione economica. La Tabella 3 tenta comunque di indicare un possibile ordine di grandezza partendo dalle poche informazioni sul fatturato di alcune delle principali stazioni sciistiche per regione riportato da Zanetti et al. (2005) e applicandovi le riduzioni percentuali riportate nel Riquadro 1.

Tabella 3: Perdita economica (milioni di euro) derivante dall'uscita dal mercato delle stazioni sciistiche prive di copertura nevosa affidabile

	> 1650 (+1°C)	> 1800 (+2°C)	> 2100 (+4°C)
Valle d'Aosta	4.706	13.977	39.861
Piemonte	10.666	18.667	32.000
Lombardia	Na	Na	Na
Veneto	Na	Na	Na
Trentino	Na	Na	Na
Alto Adige	23.762	92.081	139.607
Friuli Venezia Giulia	13.625	13.625	13.625

Fonte: Nostra elaborazione da dati EURAC (2007) e Zanetti et al. (2005) ottenuta applicando al fatturato regionale degli impianti sciistici le contrazioni percentuali riportate in, Riquadro 1.

L'area economicamente più penalizzata risulta essere l'Alto Adige dove, dato l'alto valore aggiunto prodotto dal turismo invernale, anche ridotte contrazioni di domanda turistica si traducono in rilevanti perdite in valore assoluto. Perdite relativamente più contenute si materializzano in Friuli Venezia Giulia, in cui però tutti gli impianti esistenti sono costretti a cessare l'attività anche in uno scenario di aumento della temperatura contenuto, e in Piemonte e Valle d'Aosta, relativamente meno esposte vista l'elevata altitudine media dei loro impianti.

Limitarsi al solo segmento turistico invernale può però essere fuorviante: da un lato si deve considerare la possibilità di adattamento a disposizione dei turisti e degli operatori turistici, dall'altro anche il turismo estivo può subire l'influenza di fattori climatici. Certamente la quantificazione integrata dei diversi elementi di stagionalità della domanda turistica, e soprattutto delle componenti di costo relative alle diverse strategie di adattamento è molto complessa e la letteratura in materia è ancora lontana dall'essere consolidata.

In un recente lavoro, Bigano e Bosello (2007) offrono uno dei pochi contributi in materia, trasponendo metodologie applicate su scala internazionale alla realtà più specifica del territorio alpino italiano. I risultati della loro ricerca sono presentati più in dettaglio nel Riquadro 2.

Riquadro 2: Il costo dei cambiamenti climatici per il settore turistico

Bigano e Bosello (2007) partono dalla stima delle variazioni nei flussi di turismo internazionale e nazionale in Italia indotti dalle variazioni di temperatura previsti dagli scenari A1, A2, B1, B2 dell'IPCC. In accordo con la seppur recente letteratura in materia (vedi per es: Berritella et al. 2006, Bigano et al. (2005a,b), EEA dataservice, 2007), si rileva anzitutto come, in assenza di strategie di adattamento, la domanda turistica nei paesi caldi, tradizionalmente molto popolari come destinazioni turistiche, si contragga a favore dei paesi più freddi. Particolarmente penalizzati risultano i paesi dell'area mediterranea - tra cui l'Italia - che nel medio periodo vedono progressivamente diminuire la loro attrattiva rispetto ai paesi del Nord Europa caratterizzati da un clima via via più mite e confortevole.

Questo dato iniziale viene poi riportato con un processo di downscaling alla scala alpina con dettaglio provinciale.

La ricerca evidenzia come la contrazione dei volumi di spesa turistica alpina su base annua possa aggirarsi in media tra il (-)10,2% nel 2030 e il (-)10,8% nel 2090. La situazione è però altamente differenziata per provincia, e per tipologia di turismo. Le differenze interprovinciali in particolare sono determinate in parte dai differenziali di temperatura che sono comprensibilmente contenuti, e soprattutto dalla diversa composizione della domanda turistica.

Le province maggiormente colpite nel medio termine sono quelle di Verbano-Cusio-Ossola in Piemonte e Bolzano in Trentino Alto Adige dove la spesa turistica totale si riduce rispettivamente, a seconda dello scenario, dal (-)17,3% al (-)21,2 % e dal (-)15% al (-)18,4%. La diminuzione è però imputabile interamente ai minori arrivi e quindi spesa dei turisti stranieri (che si contrae in un *range* dal (-)19% al (-)25% in entrambe le aree) mentre gli arrivi e la spesa dei turisti italiani aumentano (di circa il (+)6% nella provincia di Verbano-Cusio-Ossola e del (+)7.5% nella provincia di Bolzano), seppure non in modo sufficiente da invertire il trend negativo. Altre zone vengono colpite molto meno severamente. È questo ad esempio il caso della Valle d'Aosta o della provincia di Belluno in Veneto che fanno registrare rispettivamente un (-)3,4%, (-)4% e un (-)0,8% 0%.

Nel lungo periodo le province alpine maggiormente penalizzate sono invece quelle Friulane di Udine e Pordenone: la loro spesa turistica si riduce complessivamente in un *range* dal (-)20% al (-) 26% determinato dalla forte contrazione della spesa dei turisti stranieri ((-)26%, (-)33%), mentre dei vantaggi potrebbero materializzarsi per la provincia di Belluno (da un contenuto (+)0,9% nello scenario B2 ad un più consistente (+)8,5% in quello A1) e la Valle d'Aosta ((+)2% e (+)5,9% negli scenari B1 e A1 rispettivamente).

Supponendo che la perdita media stimata dai diversi scenari al 2030 si fosse manifestata nell'anno 2006, il fatturato diretto del turismo alpino si sarebbe ridotto di (-) 2,4 milioni di Euro nel Veneto e in ben (-) 587 milioni di Euro in Trentino Alto Adige (vedi tabella II).

Tabella II: Contrazione del fatturato diretto turistico

	Contrazione % rispetto al 2030 (*)	Milioni di Euro (**)
Piemonte	-10,2	-33,12
Valle d'Aosta	-4,0	-14,30
Lombardia	-7,1	-29,11
Trentino Alto Adige	-14,1	-587,05
Veneto	-0,3	-2,46
Friuli - Venezia Giulia	-15,7	-28,91

(*) Valore medio dei quattro scenari A1, A2, B1, B2 espresso come variazione percentuale rispetto al caso di "non cambiamento climatico"

(**)Perdita calcolata trasponendo i valori di colonna 2 al fatturato alpino regionale per il 2006 da stima Unioncamere (2006)

È opportuno sottolineare come gli studi disponibili che offrono una valutazione economica degli impatti del cambiamento climatico sul turismo nelle aree alpine italiane siano pochi e recenti, e raramente considerino in maniera integrata gli elementi di stagionalità (turismo estivo e invernale dovrebbero essere trattati assieme) e soprattutto le strategie di adattamento dal lato dell'offerta a disposizione degli operatori con particolare enfasi sui costi di adattamento. Emerge tuttavia un certo accordo nell'evidenziare la possibilità di severi impatti negativi per il turismo alpino come conseguenza dei cambiamenti climatici, almeno in assenza di opportune strategie di adattamento.

3.2 Il sistema idrogeologico italiano

Esiste un'ampia gamma di problemi e di vulnerabilità idrogeologiche in tutta Europa, che riflettono differenze notevoli nelle proiezioni del cambiamento climatico e situazioni idrogeologiche diverse, come le estati lunghe e secche al sud, minori variazioni a ovest e periodi di acqua alta nei fiumi del nord in seguito al disgelo. La Figura 1 illustra l'attuale esposizione dell'Europa al rischio d'inondazione. In una prospettiva europea, l'esposizione dell'Italia a questo rischio è notevole, in particolare nella valle del Po, ma inferiore a quella di alcuni paesi dell'Europa orientale e di alcune aree confinanti come la Francia sud-orientale.

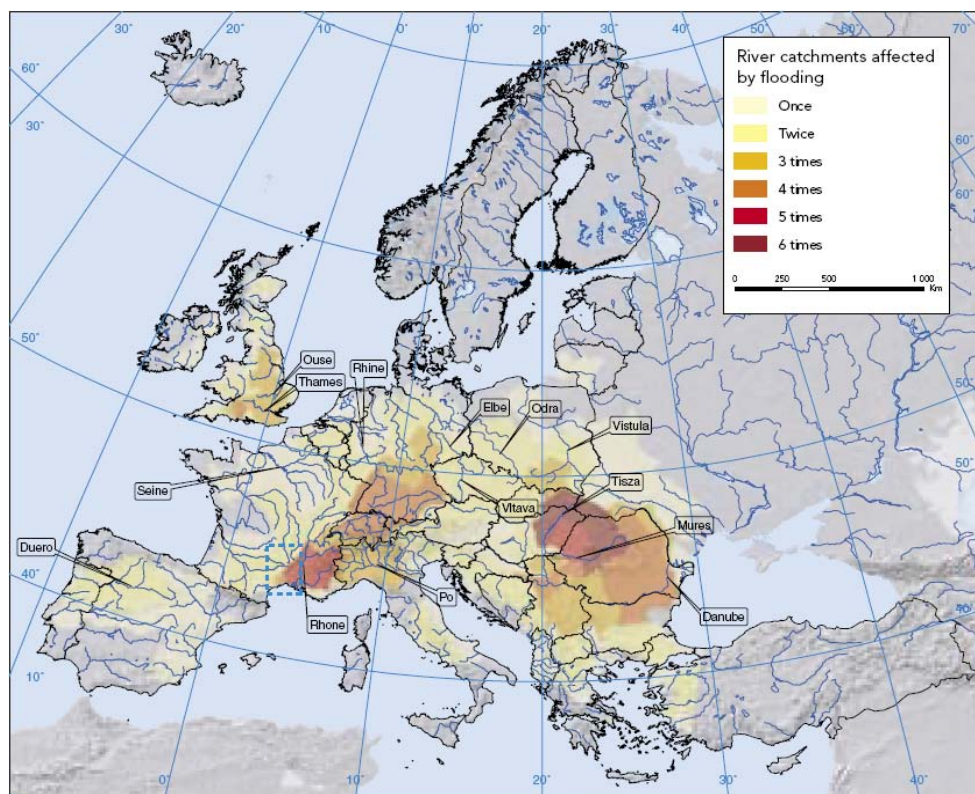


Figura 1: Attuale esposizione dei bacini europei alle inondazioni: ricorrenza delle inondazioni nel periodo 1998-2005. La figura riporta i bacini che hanno subito da una (color avorio) a sei (rosso scuro) inondazioni nel periodo considerato. Fonti: EEA, ETC/TE, 2003 (basato su NASA-supported Dartmouth Flood, Observatory/Digital Elevation Model (GISCO)/Rivers (GISCO)/ Watersheds 1M (JRC-IES) / Administrative boundaries (GISCO)).

Singolarmente, nella letteratura sulla valutazione degli impatti del cambiamento climatico, le frane hanno ricevuto meno attenzione rispetto alle inondazioni e agli altri effetti collegati all'acqua, forse per i loro impatti più localizzati o forse perché sono talvolta considerate insieme alle inondazioni,

come effetti collaterali di catastrofi più vaste causate dalle precipitazioni. Questo nonostante solo in Italia ci siano state oltre 12.000 frane tra il 1991 e il 2003: le 13 frane più devastanti sono costate la vita a 2.584 persone, 3,7 volte il numero di vittime delle principali inondazioni (database EM-DAT). In Italia, le zone più esposte al rischio di frane sono indicate in rosso nella Figura 2, insieme a quelle esposte alle inondazioni (azzurro) e alle valanghe (verde). Come appare evidente, il territorio italiano è più a rischio di frane (5% della superficie) rispetto ad altri tipi di dissesto idrologico.

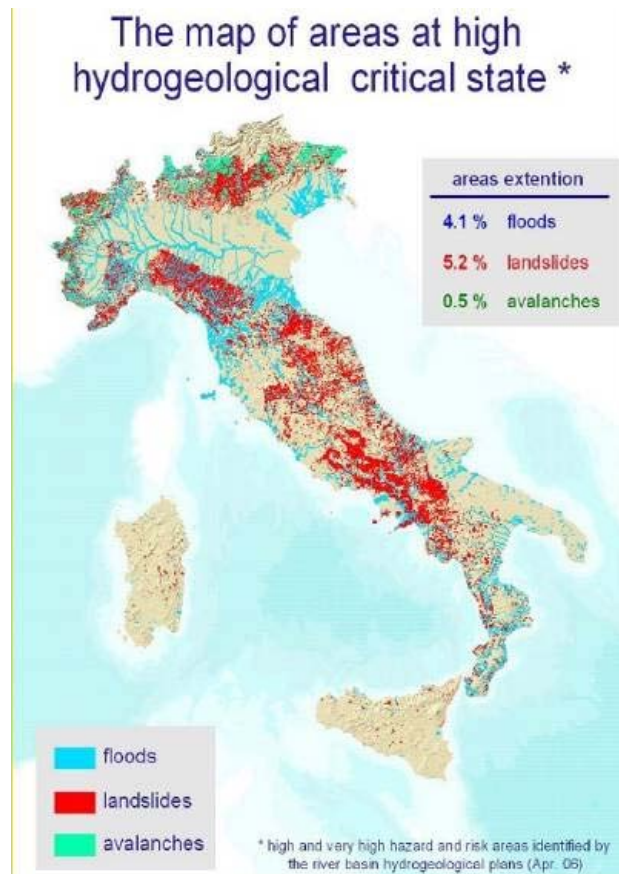


Figura 2: Rischio idrogeologico in Italia (fonte APAT)

Prima di addentrarci nelle valutazioni economiche legate al rischio idrogeologico e alla sua relazione con il cambiamento climatico è opportuno specificare gli effetti che inondazioni e frane possono avere sul sistema economico italiano. Il primo effetto diretto è la perdita di vite umane. Altri effetti sulla salute possono derivare da traumi provocati dall'impatto con detriti o con materiali trasportati dall'acqua o dagli incidenti causati indirettamente dall'inondazione, dalle malattie causate dalla contaminazione dell'acqua, in particolare in caso di straripamento delle fogne durante le grandi inondazioni o di contaminazione con sostanze inquinanti trasportate dalle acque. I danni a case, installazioni industriali, attività commerciali e infrastrutture pubbliche possono essere particolarmente gravi. L'agricoltura può subire danni per la devastazione dei raccolti, la perdita di bestiame e l'erosione del suolo nelle zone coltivate. Possono esserci interruzioni nei trasporti e danni alle relative infrastrutture, alle località turistiche e alle aree ricreative con una conseguente limitazione delle attività turistiche, fino al ripristino delle normali condizioni operative. Le aree naturali e gli ecosistemi possono essere danneggiati dallo sconvolgimento del suolo, dall'alterazione dei bacini d'acqua e dal rilascio di sostanze inquinanti trasportate dall'acqua. Infine, in un paese dotato di un ricco patrimonio culturale, esiste il pericolo che le inondazioni e le frane devastino i

monumenti e gli edifici storici e artistici, i capolavori d'arte e gli altri beni con un valore culturale intrinseco, come avvenne nell'alluvione di Firenze del 1966.

3.2.1 Il costo degli impatti dei cambiamenti climatici sul sistema idrogeologico

Sfortunatamente, allo stato dell'arte attuale, non esistono stime per l'Italia relative a costi di inazione e costi di adattamento per l'impatto del cambiamento climatico sui rischi idrogeologici. In termini più generali, e per quanto riguarda gli eventi estremi, secondo l'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA, 2005), nel solo periodo 1998-2002 l'Europa "ha subito circa 100 alluvioni che hanno provocato 700 vittime, il trasferimento di circa mezzo milione di persone e almeno 25 miliardi di Euro di perdite economiche per i danni assicurati".

Queste inondazioni hanno interessato circa un milione di chilometri quadrati (le zone esposte a inondazioni ripetute nello stesso periodo sono state contate più di una volta). È stato colpito circa l'1,5 % della popolazione europea. Secondo il database sulle catastrofi internazionali EM-DAT, le inondazioni hanno rappresentato il 43% di tutte le catastrofi avvenute nel periodo compreso tra il 1998 e il 2002. In Italia, le 28 grandi inondazioni avvenute tra il 1939 e il 2004 hanno ucciso 694 persone, lasciando 1,5 milioni di senzatetto, colpendo 2,85 milioni di persone e provocando 23,7 miliardi (US\$) di danni.

Per quanto riguarda le frane, e trattandosi di fenomeni localizzati, queste tendono a colpire un'area più limitata rispetto alle inondazioni, provocando quindi meno danni in termini monetari. Secondo il database EM-DAT, i danni provocati dalle frane più gravi avvenute in Italia ammontano a circa 1,2 miliardi di dollari, poco meno di un ventesimo dei danni materiali totali provocati dalle inondazioni nel nostro paese e riportati nello stesso database, anche se il costo in vite umane è più elevato. Per contro, le frane sono più costose da prevenire. Secondo APAT (2006) le misure preventive urgenti finanziate in Italia fino al 2006 ammontavano a 447,36 milioni di Euro per il rischio inondazioni e a 667,88 milioni di Euro per il rischio frane. Almeno per quanto riguarda l'impatto sulla terra adibita all'uso agricolo, presentiamo nella Tabella 4 una prima valutazione del valore della terra attualmente a rischio in Lombardia, Lazio e Calabria.

FRANE			
Valori terreni a rischio (Migliaia di Euro 2005)	LOMBARDIA	LAZIO	CALABRIA
seminativi	9805,7	14278,1	4256,2
prati stabili	4762,6	195,0	197,6
frutteti	51121,7	2445,5	642,8
aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	3193,3	5911,5	583,2
sistemi colturali e particellari complessi	11237,6	8413,8	5460,9
colt. agrarie (25<S<75%) + spazi naturali importanti	9048,6	12377,1	4972,7
vigneti	9151,6	1072,5	23,9
uliveti	97,0	7614,2	20148,5
TOTALE	98418,1	52307,6	36285,9
ALLUVIONI			
seminativi	12848,2	36850,8	5914,4
risaia	205,2		
frutteti	14,4	766,4	22067,1
prati stabili	1195,5	340,0	37,5
aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	30,1	137,3	176,6
sistemi colturali e particellari complessi	998,4	1617,6	1809,9
colt. agrarie (25<S<75%) + spazi naturali importanti	983,0	2093,9	1942,6
vigneti		265,8	202,7
uliveti		244,5	12386,7
TOTALE	16274,8	42316,1	44537,6

(stime basate sul valore fondiario medio regionale per ettaro)

Tabella 4: Valori dei terreni agricoli esposti ad alto rischio idrogeologico in Lombardia, Lazio e Calabria. Fonti: elaborazione dei dati CORINE, APAT, INEA e EU-FEDN.

3.3 Le zone costiere e l'ambiente marino

Le aree costiere italiane rappresentano una risorsa economica fondamentale per lo sviluppo socio-economico nazionale, ospitando attività quali l'agricoltura, il turismo, l'industria, la pesca e acquicoltura. La pressione antropica esercitata sulle coste italiane causa un notevole incremento della vulnerabilità e della sensibilità agli impatti dei cambiamenti climatici - in particolare all'innalzamento del livello del mare (*sea level rise*, SLR) e all'intensificarsi di eventi climatici estremi - riducendo drasticamente la capacità di resilienza naturale degli ambienti costieri.

Per quanto riguarda le coste italiane quindi, i cambiamenti climatici non apporterebbero nuovi rischi, ma tenderebbero ad accentuare ed amplificare, con effetti talvolta non completamente prevedibili, i rischi già esistenti derivanti dall'urbanizzazione, dalla produzione industriale, dalla pesca, dal turismo e dai trasporti marittimi, ecc.

Nel valutare gli impatti dei cambiamenti climatici del SLR è necessario considerare l'importante ruolo che gioca la subsidenza delle coste italiane, come già evidenziato in precedenza. Esistono dunque diverse proiezioni che riguardano l'innalzamento del livello del mare sulle coste italiane.

La perdita di suolo per inondazione ed allagamenti, e per un incremento nelle attività erosive del mare sono dunque degli impatti principali dei cambiamenti climatici, causati dall'innalzamento del livello medio del mare. Altri impatti includono la risalita di acque saline nei fiumi e l'intrusione nelle acquifere costiere, che contribuiranno alla riduzione delle riserve di acqua dolce ad uso potabile e irriguo, ma anche renderanno più difficoltoso il deflusso delle acque verso il mare in caso di eventi estremi. Gli ecosistemi costieri e le attività umane sulle coste subiranno degli impatti indiretti, attribuibili sia alla trasformazione delle zone costiere, sia alle mutate condizioni climatiche previste per l'area mediterranea.

Assumendo una quota di innalzamento tra i 20 e i 30 cm al 2100, (e senza tenere conto dei specifici movimenti tettonici, isostatici e di subsidenza) uno studio NASA-GISS quantifica l'area a rischio di inondazione in Italia in circa 4.500 chilometri quadrati di aree costiere e pianure. Uno studio ENEA cerca di specificare ulteriormente questa stima, tenendo conto anche dei movimenti tettonici e di subsidenza e afferma che le 33 pianure costiere italiane a potenziale rischio per la loro elevazione attuale siano in effetti ubicate per la maggior parte in zone stabili od in sollevamento (Figura 3). Rimangono invece presumibilmente dei problemi in un prossimo futuro per la Pianura Padano-Veneta, La Versilia, e le pianure di Fondi e Pontina che, oltre a presentare diversi chilometri quadrati a quote inferiori allo zero, mostrano abbassamenti tettonici di notevole entità. Sulla base di questi studi anche un successivo rapporto ENEA elenca le stesse aree come zone da considerare vulnerabili: l'area Veneziana e tutta la costa dell'alto Adriatico, l'area della foce di 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) (ENEA, 2007).



Figura 3: Aree costiere vulnerabili (Fonte: ENEA, 2007)

Queste perdite incideranno, in linea generale, su tutte le attività economiche insediate nelle aree costiere. Riguarderanno perciò l'agricoltura, l'industria, gli insediamenti urbani, le infrastrutture nonché le aree utilizzate per servizi e per il tempo libero, le aree protette e le aree e le strutture che fanno parte dei beni culturali. Stime sull'entità complessiva delle perdite non esistono per il momento a livello nazionale.

Le coste italiane soffriranno anche una diminuzione di biodiversità, sia come diretta conseguenza dell'innalzamento del livello del mare, che a causa di un aumento della temperatura e della salinità dell'ambiente marino. Le previsioni sugli impatti del SLR in Italia indicano regolarmente la perdita di aree umide nelle zone costiere, che rappresentano un altissimo valore in termini di biodiversità a livello locale (specie endemiche), ma anche di portata più ampia, visto il significato di zone costiere mediterranee nell'ambito della migrazione degli uccelli. Le aree umide costiere sono minacciate direttamente ed indirettamente dall'innalzamento del livello del mare. Queste minacce si aggiungono agli impatti già esistenti da parte di attività umane (e.g. Hoozemans et al., 1993; Viles e Spencer 1995, Nicholls, 2004). Il riscaldamento del mare e delle acque costiere porterà all'estinzione di specie locali e all'intrusione di specie esotiche e/o invasive e riduzione della biodiversità. Bello et al. (2004) avvertono che l'innalzamento delle temperature dell'acque marina ha già portato a cambiamenti nella biodiversità marina, per esempio nel Mediterraneo e nell'Adriatico, dove l'insediamento di nuove specie potrebbe essere stata favorita (EEA, 2005).

Non esistono studi specifici per quel che riguarda le specie ittiche sfruttate commercialmente. Studi sugli impatti climatici nell'ambito della pesca sono generalmente concentrate su singole specie non di importanza primaria per il mediterraneo (per esempio salmone, merluzzo) e possono essere applicate al caso italiano solo per analogia. Questi studi generalmente indicano prospettive di spostamento verso nord (*northward shift*) e estinzione (EEA, 2005). Anche per l'acquicoltura marina si prevedono rallentamenti di crescita dovuti a una minore disponibilità di siti con acque di superficie sufficientemente fresche e alla crescente suscettibilità verso malattie nel clima più caldo. Il cambiamento climatico è solo uno dei tanti fattori che influiscono su produttività e sostenibilità della pesca. Il sovra-sfruttamento attuale delle risorse appare come il fattore più importante a minacciare la sostenibilità della pesca commerciale in molti dei paesi OECD, ed aumenta la vulnerabilità della pesca verso gli impatti del cambiamento climatico (Kundzewicz et al., 2001).

Gli scenari di cambiamento climatico indicano un forte impatto negativo sul settore turistico localizzato nelle zone costiere, che rappresenta al momento la destinazione di maggiore interesse nel complesso italiano. Unioncamere (2006) stima infatti che la spesa complessiva per il turismo costiero rappresenti più di un terzo della spesa complessiva effettuata nel settore turistico italiano, e addirittura il 40% delle spese considerando solo quelle effettuate dai cittadini italiani⁶. Oltre alla perdita di terreno per l'innalzamento del livello del mare, già discusso in precedenza, l'innalzamento delle temperature e la maggiore frequenza di onde di calore (*heat waves*) estive renderanno meno amene le località turistiche italiane. A livello globale, e sempre per il settore turistico, le condizioni create dagli aumenti di temperatura previsti favoriranno un graduale spostamento delle destinazioni turistiche verso zone più temperate, in Europa allora verso nord e verso zone più alte nelle montagne. Con uno scenario di incremento climatico arbitrario di 1C°, zone montagnose francesi, italiane e spagnole potrebbero guadagnare in attrattiva grazie alla loro relativa freschezza rispetto alle aree costiere (Hamilton et al., 2005; Hanson et al., 2006). Inoltre, ci si aspetta che i flussi turistici verso il bacino mediterraneo si sposteranno gradualmente verso mesi in cui il vantaggio verso i paesi principali di provenienza (Regno Unito, Germania, Paesi Bassi ecc.) in termini di temperatura dell'aria e soprattutto dell'acqua è maggiore, e cioè verso i mesi di Ottobre e Novembre (Maddison, 2001; Perry, 2003). Infine, la riduzione delle risorse idriche a disposizione potrà ridurre l'attrattiva di alcune destinazioni turistiche.

3.3.1 Il costo degli impatti dei cambiamenti climatici i sulle zone costiere ed ambiente marino

Negli ultimi anni sono stati sviluppati studi per valutare gli impatti dell'innalzamento del livello del mare a livello locale in alcune aree specifiche. Essi si basano su una valutazione dello *stock at risk*.

⁶ L'indotto movimentato dal solo turismo sulle spiagge è stato stimato da Paltrinieri (2007) per alcune spiagge delle Marche e del Lazio, ed indica un impatto diretto tra il 332 e 1.000 €/mq, ed un impatto indiretto tra il 583 e il 1.752 €/mq.

Uno studio condotto dalla Fondazione Eni Enrico Mattei in collaborazione con l'ENEA a partire dal 2002, ad esempio, stima il valore monetario degli impatti diretti del cambiamento climatico in due aree costiere Italiane, la piana di Fondi (Lazio) e la piana del fiume Sangro (Abruzzo)⁷. Ad esempio, l'esercizio di valutazione per la piana del fiume Sangro produce stime del danno da cambiamento climatico per lo scenario di riferimento al 2100 pari a circa 14 milioni di euro (Breil et al., 2007). Sommando però il rischio idrogeologico all'innalzamento del livello del mare, il danno dovuto alla perdita del suolo ammonterebbe a circa 73 milioni di euro.

Esistono alcuni studi che stimano l'impatto economico dei cambiamenti climatici sul settore turistico costiero in Italia. I risultati del progetto WISE (Galeotti et al., 2004), basato sui dati di letti/notte e numero di arrivi sia per turismo domestico in Italia dal 1986 al 1995, evidenziano che estati estremamente calde riducono i flussi turistici estivi dell'1,22% nella media delle regioni, ma per le zone costiere si verifica un lieve incremento (Gambarelli and Gorla, 2004).

Nonostante l'esistenza di effetti compensativi attraverso le stagioni, il turismo costiero italiano potrebbe quindi subire rilevanti danni in seguito all'innalzamento delle temperature. Come emerge da simulazioni con modelli di equilibrio generale, il cambiamento climatico potrebbe avere, attraverso gli impatti che il turismo internazionale ha sull'economia globale, effetti significativi sulle economie nazionali tramite gli impatti sulla domanda interna e i redditi delle famiglie e sui flussi di investimento (Berritella et al., 2006). Non vi è concordanza riguardo al ruolo svolto dal turismo domestico: mentre alcuni studi indicano che il turismo estivo straniero potrebbe essere in parte compensato da un maggiore afflusso domestico (ad esempio, Hanson et al. 2006), altri (ad esempio, Bigano et al, 2005a) non trovano questo effetto di compensazione, anzi, gli autori concludono che vi potrebbe essere una relazione sinergica che porta ad un'ulteriore diminuzione degli afflussi turistici nelle zone costiere per temperature più elevate.

Per quel che riguarda una stima del valore monetario della perdita di biodiversità, gli studi sugli impatti economici dell'innalzamento della temperatura dell'acqua marina sono, come già menzionato, concentrati soprattutto su specie endemiche dei mari settentrionali (si veda per esempio EEA, 2005). Un esempio di una valutazione del valore non di mercato legato alla biodiversità marina è presentato in Nunes e van den Bergh (2004), che utilizzano le spese di viaggio sostenute da frequentatori di spiagge olandesi come indicatore del valore sociale attribuito alla possibilità di usufruire di mare e spiagge nel tempo libero.

Uno studio integrato che considera la maggior parte degli impatti relativa ad un'area costiera è quello realizzato da Nunes e Chiabai (2007) per l'area Alto Adriatica e quella veneziana in particolare. I principali risultati in termini di valore economico degli impatti dei cambiamenti climatici e di alcune misure di adattamento sono riassunti nel Riquadro 3.

⁷ Il lavoro prende in considerazione il cambiamento nel flusso di reddito a seguito di uno specifico scenario di innalzamento del livello medio del mare causato dai cambiamenti climatici, ma rappresenta un valore minimo in quanto non stima il valore d'uso e non uso delle spiagge e degli habitat naturali.

Riquadro 3: Valutazione economica degli impatti e delle misure di adattamento nell'Alto Adriatico

Gli impatti del cambiamento climatico sulle zone costiere ed, in particolare, nell'Alto Adriatico interesseranno sia l'ambiente naturale che i sistemi socio-economici che lungo le coste si sono sviluppati – quali il turismo e la produzione ittica. In assenza di misure di adattamento, sono anche previsti ingenti danni alle strutture architettoniche ed edilizie.

In un recente studio, Nunes e Chiabai (2007) presentano una prima valutazione degli impatti del cambiamento climatico nell'Alto Adriatico, e delle relative misure di adattamento.

Innanzitutto, in uno scenario di aumento della temperatura, che porterà anche ad un possibile aumento della frequenza ed intensità delle ondate di calore, il turismo costiero verrà penalizzato, con importanti implicazioni economiche a livello nazionale e locale. Per l'Alto Adriatico ci si attende una diminuzione della spesa da parte dei turisti stranieri, che potrà però essere in parte compensata da un incremento della spesa per i turisti italiani. Tali impatti interesseranno tutto il sistema turistico costiero dell'Alto Adriatico, ovvero: Venezia Centro storico, Mestre, Marghera, i comuni della Riviera del Brenta, Cavallino e il Lido; Bibione-Caorle; Chioggia, inclusa l'area di Sottomarina; and Jesolo-Eraclea. Prendendo come esempio illustrativo il sistema turistico di Venezia (che presenta le maggiori variazioni percentuali di spesa), si stima una diminuzione della spesa dei turisti stranieri compresa tra 652 e 804 milioni di euro per il 2030, e tra 2.798 e 3.285 milioni di euro per il 2090, a seconda dello scenario considerato. Per quanto riguarda i turisti italiani nel comprensorio di Venezia, il cambiamento climatico determina invece un aumento della spesa, che oscilla, a seconda dello scenario, tra 11 e 14,3 milioni di euro per il 2030 e tra 44 e 88 milioni di euro per il 2090.

Oltre ad un aumento della temperatura, le zone costiere dell'Alto Adriatico potranno essere interessate dall'aumento del livello medio del mare. Tale fenomeno influenzerà da un lato il settore ittico lagunare – l'innalzamento del livello medio del mare, infatti porterà ad un aumento della profondità della laguna di Venezia, alterando la circolazione dell'acqua ed i livelli di salinità, il trasporto dei solidi e l'equilibrio erosione-sedimentazione – e, dall'altro, tutte le attività economiche localizzate lungo le coste.

Nel primo caso, prendendo come esempio l'allevamento di vongole nella Sacca di Goro, una delle lagune salmastre di maggiori dimensioni dell'Alto Adriatico, Nunes e Chiabai (2007) stimano una riduzione della produzione di vongole di circa il 20%-22%, che si tradurrebbe in una perdita monetaria stimata tra 10,4 milioni e 16,5 milioni di Euro all'anno, perdita dovuta alle variazioni nelle condizioni climatiche.

Nel secondo caso, considerando il caso particolare della città di Venezia, i danni dovuti ad un innalzamento del livello medio del mare e, quindi, della frequenza ed intensità di inondazioni alla città, sarebbero più ingenti. In assenza di strategie di adattamento, nella situazione attuale, le strutture edilizie del centro storico veneziano adibite ad attività commerciali subiscono danni dovuti ad allagamento compresi tra 2,2 e 5 milioni di euro all'anno. Considerando uno scenario di innalzamento del livello medio del mare di 10cm, i danni aumenterebbero fino ad una cifra compresa tra 3,3 e 6,4 milioni di Euro, con una best guess di 4,7 milioni di Euro annui.

In aggiunta ai danni alle strutture architettoniche, un aumento della frequenza e dell'intensità degli allagamenti al centro storico veneziano causerebbe una ridotta funzionalità della città durante i fenomeni di allagamento. Considerando sempre come riferimento le attività commerciali del centro storico, Nunes e Chiabai (2007) stimano il costo implicito di un evento di allagamento tale da impedire l'agibilità al pubblico delle attività commerciali per una settimana. In termini di perdita di fatturato, il costo sarebbe pari al 52,3% del fatturato medio settimanale. A tale perdita si deve aggiungere il costo di inaccessibilità dei lavoratori al posto di lavoro e la forzata chiusura, che si attesta sui 4,9 milioni di euro per un evento di una settimana, ed i costi relativi alle pulizie e messa in sicurezza dei locali, stimati a circa 2,6 milioni di euro. I danni economici totali per mancata operatività si stimano quindi pari a 7,6 milioni di Euro nel caso di un allagamento della durata di una settimana.

Infine, una terza categoria di danni associati al rischio di inondazioni riguarda i danni sociali, che incidono sul valore economico totale delle attività economiche localizzate nell'area colpita dagli allagamenti. Si

ricollegano alla ridotta fruibilità della città durante gli eventi di allagamento, alle maggiori o minori opportunità di business generati, e alle difficoltà incontrate dagli operatori economici nel svolgere la propria attività, oltre al rischio di chiusura dell'attività stessa.

Nunes e Chiabai (2007) stimano anche il valore di una strategia di adattamento che riduca l'incidenza delle inondazioni dovute all'innalzamento del livello medio del mare per il centro storico di Venezia e in due scenari di cambiamento climatico. Una riduzione delle inondazioni nello scenario 110 cm => 145 cm (livello al quale l'acqua entra nei locali) avrebbe un valore compreso tra 1.583 miliardi di Euro e 1.587 miliardi di Euro, equivalente ad una variazione annuale del valore delle attività economiche pari a 7.240 Euro per capita (utilizzando un tasso di sconto del 2% per distribuire la variazione di valore su un periodo di 99 anni). Lo scenario 110 cm => 130 cm è valutato invece tra 904.710.385 Euro e 907.155.457 Euro, equivalente ad una variazione annuale del valore delle attività economiche pari a 4.140 Euro per capita.

Queste cifre possono essere interpretate come i benefici (in termini di danni evitati) delle misure di salvaguardia che eliminino in modo definitivo tutti gli impatti dell'innalzamento del livello del mare sulla attività economiche della città di Venezia. In assenza di misure di adattamento, tali stime corrispondono ai costi di inazione.

Il costo delle misure di adattamento deve però comprendere anche le strategie messe in atto dai privati indipendentemente da un intervento pubblico – che, nel caso del centro storico di Venezia, assumono un ruolo importante – basti considerare che il 29,2% della popolazione ha adottato delle misure di protezione dagli eventi di allagamento. Nunes e Chiabai (2007) stimano che gli operatori economici localizzati nel centro storico abbiano investito 10,4 milioni di Euro in misure di adattamento di tipo privato (come il rialzo, la vasca, la pompa, la paratia ed infine il taglio della muratura).

Infine, le strategie di adattamento ai cambiamenti climatici possono avere anche degli impatti negativi su altri settori o attività economiche, impatti che dovrebbero essere presi in considerazione nella scelta della strategia di adattamento da intraprendere. Considerando, ad esempio, l'adozione di misure di adattamento per salvaguardare le città portuali dalle inondazioni, si possono manifestare degli impatti negativi come ad esempio una ridotta accessibilità alle zone portuali. Ancora Nunes e Chiabai (2007) stimano gli impatti negativi che l'adozione delle barriere mobili alle bocche di porto della laguna di Venezia avrebbe sulle attività portuali della città, quali un aumento del tempo di attesa per raggiungere o abbandonare lo scalo veneziano. I risultati mostrano che tra l'8,6% e il 32% dei movimenti delle navi in entrata potrebbe essere soggetto ad alternazioni o interruzioni per effetto del sistema di paratie mobili, mentre per i movimenti in uscita le percentuali salgono da un minimo di 9,4% a un massimo di 36,3%. I costi totali andrebbero quindi da 16,3 a 27,3 milioni di Euro, corrispondenti ai due scenari che comportano i livelli di salvaguardia più elevati. Bisogna inoltre considerare che l'innalzamento dei costi potrebbe portare ad una riduzione del volume del traffico portuale a favore di altri scali più convenienti (non contabilizzati in questo rapporto). Tale ridimensionamento comporterebbe effetti potenzialmente anche molto consistenti per Venezia, considerando che il settore portuale è attualmente uno dei più rilevanti dell'economia cittadina.

3.4 Le zone a rischio desertificazione

Come accennato nella sezione 2.1.5, i cambiamenti climatici in atto contribuiranno ad aggravare la presente situazione. Per l'area mediterranea, infatti, l'ultimo rapporto IPCC prevede un impatto sui cicli di crescita delle piante e quindi della produzione primaria; una riduzione del turnover e della disponibilità di nutrienti nel terreno; modificazioni nell'areale di alcune piante; cambiamenti nella fenologia e nelle interazioni fra le specie; un aumento del rischio d'incendio, una maggiore durata della stagione secca, un'aumentata frequenza e severità degli incendi; un aumento dell'erosione del suolo a causa dell'aumento dell'intensità degli eventi piovosi, una ridotta capacità di ricolonizzazione della vegetazione in seguito ad incendi, una maggiore predominanza degli arbusti rispetto agli alberi. Tutti questi impatti interferiranno con i processi di degradazione del suolo che determinano il processo di desertificazione ed è evidente che non potranno che avere un ruolo negativo.

Le proiezioni d'impatto riferite all'area che comprende il territorio italiano diventano ancora più

preoccupanti se combinate con le stime riportate dall'Atlante Nazionale delle aree a rischio desertificazione (in corso di stampa), già citato nella sezione 2: le aree a rischio di desertificazione interessano oltre un quinto della superficie nazionale e arrivano ad oltre il 40% dei territori del sud Italia, mentre le aree particolarmente sensibili ammonterebbero complessivamente al 9,1%.

I principali effetti della desertificazione riconosciuti in letteratura si traducono in una diminuzione della fertilità del suolo, della sua capacità di ritenzione idrica, e della produttività della vegetazione, con una conseguente riduzione dei raccolti in agricoltura, dei rendimenti del bestiame, della biomassa boschiva e della biodiversità della vegetazione. In sintesi si tratta di una persistente riduzione della produttività potenziale del suolo. Fra le conseguenze del fenomeno vi può essere l'abbandono della terra o l'introduzione di pratiche di gestione che possono risultare sempre meno sostenibili, contribuendo quindi a loro volta ad esacerbare ulteriormente il processo di desertificazione.

Oltre agli impatti economici diretti derivanti dalla perdita di servizi non più fornibili dai suoli degradati, i processi di desertificazione possono portare a tutta una serie di impatti socio-economici indiretti, che ovviamente dipenderanno dalle caratteristiche locali. Tra questi si annoverano danni all'indotto agricolo ed altri settori economici (tra cui il turismo), aumento della disoccupazione nel settore agricolo nelle zone non più idonee alla coltivazione e conseguenti fenomeni migratori dalla campagna alla città, conflitti sull'uso delle risorse idriche, danni derivanti dall'aumento del rischio idrogeologico o della suscettibilità agli incendi, impatti sulla biodiversità e quindi sui servizi che da essa vengono per la ricerca scientifica in diversi campi, compreso quello medico, come illustra la Figura 4.



Figura 4: Possibili impatti della desertificazione

3.4.1 Il costo degli impatti dei cambiamenti climatici sulle zone a rischio desertificazione

Nel recente convegno UNCCD tenutosi a Roma nel mese di dicembre 2006 è stata sottolineata la mancanza di studi economici sui costi della desertificazione, motivata dalla difficoltà di sviluppare una metodologia integrata per l'analisi dei costi diretti ed indiretti del fenomeno a scala nazionale o globale. Tuttavia alcuni lavori hanno tentato di offrire delle stime dei costi utilizzando degli

approcci metodologici per le stime di impatto diretto che almeno in parte riescono ad affrontare il tema.

Questi studi stimano per lo più la perdita di produttività in seguito ad erosione del suolo, o danni a proprietà e persone a causa di incendi, ecc., tralasciando la gran parte degli impatti indiretti della desertificazione. Inoltre, nessuno degli approcci utilizzati per la stima dei costi della desertificazione considera l'effetto dei cambiamenti climatici. Nonostante le limitazioni, si deve però riconoscere che le stime di danno diretto costituiscono il limite inferiore del danno totale. Tale soglia è cruciale per dare un ordine di grandezza agli investimenti minimi che sarebbe economicamente efficiente sostenere per la lotta alla desertificazione.

Il primo passo per una valutazione dei costi di inazione relativi alla perdita di produttività è la stima fisica del danno, prima fra tutte la perdita di suolo fertile, che viene generalmente espressa in unità di superficie o in tonnellate di suolo perse. Uno studio del 1992 delle Nazioni Unite riportava ad esempio che ogni anno la Turchia, la Tunisia ed il Marocco avrebbero perso rispettivamente 54.237, 18.000 e 2.200 ha di terra coltivata a causa dell'erosione del suolo (UNEP, 1992). Uno studio più recente (Matallo, 2006), basato sull'utilizzo della Universal Soil Loss Equation (USLE), e riferito a 11 Paesi dell'America Latina, stimava la perdita di suolo fertile nell'ordine di grandezza di decine di miliardi di tonnellate all'anno, con stime per Paese che variano dai 5 milioni di tonnellate della Costa Rica ai 20 miliardi dell'Argentina. Questo lavoro stimava, oltre alla perdita di suolo fertile, anche la perdita di acqua indotta dalla desertificazione.

Passando alle valutazioni economiche, l'unica stima disponibile a livello globale sui costi della desertificazione si basa su un approccio geografico-spaziale, ovvero sulla suddivisione delle aree aride del mondo in aree agricole irrigate, non-irrigate, e terreni da pascolo (Dregne and Chou, 1992). A questa caratterizzazione spaziale, basata su dati UNESCO per ogni paese, è stata quindi applicata una stima economica del costo della desertificazione per ettaro, in relazione alle diverse tipologie di terra o attività produttive, basato su numerosi studi alla micro-scala condotti in Australia e negli Stati Uniti, per arrivare ad una stima di costo globale per le aree vulnerabili. Ogni anno il degrado di terra da pascolo veniva stimato da questo studio nell'intorno di 7 US\$ per ettaro, per terreno non-irrigato nella misura di 38 US\$ per ettaro, per terreno irrigato nella misura di 250 US\$ per ettaro, con una perdita di produttività globale molto elevata. Lo studio stimava che il costo annuale della desertificazione a livello mondiale nel 1990 fosse pari a 42 miliardi di US\$ (di cui 11 imputabili alla perdita di terreno irrigato, 8 di terreno non-irrigato, e 23 di terreno a pascolo). Se si applicassero queste stime all'Italia si otterrebbe un costo complessivo (relativo ai 16.500 kmq vulnerabili) compreso tra i 60 e i 412 milioni di US\$ all'anno.

Lo studio di Matallo (2006), citato in precedenza, stimava un impatto economico della desertificazione che in aggregato ammonterebbe a circa 36 miliardi di US\$ all'anno negli 11 Paesi dell'America Latina considerati. Lo studio si spinge fino ad includere nel costo totale anche la perdita di biodiversità, e valutando anche questo impatto, i costi di inazione arriverebbero a 54 miliardi di US\$.

Altri studi misurano le perdite economiche causate dal degrado del suolo in termini di PIL agricolo. Molti sono basati su modelli di equilibrio economico generale e si riferiscono a paesi in via di sviluppo (Diao and Sarpong, 2007, Young, 1999, Bojo, 1996, Convey and Tutu, 1992, Drechsel and Gyiele, 1999, and ISSER/DFID/World Bank, 2005). Le stime indicano generalmente una perdita annua di PIL agricolo compresa fra 2% e 10%, con una mediana intorno al 5%. Di nuovo, queste stime considerano, fra i numerosi impatti possibili del degrado del suolo, solamente la perdita di produttività agricola e gli effetti che tale diminuzione di produzione avrebbe sul resto dell'economia nazionale. Inoltre, è importante ribadire che questi studi analizzano gli effetti della desertificazione in corso ma nessuno di questi studi include gli effetti del cambiamento climatico.

4. Adattarsi ai cambiamenti climatici: strategie, costi e benefici

Due sono i principali approcci per cercare di diminuire i rischi derivanti dal mutamento climatico: da un lato, azioni di mitigazione, che mirano ad eliminare o ridurre progressivamente le emissioni di gas che incrementano l'effetto serra naturale; e, dall'altro, strategie di adattamento, ovvero azioni che hanno l'obiettivo di minimizzare le conseguenze negative ed i danni causati dai possibili cambiamenti climatici, sia ai sistemi naturali che a quelli socio-economici.

Il complesso funzionamento del sistema climatico e la natura dell'inquinamento atmosferico causa dei cambiamenti climatici di origine antropica fanno sì che il rischio ed i danni derivanti dai cambiamenti climatici stessi non possano essere eliminati del tutto. Le strategie di adattamento ai cambiamenti climatici si rendono quindi necessarie come strategie complementari alla mitigazione, volte soprattutto alla riduzione delle emissioni di gas serra. Il rapporto IPCC (2007c) si pone l'urgenza di intraprendere al più presto misure di adattamento per reagire a impatti che sono ormai inevitabili e misure di mitigazione dei cambiamenti climatici al fine di alleviare ed evitare impatti maggiori e rischi futuri.

La necessità dell'adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici emerge da una serie di importanti documenti internazionali, ognuno dei quali dà tuttavia una propria definizione di questo concetto chiave.

L'IPCC, dall'anno del suo insediamento nel 1988, ha prodotto diverse definizioni che si sono man mano evolute nel tempo. La più citata ad oggi è quella del terzo rapporto dell'IPCC (IPCC, 2001), che definisce l'adattamento come: *aggiustamenti nei sistemi ecologici, sociali ed economici in risposta a stimoli climatici attuali o previsti, ai suoi effetti o ai suoi impatti. Questo termine si riferisce a cambiamenti in processi, pratiche, o strutture per moderare o bilanciare eventuali danni o approfittare di eventuali opportunità derivanti dai cambiamenti climatici.*

Il glossario dell'UNFCCC definisce l'adattamento come *le azioni intraprese per aiutare le comunità e gli ecosistemi a fare i conti con i cambiamenti climatici, come la costruzione di muri di contenimento per proteggere le proprietà da forti temporali e precipitazioni intense, o piantare determinati specie vegetali adatte a temperature più alte e a condizioni del suolo più secche.*

L'EEA ha pubblicato sin dal 2004 diversi rapporti che mostrano come il cambiamento climatico sia già largamente una realtà (EEA, 2004, 2005 and 2007) e definisce l'adattamento come *politiche, pratiche e progetti con l'effetto di moderare i danni o approfittare delle opportunità associate ai cambiamenti climatici.*

Infine, la comunicazione n°35 del 2005 dell'UE ("Vincere il cambiamento climatico planetario" Febbraio 2005) oltre a dedicare un capitolo specifico all'adattamento chiede esplicitamente alla Commissione Europea di esplorare il ruolo che l'UE debba rivestire nella riduzione della vulnerabilità e nella promozione dell'adattamento. La Commissione ha quindi istituito un Gruppo di lavoro dedicato a questo scopo che ha recentemente prodotto il già citato "*Green Paper on Climate Change and Adaptation*", presentato al pubblico il 3 luglio 2007.

L'adattamento mira dunque a ridurre la vulnerabilità dei sistemi considerati, che a sua volta dipenderà dalla definizione della sfida da affrontare. Più in dettaglio, ci si porrà il problema della valutazione della vulnerabilità attraverso una serie di criteri pertinenti. Per approfondimenti legati a questi e ad altri aspetti metodologici, si rimanda all'Appendice Metodologica.

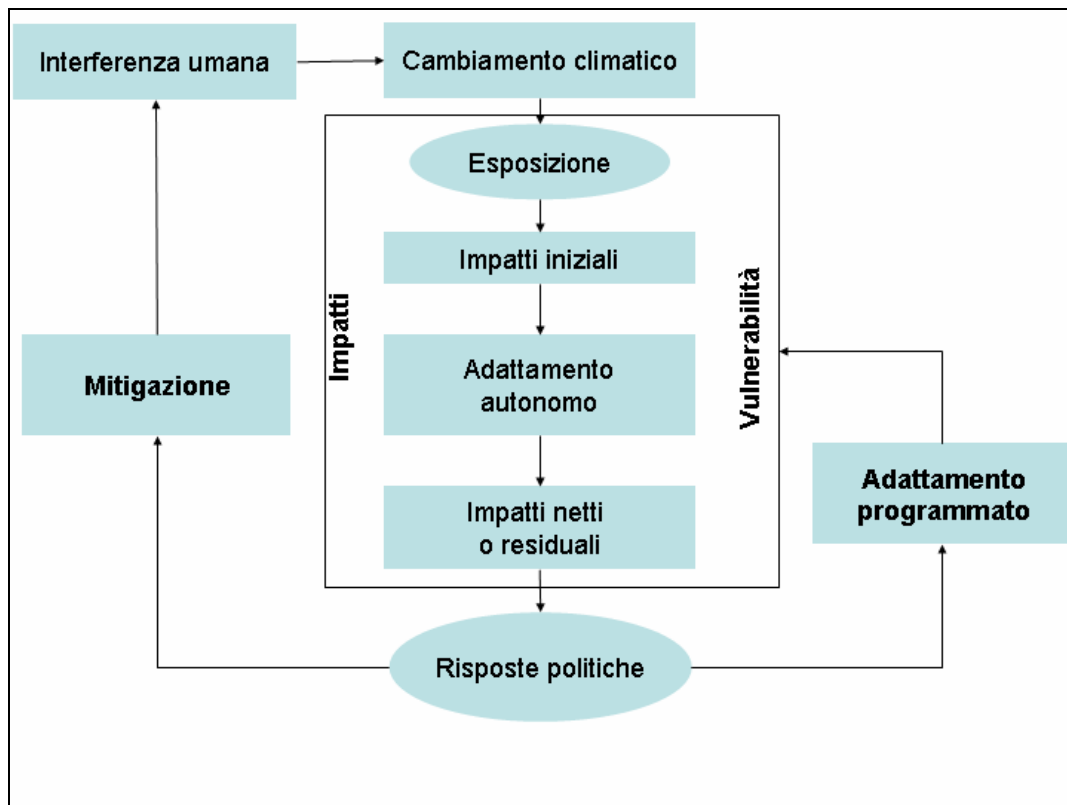


Figura 5: Relazione tra adattamento e mitigazione (da *Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique* a cura dell'ONERC (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique, 2006)

Nonostante non esista una definizione univoca di adattamento (Bosello et al. 2007b), si possono distinguere due principali forme di adattamento: l'adattamento 'programmato', vale a dire realizzato tramite enti pubblici o privati, e l'adattamento 'autonomo' dei sistemi naturali e socio-economici (si veda la Figura 5). Mentre il primo consiste in misure messe in atto esplicitamente per mitigare o annullare impatti negativi del cambiamento climatico, il secondo si riferisce alle condizioni di resilienza dei sistemi naturali e socio-economici.

L'adattamento può, inoltre, essere realizzato a diverse scale: individuale, regionale o nazionale. Il ruolo principale di una strategia di adattamento a livello regionale è quello di impedire che diverse strategie di adattamento a livello atomistico entrino in conflitto tra loro o addirittura diventino controproducenti. L'adattamento a livello nazionale è soprattutto volto a promuovere un generale aumento della capacità adattiva del sistema nel suo complesso. Si compone di un insieme di iniziative che necessitano l'intervento di un'autorità pubblica in quanto sia l'incertezza connessa al cambiamento climatico che il grado di coordinamento e enforcement richiesti possono essere deterrenti per l'agente privato.

Le strategie di adattamento pianificato hanno come punto di partenza l'analisi dettagliata degli impatti del cambiamento climatico, sia nel periodo attuale che in una prospettiva di cambiamento climatico. Dunque il livello e la tipologia di adattamento dipendono dalla vulnerabilità del sistema, ovvero dal suo grado di suscettibilità agli effetti negativi dei cambiamenti climatici. Questa vulnerabilità è funzione sia del processo di adeguamento del sistema ad una nuova situazione, sia delle condizioni stesse che consentono al sistema di adattarsi (Ferrara e Farruggia, 2007).

Tabella 5: Possibili strategie di adattamento (WWF, 2007)

Settore	Strategia
Biodiversità	Migliore gestione delle aree protette designate o la creazione di 'Core areas' che proteggano in zone cuscinetto le specie animali costrette a spostarsi.
Risorse idriche	Gestione integrata dei bacini idrogeologici, riduzione degli sprechi e ottimizzazione dei consumi, limitazione degli usi non prioritari dell'acqua (innervamento artificiale, estrazione per imbottigliamento ecc.).
Assetto idrogeologico del territorio	Forse tra le aree più colpite con aumento di frane e inondazioni con gravi rischi per la vita umana. Occorre un ripristino della funzionalità eco-idrogeologica del territorio, tutte le buone pratiche di manutenzione dei bacini fluviali (aumento delle aree di esondazione dei fiumi, riforestazione nelle aree montane, blocco delle edificazioni in aree a rischio, riduzione dell'impermeabilizzazione delle aree, ecc).
Foreste	Proteggere la variabilità genetica e rafforzare le aree di rifugio. Programmi di ricerca ecologica a lungo termine.
Agricoltura	Coltivazione di prodotti che ottimizzino le risorse (acqua); equilibrio fra aree coltivate e aree set-aside. Risparmio idrico con colture meno esigenti; concessioni idriche a seconda della disponibilità della risorsa, difesa dei prodotti tipici con alleanza tra piccoli produttori.
Zone Umide	A rischio torbiere, sorgenti, paludi con difficoltà per uccelli migratori, danni al turismo nelle oasi di protezione (Delta del Po, bosco della Mesola, parco del Circeo, Bosco di Policoro). Serve una gestione integrata del ciclo dell'acqua ed un percorso gestionale di partecipazione pubblica.
Zone di Montagna	Anche in questi ambienti occorre ripristinare la funzionalità eco-idrogeologica del territorio, come deve avvenire per le aree fluviali) aumentando la capacità di 'ritenzione' dell'acqua. Moratoria di 5 anni per l'edificazione di nuove stazioni sciistiche. Definizione di piani turistici che valorizzino il patrimonio naturalistico della montagna.
Caccia e pesca continentale	Eliminare dall'elenco delle specie cacciabili quelle più sotto stress, ridurre l'uso industriale di acque correnti per garantire un flusso minimo vitale per fiumi e torrenti, ridurre la costruzione di barriere, applicare il principio di precauzione all'introduzione di specie aliene, monitorare le invasioni.
Zone costiere	Realizzare strutture naturali di contenimento dell'erosione costiera, ripristinare l'apporto di sedimenti da parte dei fiumi (arrestando il prelievo a monte di ghiaia e sedimenti, riducendo le barriere, etc.), studiare i fenomeni di subsidenza del suolo fermando le cause prodotte dall'uomo.
Pesca ed ecosistemi marini	Eco-labelling, adeguare la quota di pescato alla disponibilità, combattere l'introduzione di specie indigene. Sviluppare attività di pesca artigianale multispecifica in grado di recuperare la stagionalità del prodotto.
Salute umana	Monitorare la diffusione di malattie incentivando lo studio sulle relazioni tra cambiamenti e salute. Promuovere presidi sanitari per far fronte alle crisi climatiche.
Trasporti	Cartografare gli impatti previsti ed i possibili adattamenti per trasporti terrestri, aerei e marittimi. Monitorare soprattutto la rete stradale e ferroviaria nelle zone costiere a rischio erosione marina.
Industria ed energia	Per affrontare la diminuzione della disponibilità dell'idroelettrico, a fianco di uno sviluppo di energie rinnovabili occorre mantenere le condizioni vitali dei corsi d'acqua. Adeguare il sistema di concessioni per la derivazione e captazione dei fiumi per scopi idroelettrici a seconda delle disponibilità. Incentivare lo sviluppo di tecnologie pulite nelle produzioni industriali.
Turismo	Realizzazione di piani di sviluppo turistico che diversifichino l'offerta e in alcuni casi riconvertano l'attività (crisi nelle aree montane e costiere).
Urbanesimo e costruzioni	Ripensare le costruzioni in modo da proteggere la popolazione dal calore e dalla penetrazione dei raggi solari. Benefici sia per il benessere umano che per la spesa energetica. Agglomerati urbani con maggiori zone di verde (parchi e giardini) che favoriscono l'abbassamento delle temperature in città. Monitorare anche lo stato di salute del patrimonio artistico.

L'adattamento ha chiaramente un costo, che deve essere confrontato con i benefici come “il danno evitato o i benefici accumulati in seguito all'adozione e all'applicazione delle misure di adattamento”. Se, al netto dei costi di adattamento, le conseguenze negative indotte dallo stimolo climatico sono ridotte, o se aumentano le conseguenze positive, l'adattamento comporta un beneficio. In caso contrario, si ottiene un possibile mal-adattamento (si veda l'Appendice Metodologica per maggiori dettagli).

I paragrafi seguenti riassumeranno alcune strategie di adattamento ai cambiamenti climatici – e, laddove possibile, il loro costo di implementazione – per le quattro aree tematiche descritte in precedenza.

4.1 Adattamento nelle le zone alpine e relativi costi

Diverse strategie sono a disposizione del settore turistico alpino per rispondere ad eventuali variazioni di domanda, in particolare nei periodi invernali. Si possono distinguere le cosiddette strategie “tecniche” che consistono nell'apportare opportune modifiche alla morfologia delle aree sciistiche allo scopo di renderle sciisticamente più affidabili, quelle “comportamentali” incentrate sulla differenziazione dell'offerta turistica ed infine quelle volte a limitare i rischi di una stagione insoddisfacente. La Tabella 6 le riassume.

Tabella 6: Strategie di adattamento al cambiamento climatico nel settore turistico per le zone alpine

Strategie tecniche	Innevamento artificiale
	Riduzione del manto nevoso necessario a permettere la pratica dello sci (progettazione di particolari tipi di tracciato, installazione di parapetti “cattura neve”, posa di alberi per proteggere le piste, protezione delle piste dal vento, drenaggio di terreni umidi)
	“Riallocazione” dell'attività sciistica (spostamento delle piste da sci nelle zone più elevate o più a nord, potenziamento/concentrazione dell'attività sciistica nella parte più elevata di un impianto già esistente, sviluppo di impianti sui ghiacciai)
Strategie comportamentali	Ampliamento della gamma di servizi offerti (ad es. turismo congressuale, fitness, terme,...)
	Potenziamento dell'offerta turistica al di fuori della stagione invernale, soprattutto turismo estivo (climbing, trekking, sport,...)
Strategie di riduzione del rischio stagione	Fusioni, conglomerazioni (ampliamento dei comprensori), <i>weather derivatives</i>

Il tipo di intervento tecnico maggiormente diffuso consiste sicuramente nella produzione di neve artificiale. La Tabella 7 riporta la percentuale di comprensori sciistici nelle Alpi italiane dotati di dispositivi per la produzione di neve artificiale. In tutto l'arco alpino Italiano circa il 77% delle aree sciistiche è dotato sistemi per la produzione di neve artificiale, percentuale che raggiunge addirittura il 100% in Friuli Venezia Giulia e Alto Adige.

Tabella 7: Impianti sciistici dotati di dispositivi per la produzione di neve artificiale nelle Alpi italiane

	No. di aree per lo sci con dispositivi per l'innevamento artificiale	No. di aree per lo sci (TOTALE)	Aree per lo sci con dispositivi per l'innevamento artificiale (in %)
Veneto	24	46	52,2%
Lombardia	22	33	66,7%
Piemonte	37	54	68,5%
Valle d'Aosta	20	25	80,0%
Trentino	31	34	91,2%
Friuli Venezia Giulia	5	5	100,0%
Alto Adige	54	54	100,0%
Totale (No. / %)	193	251	76,9%

Fonte: EURAC (2007)

Questo tipo di intervento presenta però costi elevati. Produrre 1 m³ di neve costerebbe tra i 3 e i 5 euro (CIPRA, 2004), mentre l'installazione di un sistema di innevamento artificiale si aggirerebbe tra i 25.000 - 100.000 Euro/ha (in Austria) o i 650.000 Euro/Km (in Svizzera) con un costo medio di 136.000 Euro/ha (CIPRA, 2004). I costi operativi annuali in Svizzera si aggirano tra i 19.000 e i 32.000 Euro/ha, e si stima che circa l'8,5% dei ricavi venga in media speso dagli operatori per gli interventi di manutenzione. In caso di innalzamento della temperatura, tutti questi costi sono destinati ad aumentare in modo consistente dato che non solo dovrebbe essere prodotta più neve artificiale, ma anche in condizioni di temperatura più elevata. Questo è valido soprattutto per i costi associati al consumo energetico. Inoltre, la produzione di neve artificiale richiede ingenti risorse idriche – si stima che una copertura nevosa completa di 30 cm necessiti di 1000 – 1200 m³ di acqua per ettaro (Probstl, 2006). Un aumento del ricorso all'innevamento artificiale, dunque, aumenterebbe la pressione sulle risorse idriche, portando probabilmente a maggiori tensioni e conflitti tra i diversi utilizzatori.

Un'altra strategia che potrebbe risultare vincente per le località turistiche alpine in Italia è di tipo comportamentale, considerando che solo il 30,1% dei turisti italiani e il 32,8% dei turisti stranieri che visita le località montane italiane dichiara di farlo per praticare uno sport specifico (Unioncamere, 2006). Indirizzarsi verso attività differenti come il turismo congressuale, o l'offerta di percorsi culturali e periodi relax con trattamenti fitness o termali (che in Italia costituiscono rispettivamente la seconda e la quinta voce di spesa turistica per volume d'affari (Unioncamere, 2006) potrebbe essere quindi particolarmente vincente. È comunque molto difficile che questa diversificazione consenta di compensare completamente l'eventuale forte contrazione della domanda turistica invernale, sia perché questa costituisce il volume d'affari più rilevante (ad esempio nel 2000 il turismo invernale costituiva il 64% del fatturato totale del turismo montano in Italia secondo i dati del TCI, 2002), sia perché anche l'attrattiva delle alternative tipologie di offerta è strettamente legata alle caratteristiche paesaggistiche cui la neve contribuisce in maniera determinante.

4.2 Adattamento per il sistema idrogeologico e relativi costi

In Italia, lo strumento normativo principale che obbliga all'implementazione della protezione idrogeologica è la legge 267/98, conosciuta come "Legge Sarno", in quanto emessa in seguito alla tragica inondazione di fango che distrusse il paese di Sarno nel maggio del 1998. Questa legge impone alle autorità responsabili della gestione dei bacini idrici di identificare le zone a rischio, redigere dei piani di prevenzione delle catastrofi ed emettere un regolamento specifico per evitare ulteriori aumenti del rischio a causa di fattori antropogenici. La stessa legge ha fornito la base legale per l'identificazione e il finanziamento di misure preventive urgenti.

In Italia, le misure preventive urgenti finanziate con i fondi pubblici nell'ambito della legge quadro 267/98, dal 1998 al 2006, ammontavano a 447,36 milioni di Euro per i rischi d'inondazione e 667,88 milioni di Euro per i rischi di frane (APAT, 2006). Il costo totale della protezione completa delle aree ad alto rischio idrogeologico in Italia supera invece i 43 miliardi di Euro (Ministero dell'Ambiente, 2002), di cui 9,9 miliardi per interventi urgenti e/o già approvati (al 2006, solo 1,15 miliardi di Euro risultavano finanziati). Queste cifre danno già un'idea dell'entità del costo di salvaguardia del territorio italiano dai pericoli presi in esame. Tuttavia non rappresentano in alcun modo il costo della protezione del territorio in considerazione dall'aumento di questi rischi in seguito al cambiamento climatico.

Altre cifre, tra quelle disponibili, danno un'idea degli ingenti costi che l'Europa in generale e l'Italia in particolare si trova ad affrontare per quanto riguarda i danni da inondazioni: l'alluvione del 2000 nel nord Italia fece superare da solo i 2,6 miliardi di Euro di danni, mentre i danni dell'inondazione verificatasi in Europa centrale nel 2002, da molti indicata come effetto del cambiamento climatico, sono stati valutati intorno ai 17,3 miliardi di Euro.

Lo scenario è preoccupante anche per il settore assicurativo: l'alluvione del 2000 ha comportato per le compagnie di assicurazione italiane indennizzi 3 volte più elevati di quelli del 1994 (300 milioni di Euro contro 100 milioni - Swiss Re, 2001, 2006). Il trend crescente è comune a tutto il mondo. Attualmente ogni anno vi sono 4 volte le catastrofi naturali di origine meteorologica che si verificavano 40 anni fa, e ciò provoca perdite 11 volte superiori per le assicurazioni. Se i trend attuali persistono, i danni annuali si avvicineranno ai 150 miliardi di dollari USA nel prossimo decennio, dei quali una parte significativa sarà assicurata (Bosello et al. 2007b). Alcune stime preliminari dell'ABI (Association of British Insurers, 2005) indicano che in Europa le perdite annuali in seguito alle inondazioni potrebbero arrivare a 100 – 120 miliardi di Euro.

Per specifici paesi europei, esistono alcune stime sui costi di inazione e di adattamento per l'impatto del cambiamento climatico sui rischi idrogeologici. Il progetto europeo PESETA stima che per il bacino dell'Alto Danubio, l'ammontare totale dei danni previsti per le sole inondazioni con tempo di ritorno di 100 anni passi da 46,25 a 64,75 miliardi di Euro a causa del cambiamento climatico, con una crescita del 40% circa della stima totale dei danni (pari a un aumento di 18,5 miliardi di Euro) per lo scenario SRES IPCC A2. Si vedano i dettagli nell'Appendice Metodologica.

Tuttavia, sono quasi del tutto assenti in letteratura i confronti tra costi di adattamento e costi di inazione per gli impatti sul sistema idro-geologico derivante dai cambiamenti climatici. Per i Paesi Bassi, Bosello et al. (2007b), concludono che "l'adattamento potrebbe mitigare la maggior parte degli aumentati rischi di inondazioni fluviali indotti dal cambiamento climatico a costi relativamente modesti. In particolare, gli investimenti "ottimali" in difesa delle inondazioni ridurrebbero i danni per le inondazioni indotte dal clima da 39,9 miliardi di Euro a 1,1 miliardi di Euro nel 21° secolo a un costo relativamente modesto di circa 1,5 miliardi di Euro. Questo costo è relativamente modesto rispetto ai danni e rispetto agli investimenti contro le inondazioni fatti nel 20° secolo e nella prima parte del 21°".

Infine, occorre puntualizzare che i costi di adattamento per i singoli cittadini non sono mai stati valutati. Qualche indicazione si può ricavare dal lavoro di Chiabai e Nunes (2006) per il caso

dell'acqua alta a Venezia. L'indicazione non è precisa perché le stime comprendono in maniera non disaggregabile *ex-post*, i costi di adattamento ed alcuni costi di ripristino. Per le attività commerciali di Venezia, i costi diretti per l'acqua alta, comprese le misure di protezione, per un anno eccezionale (il 2002, che può esser preso in prima approssimazione come esempio di effetto del cambiamento climatico) assommano a 29 milioni di Euro.

4.3 Adattamento nelle zone costiere e ambiente marino e relativi costi

Le strategie di adattamento ai cambiamenti climatici sono numerose e estremamente diversificate. Esse comprendono azioni puramente tecnologiche (es. difese rigide costiere), misure "comportamentali" (modificare alcune scelte, per esempio ricreative), interventi gestionali (es. modificare le pratiche agricole in zone a rischio di inondazione) e decisioni politiche (es. regolamentazione per la pianificazione).

L'IPCC (1991) individua tre tipologie di adattamento pianificato per le zone costiere rispetto all'innalzamento del livello del mare, in seguito elaborate anche da Evans et al. (2004):

- Il ritiro ("*Retreat*"): non prevede alcuno sforzo di protezione del suolo dal mare. L'area costiera è abbandonata e l'ecosistema si sposta nell'entroterra. Questa scelta può essere motivata da un eccessivo costo economico o ambientale derivante da eventuali misure di protezione. Nel caso estremo, un'intera area può essere abbandonata. Nel caso delle aree costiere lo sviluppo agricolo è spostato su altri territori, mentre si cerca di sfruttare le potenzialità turistiche che dovessero manifestarsi per la nuova configurazione della costa dopo l'innalzamento del livello del mare e l'allagamento dell'area.
- L'accomodamento ("*Accommodation*"): si continua ad usare il territorio a rischio, senza tentare di prevenire possibili inondazioni. Questa opzione prevede la costruzione in caso di emergenza di ripari per le inondazioni, l'elevazione degli edifici su palafitte, la conversione dell'agricoltura in acquicoltura, maricoltura e allevamento ittico, o lo sviluppo di coltivazioni più tolleranti al rischio di inondazioni e di intrusione salina. Si cerca dunque di attuare misure di difesa "proattiva", adeguando le attività umane alle nuove condizioni ambientali per ridurre i danni.
- La protezione ("*Protection*"): include sia la costruzione di infrastrutture rigide, come barriere o dighe, sia lo sviluppo di soluzioni protettive più flessibili, come la creazione di dune o di vegetazione, per difendere il territorio dal mare, e mantenere l'attuale tipologia di uso del suolo. Inoltre si predispongono opportuni sistemi per bloccare il cuneo salino⁸ e impedire l'intrusione di acqua salata nel sottosuolo e nelle falde idriche. In questo caso si riduce il rischio aggiuntivo derivante dai cambiamenti climatici tramite misure preventive di difesa "reattiva".

Oltre a queste tre opzioni è possibile identificare un'ulteriore alternativa, le misure di difesa assicurativa (Ferrara e Farruggia, 2007), che prevedono la suddivisione e la condivisione dei danni tramite meccanismi solidali di risarcimento, come l'istituzione di un fondo comune o di polizze di assicurazione.

Brooks et al. (2006) aggiungono le strategie applicate per incrementare la "resilienza", ovvero "la possibilità che un sistema ha di resistere ad un impatto o a un danno, determinata dalle sue capacità di elasticità e di recupero rispetto alla causa o al possibile danno" (Ferrara e Farruggia, 2007). Queste misure si basano sulla modifica delle infrastrutture e degli edifici esistenti, più esposti agli impatti, e sulla riduzione della vulnerabilità socio-economica.

⁸ Il cuneo salino indica l'interfaccia che si viene a creare negli acquiferi costieri, quando l'acqua dolce (più leggera) proveniente dall'entroterra poggia sopra l'acqua salata (più pesante) del mare.

La realizzazione di misure di adattamento pianificate richiede l'organizzazione di processi decisionali, basati su attività di valutazione, e di partecipazione di *stakeholder* e delle persone interessate nel senso lato. La valutazione permette di confrontare le diverse opzioni di azione, mentre la partecipazione è necessaria per raggiungere una visione condivisa sia su potenziali impatti del cambiamento climatico, sia sulle strategie più adatte per l'adattamento alle nuove condizioni.

Come sottolineato da Fankhauser (1995), a differenza delle azioni di mitigazione delle emissioni di gas serra, che devono necessariamente essere coordinate a livello internazionale, le strategie di adattamento rappresentano un problema a livello locale. Ciò significa che le scelte nel campo dell'adattamento devono essere prese basandosi principalmente su processi decisionali portati avanti a tale livello. Ad esempio, una strategia di adattamento contro i fenomeni di erosione costiera a livello locale, per la quale si può calcolare facilmente il costo diretto, potrebbe essere quella di ripascimento delle spiagge. Per altro, parte dei costi di adattamento in questo caso potrebbero trasformarsi in benefici indotti, trasformando quindi l'investimento nella protezione costiera in reddito potenziale (Paltrinieri, 2007).

Nei casi in cui si decida di adottare strategie di rinaturazione e ricostruzione di dune, i costi corrispondono al valore delle aree occupate da queste aree. Quantificazioni attendibili di costi di adattamento devono allora attendere decisioni strategiche su strategie da adottare a livello locale.

Tendenze di adattamento naturale da parte di specie e habitat a nuovi livelli medi marini (movimento verso l'interno) o alle nuove condizioni climatiche (movimenti verso nord) sono nella regola ostacolate dall'alta pressione antropica lungo le coste e dal *coastal squeeze*, cioè dal fatto che essi sono schiacciati tra linea costiera e costruzioni e infrastrutture verso la terraferma.

Valutazioni economiche relative all'adattamento in Italia sono quasi inesistenti, ad eccezione di studi legati a problematiche molto specifiche (ad esempio, il Mose a Venezia). Negli ultimi anni sono stati sviluppati studi per valutare gli impatti dell'innalzamento del livello del mare a livello locale in alcune aree specifiche (vedi caso studio nel precedente capitolo). Esse si basano su una valutazione dello *stock at risk*. A livello internazionale tuttavia sono stati prodotti numerosi studi che possono dare indicazioni di massima sui costi dell'adattamento al SLR per l'Italia, come esemplificato nel Riquadro 4 e Riquadro 5.

Riquadro 4: Alcuni esempi di stime del costo di adattamento all'innalzamento del livello medio del mare.

Bosello et al. (2006), partendo dai risultati di Tol (2002) stimano che il costo totale di adattamento per un innalzamento di 25cm del livello del mare al 2050, sia compreso in un intervallo tra lo 0,01% del PIL per gli Stati Uniti, e lo 0,8% del PIL per gli altri Paesi sviluppati. Nicholls e Klein (2003) concentrano invece il loro studio su alcuni Paesi europei (Olanda, Germania, Polonia, Estonia, Irlanda), ed individuano costi di adattamento decisamente più alti, ad esempio il 14% del PIL, per la Polonia.

Fankhauser et al. (1998) stimano un costo dello 0,02% del PIL per i Paesi della parte nord del Mediterraneo per un innalzamento di 1 metro del livello del mare, rispetto ad una media mondiale dello 0,056% del PIL. Soltanto pochi studi provano a stimare gli impatti di "livello superiore" (high-order impacts) dell'adattamento costiero. In altre parole, significherebbe unire le strategie di adattamento esplicitamente pianificate con l'aggiustamento socio-economico autonomo generato da tali strategie, per identificarne gli effetti finali in termini di benessere o di PIL.

Darwin e Tol (2001) usano un modello statico di equilibrio generale, considerando gli investimenti in protezione costiera come una perdita generale di capitale produttivo. In uno scenario al 2100 di crescita di 50 cm del livello del mare, e protezione ottima, i costi diretti sono relativamente ridotti, soprattutto nei Paesi sviluppati, dove raggiungono un massimo di 0,009% delle spese totali nel 1990.

Riquadro 5: Il progetto PESETA

I risultati preliminari di un recente progetto europeo (PESETA), e riportati nel Green Paper della Commissione Europea sull'adattamento contengono un calcolo economico degli impatti dovuti all'innalzamento del livello del mare, in presenza e in assenza di adattamento, per l'Europa. Gli scenari di riferimento adottati sono lo scenario A2 e B2 dell'IPCC. Emergono danni significativi, in particolare in assenza di misure di adattamento (tra i 9 e 42 miliardi di Euro /all'anno). L'adattamento è in grado di ridurre i costi totali nel medio periodo, tra il 7 e il 50%, e fino al 70% nel lungo periodo.

Scenario "Low sea level rise" (B2)	Orizzonte temporale	Danni residui (Miliardi di Euro all'anno)	Costi di adattamento (Miliardi di Euro all'anno)	Costi totali (Miliardi di Euro all'anno)
Senza adattamento	2020	4,4	0,0	4,4
	2080	9,3	0,0	9,3
Con adattamento	2020	1,0	1,3	2,3
	2080	0,9	1,3	2,2

Scenario "High sea level rise" (A2)	Orizzonte temporale	Danni residui (Miliardi di Euro all'anno)	Costi di adattamento (Miliardi di Euro all'anno)	Costi totali (Miliardi di Euro all'anno)
Senza adattamento	2020	5,9	0,0	5,9
	2080	42,5	0,0	42,5
Con adattamento	2020	1,4	4,0	5,4
	2080	1,8	9,3	11,1

4.4 Adattamento nelle zone a rischio di desertificazione relativi costi

L'identificazione e la valutazione economica delle misure di lotta alla desertificazione risultano

particolarmente difficili, oltre che per mancanza di letteratura economica sul tema, anche per alcuni caratteri distintivi del fenomeno, che lo distinguono dagli altri tipi di impatto considerati, e in particolare:

- la non perfetta corrispondenza fra adattamento ai cambiamenti climatici e strategie di intervento contro la desertificazione;
- il significato stesso dei termini adattamento e mitigazione nel contesto della desertificazione;
- la natura dei processi di adattamento.

Il primo carattere distintivo è costituito dal fatto che, nel caso della desertificazione, politiche di lotta a questo fenomeno possano solo parzialmente definirsi politiche di adattamento ai cambiamenti climatici. Infatti, la desertificazione è il risultato di diversi fattori di pressione, che includono ma non si esauriscono nei cambiamenti climatici. Di conseguenza, misure che combattono il degrado del suolo costituiscono un tentativo di adattamento a tutta una serie di pressioni ambientali di origine sia naturale che antropica, fra cui anche i cambiamenti climatici.

Una seconda peculiarità è dovuta al fatto che, nella letteratura sulla desertificazione, i termini adattamento e mitigazione spesso si confondono, in quanto gli interventi proposti hanno spesso un ruolo misto. Non a caso, si preferisce in genere utilizzare il termine più generale di “lotta alla desertificazione”. Le misure di lotta, infatti, generalmente si concentrano sui rapporti suolo-vegetazione e sul ciclo idrologico, e quindi su specifiche politiche ambientali che includono la razionalizzazione dell’uso della risorsa idrica, la pianificazione dell’uso del suolo, misure agro-forestali e di difesa del suolo (si veda ad esempio il Programma di Azione Nazionale per la Lotta alla Siccità ed alla Desertificazione nel Riquadro 6). È evidente che alcune di queste misure, come il recupero del valore produttivo del suolo attraverso la riforestazione, costituiscono, al tempo stesso, misure di mitigazione al cambiamento globale, in termini di riduzione delle emissioni, ma anche di adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici e contrasto alla desertificazione tramite la protezione del suolo e il mantenimento della sua produttività biologica ed economica.

Riquadro 6: Il Programma di Azione Nazionale per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione (PAN)

Il PAN, istituito con Delibera CIPE n. 229 del 21 dicembre 1999, prevede un insieme coerente di interventi nei seguenti settori prioritari:

- protezione del suolo
- gestione sostenibile delle risorse idriche
- riduzione dell'impatto delle attività produttive
- riequilibrio del territorio (es. recupero dei suoli degradati, interventi di bonifica e rinaturalizzazione, ecc.).

In particolare il PAN prevede interventi nelle aree agricole a produzione intensiva e marginali, nelle aree a rischio di erosione accelerata, nelle zone degradate da contaminazione, inquinamento, incendi, nelle aree incolte ed abbandonate; una maggiore efficienza della rete di distribuzione dell'acqua ed un controllo ed una razionalizzazione degli usi dell'acqua, in attuazione ed attraverso gli strumenti previsti dalle nuove direttive (adozione dei piani di tutela delle acque e degli strumenti per la pianificazione del bilancio idrico)⁹; l'adozione di sistemi agricoli maggiormente compatibili con l'ambiente, e che prevedano una maggiore razionalizzazione dell'uso dell'acqua (l'agricoltura risulta essere responsabile fino al 90% del consumo di acqua nei momenti di punta stagionali); il recupero del valore produttivo, paesaggistico e naturalistico di zone compromesse dalle attività antropiche, attraverso opere di bonifica o l'attuazione di politiche di sistema che coinvolgano aree limitrofe marginali.

Il terzo ed ultimo fattore peculiare della desertificazione rispetto ad altri impatti dei cambiamenti climatici è la natura dei processi di adattamento. In generale, l'adattamento agli impatti del cambiamento climatico coinvolge sia i sistemi naturali che socio-economici, ed in entrambi i casi può essere 'autonomo' (cioè attuato spontaneamente in risposta ai cambiamenti, per lo più dagli ecosistemi nei sistemi naturali e dai privati nei sistemi socio-economici) o 'pianificato' (o di anticipazione, per lo più attuato a livello pubblico). Nel caso della maggioranza degli impatti dei cambiamenti climatici, queste due forme di adattamento coesistono. Va notato però che è insito nella definizione stessa di desertificazione il concetto di superamento della soglia di resistenza del sistema e quindi il generarsi di una situazione di degrado non reversibile attraverso processi di adattamento autonomo. Tale superamento della soglia critica comporta necessariamente la perdita di un determinato insieme di funzioni, ovvero di "servizi ambientali" del sistema suolo. Nella misura in cui ci si ponga come obiettivo la salvaguardia di tali funzioni, è necessario quindi ricorrere a *politiche pianificate di adattamento*. Va rilevato il fatto che, nella proposta di strategie di lotta pianificata alla desertificazione, si cerca sempre di privilegiare un approccio multi-obiettivo, nel quale la lotta al degrado della risorsa suolo viene generalmente vista nel contesto più ampio che ingloba anche altre dimensioni, prima fra tutte la gestione delle risorse idriche.

Rispetto alla valutazione economica di misure di lotta alla desertificazione, però, la letteratura internazionale è molto scarsa, al limite dell'inesistenza. Gli studi relativi al costo delle diverse strategie di adattamento affrontano la desertificazione solo in modo indiretto, concentrandosi prevalentemente su studi del settore agricolo. Nella stragrande maggioranza dei casi l'adattamento che viene preso in considerazione dai modelli è di tipo autonomo (ossia implementato dai privati senza l'intervento pubblico), mentre molti governi si stanno già mobilitando per adattarsi agli

⁹ Spesso in Italia, a scala locale e di bacino, la disponibilità della risorsa idrica è solo stimabile, poiché mancano le più elementari misure delle portate e si registrano gravi carenze anche nella strumentazione tecnica a disposizione degli organismi competenti; nel Mezzogiorno poi è diffusa la pratica dei prelievi abusivi, che sembrano addirittura superare quelli legittimi.

impatti attesi in diversi settori (EEA, 2007). Nel caso della desertificazione, come abbiamo già detto l'adattamento deve invece essere generalmente pianificato.

Ad esempio studi condotti sui sistemi agricoli nei paesi sviluppati, nel loro complesso quantificano il potenziale di riduzione delle perdite indotte dal cambiamento climatico grazie all'adattamento in un *range* che va dal 40% (Rosenzweig et al., 1994) al 70% (Reilly et al., 1994). In uno studio per gli USA, Southworth et al. (2002) concludono che la semplice variazione nel *timing* di coltivazione della soia in risposta alle variazioni climatiche abbia consentito di ottenere una resa del 120% più alta che altrimenti. Stuczynski et al. (2000) stimano che l'adattamento in Polonia consenta di ridurre le perdite dal (-)25%, al (-)5% o addirittura trasformarle in un guadagno del 5%. Nella Tabella 8 vengono presentati a scopo esemplificativo diverse strategie di adattamento attuabile in campo agricolo.

Altri studi affrontano il problema della desertificazione stimandone il costo: ad esempio, stime non troppo recenti per la Spagna e la Tunisia (GreenPeace International., 1997) indicano che la Tunisia da sola spenderebbe 100 milioni di US\$ all'anno per combattere la desertificazione, mentre i costi sostenuti dalla Spagna ammonterebbero a 200 milioni di US\$ all'anno¹⁰. I pochi articoli scientifici che considerano misure di lotta alla desertificazione guardano generalmente al problema dal punto di vista dei benefici, ma non dei costi. Ad esempio, Diao e Sarpong (2007) stimano i benefici lordi di pratiche di gestione sostenibile dei suoli in termini sia di danno evitato tramite controllo dell'erosione, sia di aumento di produttività in seguito a pratiche di miglioramento della qualità del suolo. D'altra parte, gli autori ammettono che un grosso limite del loro lavoro è costituito dalla mancata considerazione dei costi di tali pratiche di gestione sostenibile del suolo, a causa della difficoltà di reperimento di dati.

È importante precisare che il calcolo dei costi è un aspetto importante nella valutazione dell'adattamento, ma costituisce solo una delle componenti da considerare per la scelta delle misure più appropriate. Di volta in volta, a seconda del contesto specifico e delle possibilità applicative, potrà interessare valutare costi, benefici, efficacia, costo-efficacia, o utilità sociale in senso lato delle misure di adattamento. Per esempio, rispetto agli impatti sull'agricoltura, consideriamo le misure di adattamento riportate nella colonna a sinistra della Tabella 8 (selezionate da un lungo elenco proposto in Kurukulasulya e Rosenthal, 2003). A fronte di costi e benefici attesi per ognuna di queste misure, ci sono molti altri fattori importanti da considerare nella decisione, fra cui quelli riportati nella colonna a destra.

Tabella 8: Esempio di misure di adattamento in campo agricolo in aree soggette a desertificazione

Misura di adattamento	Costi	Benefici	Altri fattori importanti
Introduzione di pratiche di gestione del suolo conservative	Acquisti di mezzi tecnici, maggiori costi di lavorazione, minori produzioni (nel breve periodo)	Mantenimento della funzione produttiva del suolo nel lungo periodo	Necessità di sussidi per l'adozione delle nuove tecniche, verifica dell'effettiva applicazione, etc.
Sostituzione delle colture con specie con minori fabbisogni	Agricoltori: costi di transizione tra coltivazioni diverse	Riduzione danno ai raccolti per aumento temperatura e riduzione	Presenza di un mercato certo a prezzi vantaggiosi per i nuovi prodotti, necessità di eliminare sussidi statali per prodotti non idonei al clima (con eventuali conflitti sociali), necessità di

¹⁰ La fonte citata nel Rapporto di GreenPeace International è giornalistica: El Mundo, 13 October 1993; La Vanguardia, 7 January, 1994.

idrici		disponibilità idrica	introdurre nuovi sussidi per incentivare il passaggio alle nuove colture, poca familiarità degli agricoltori con le coltivazioni suggerite.
Passaggio a tecnologie di irrigazione a maggiore efficienza	Agricoltori: costi dei nuovi sistemi e perdita del patrimonio investito sui sistemi meno efficienti	Riduzione danno ai raccolti per una minore suscettività alla siccità, utilizzo dell'acqua risparmiata per usi diversi dall'agricoltura	Necessità di incentivare l'uso delle nuove tecnologie anche attraverso l'imposizione di tariffe elevate per l'acqua ad uso agricolo (con conseguenti agitazioni sociali), necessità di introdurre nuovi sussidi per incentivare il passaggio alle nuove tecnologie.
Assicurazione per perdita raccolti	Agricoltori: premio assicurativo; Società assicuratrici: costi di gestione, costi di monitoraggio (se risarcimento legato a perdite effettive), risarcimenti, ecc.	Riduzione danno economico derivante da condizioni climatiche estreme	Complessità nell'elaborare sistemi assicurativi efficienti e a basso costo (es: necessità di ripartire il rischio fra settore pubblico e privato) Diffidenza verso strumenti assicurativi rispetto al più familiare risarcimento dello Stato per stato di calamità naturale.

5. Stima degli impatti macroeconomici del cambiamento climatico per l'Italia

Le valutazioni economiche sopra analizzate sono relative a specifiche aree di impatto dei cambiamenti climatici e a specifiche tipologie di attività economica (turismo, ad esempio, o agricoltura). È tuttavia importante tentare di aggregare tutti questi impatti per pervenire ad una stima dei costi dei cambiamenti climatici su tutto il territorio italiano e per tutti i settori economici (tenendo conto che l'economia italiana è strettamente interconnessa con quella delle altre regioni del mondo).

Ciò può essere fatto utilizzando un modello di equilibrio generale dell'economia mondiale, all'interno del quale viene enucleato il sistema economico italiano. Introducendo nel modello le variazioni nelle grandezze economiche (stock e flussi) indotte dai cambiamenti climatici è possibile derivare alcune stime degli impatti economici dei cambiamenti climatici per l'Italia (Roson, 2007). Tali stime possono essere effettuate per uno o più anni futuri e non quindi solo in modo retrospettivo.

Si tratta di un lavoro particolarmente innovativo, che tenta di valutare le capacità endogene di adattamento dei sistemi economici. Infatti, a fianco di specifiche politiche di adattamento, che possono essere intraprese da governi ed organizzazioni pubbliche o private, esistono meccanismi di adattamento che passano normalmente attraverso modifiche dei prezzi, e che inducono variazioni nelle strutture di consumo e produzione. Il modello economico mondiale che stima il valore economico aggregato per l'Italia degli impatti dei cambiamenti climatici dopo che i sistemi economici si sono autonomamente adattati. Non si tratta quindi della somma degli effetti di incremento della temperatura, livello del mare, precipitazioni, eccetera. Ma della valutazione di quale sia il costo residuo indotto dai cambiamenti climatici dopo che a livello nazionale e internazionale le risorse economiche si siano ridistribuite tra i vari settori e le varie aree geografiche in base ai segnali provenienti da prezzi e mercati.

Prima di presentare i risultati è importante tenere a mente il significato che le diverse variabili macroeconomiche assumono in questo contesto. Ad esempio, una spesa per adattamento, forzata dal cambiamento del clima, rappresenta pur sempre un flusso di reddito per altri individui presenti nel sistema economico, e come tale induce sul Prodotto Interno Lordo (PIL) effetti di segno opposto a

quelli dei danni da cambiamenti climatici. Oppure, una variazione di prezzo indotta da una maggiore scarsità di una risorsa può avere effetti positivi sul PIL. La variazione del PIL come indicatore aggregato di costo dei cambiamenti climatici non è quindi una misura esente da critiche. Tuttavia è quella usata dall'IPCC e da quasi tutti gli studi in materia. Sarà usata anche in questo studio, ricordando tuttavia che i costi in termini di PIL possono essere relativamente più bassi poiché si tiene conto dell'adattamento autonomo. Infatti, i risultati preliminari del modello indicano che gli impatti macroeconomici del cambiamento climatico in presenza di adattamento autonomo (non di quello programmato) sono essenzialmente effetti di natura distributiva. Alcuni settori perdono molto (agricoltura e turismo) altri meno o addirittura ottengono dei benefici. Il dato macroeconomico aggregato, nella sua natura di sommatoria di microeffetti e delle loro interazioni e ripercussioni, può celare in realtà impatti anche molto rilevanti, che si verificano su scala inferiore.

Anche se non tutti gli impatti del cambiamento climatico sono stati considerati, per mancanza di dati o di evidenza scientifica sugli impatti fisici, per l'Italia è stato calcolato il valore economico del costo dei cambiamenti climatici al netto dell'adattamento autonomo tenendo conto degli impatti sulla salute umana (e quindi sulla forza lavoro e la sua produttività), sull'agricoltura, sul turismo, sull'energia, sulle zone costiere (a seguito di incremento del livello del mare) e sulle zone a rischio desertificazione. Si tratta quindi dei principali impatti e la stima può quindi essere considerata interessante.

5.1 Il modello

Il modello utilizza una base di dati Social Accounting Matrix dell'economia mondiale, prodotta dal consorzio GTAP (Global Trade Analysis Project). Utilizza anche una serie di varianti del modello base GTAP (Hertel, 1996), nella versione GTAP-E (Burniaux e Truong, 2002), modificate di volta in volta sulla base del tipo di impatto climatico analizzato. L'economia mondiale è rappresentata come struttura di flussi commerciali tra 17 settori produttivi in 9 regioni, tra le quali l'Italia appare enucleata come regione a sé stante. Sono distinte cinque tipologie di risorse produttive primarie (due tipi di lavoro, capitale, terra, risorse naturali), e quattro settori di domanda finale (famiglie, amministrazioni pubbliche, investimenti, esportazioni). Sono considerate, tra le variabili descrittive ausiliarie, le emissioni di anidride carbonica.

Gli esercizi di simulazione qui discussi sono basati su un approccio standard di statica comparata – vengono cioè messi a confronto due ipotetici stati di equilibrio generale, in assenza ed in presenza di uno o più shock di origine climatica. A differenza delle pratiche standard, il modello viene preventivamente “ricalibrato” costruendo un benchmark futuro, riferito all'anno 2050 (Roson, 2003). Dato che, in questa fase, vengono del tutto ignorati eventuali shock, non solo legati al cambiamento climatico, ma anche di natura tecnologica o politica, il benchmark costituisce una ipotetica fotografia della struttura economica mondiale al 2050, in assenza di effetti perturbativi di qualsiasi origine.

In questo esercizio, vengono considerati due scenari di variazione della temperatura nel periodo 2001-2050: un incremento pari 0,93 °C nel periodo e uno pari a 1,2 °C.¹¹

Vengono quindi stimati gli impatti economici del cambiamento della temperatura su sei fattori specifici: (i) salute umana, per la quale si considerano la variazione nelle ore lavorate a seguito di cambiamenti nella mortalità e morbilità¹² e le spese sanitarie; (ii) agricoltura, per la quale le variazioni nei raccolti per i due scenari di cambiamento climatico vengono estrapolate da Tol (2002); (iii) il turismo, per il quale si considerano gli impatti sui flussi turistici e sulla spesa media giornaliera; (iv) il livello medio dei mari, che prende in considerazione il costo relativo alla perdita

¹¹ Questi due scenari fanno riferimento agli scenari B1 e A2 dell'IPCC rispettivamente.

¹² Sei patologie sono prese in considerazione: malaria, dengue, schistosomiasi, diarrea, patologie cardiovascolari e respiratorie (Bosello et al., 2006).

di terreni costieri partendo da diversi modelli (Hoozemans et al., 1993; Bijlsma et al., 1996; Nicholls and Leatherman, 1995; Nicholls et al., 1995; Beniston et al., 1998); (v) la desertificazione che, come nel caso dell'innalzamento del livello dei mari, viene stimata come il danno relativo alla perdita di terreno produttivo; ed infine (vi) variazioni nella domanda di energia (Bigano et al., 2006).

Per ciascuno di questi impatti, i valori ricavati dalla letteratura internazionali e relativi usualmente all'Europa sono stati ricalcolati per l'Italia, grazie al lavoro fatto nei rapporti citati all'inizio di questo rapporto (e che questo rapporto riassume).

5.2 I risultati del modello

Il modello include diverse variabili, da quelle relative al quadro macroeconomico nazionale a quelle relative al commercio internazionale dell'Italia, nonché per tutte le aree geografiche del mondo rappresentate. Inoltre la disaggregazione settoriale del modello permette di guardare agli affetti distributivi tra i principali settori economici nazionali. Il modello permette anche l'aggregazione di tutti i costi in un solo indicatore, individuato, in analogia con i contenuti del quarto rapporto IPCC, nella variazione del PIL indotta dal manifestarsi dei cambiamenti climatici.

Per l'Italia, il modello utilizzato in questa analisi calcola che il cambiamento climatico condurrebbe ad una perdita annua di Prodotto Interno Lordo compresa tra lo 0,12% e lo 0,16%, se la temperatura salisse di 0,93 °C nel periodo 2001-2050, e tra lo 0,16% e lo 0,20% se la variazione di temperatura fosse di +1,2 °C da qui al 2050. Poiché gli impatti dei cambiamenti climatici si avverteranno soprattutto nella seconda metà del secolo, il danno espresso in termini di perdita di PIL raggiungerà nel 2100 un range tra 0,9% e l'1,14% del PIL (sempre del 2100 a prezzi correnti) nel primo scenario e tra 1,02% e 1,28% del PIL nel secondo scenario.

Nel 2050 si registrerebbe quindi una perdita di benessere equivalente alla riduzione di reddito nazionale di circa 20-30.000 milioni di euro a prezzi correnti. Si tratta di una cifra rilevante, pari ad un'importante manovra finanziaria. Il valore sarebbe sei volte più grande nel 2100.

Utilizzando tali cifre e ipotizzando che il danno provocato dal cambiamento climatico sia una funzione, lineare o quadratica, della variazione di temperatura, è possibile calcolare la perdita di PIL indotta, nel corso di tutto questo secolo, dal cambiamento climatico. La Tabella 9 riassume i nostri risultati per i due scenari citati.

Tabella 9: Ammontare del danno complessivo del cambiamento climatico per l'Italia, espresso come percentuale sul PIL (danno cumulato scontato su PIL cumulato scontato, periodi di riferimento 2001-2100)

Scenario B1 (+0,93° nel 2050)	Danno quadratico nella temperatura	Danno esponenziale nella temperatura
Tasso di sconto: 3%	0,12%	0,14%
Tasso di sconto: 1%	0,18%	0,19%
Scenario A2	Danno quadratico nella temperatura	Danno esponenziale nella temperatura
Tasso di sconto 3%	0,20%	0,22%
Tasso di sconto 1%	0,38%	0,36%

Queste stime sono in linea con quelle del quarto rapporto IPCC (IPCC, 2007c) anche se molto più contenute di quelle presentate nella Stern Review (Stern, 2007). Sia il rapporto Stern che quello dell'IPCC non sono però riferiti all'Italia. Va anche ribadito che l'impatto del cambiamento climatico è di natura essenzialmente distributiva e che il danno in termini di variazione del PIL qui calcolato tiene conto dell'adattamento autonomo che passa attraverso le variazioni di prezzo e i nuovi equilibri sui mercati mondiali. Questo valore è quindi più corretto di quelli spesso proposti che non tengono conto degli aggiustamenti che i cambiamenti climatici indurranno nei vari settori economici e nelle varie aree geografiche del mondo.

È infine interessante disaggregare queste stime, per identificare i settori italiani più colpiti dal cambiamento climatico. In uno scenario di innalzamento della temperatura di 0,93°C nel 2050 rispetto al 2001, i settori che registrano una maggiore riduzione nella quantità fisica prodotta sono quelli dei servizi - da (-)0,71% a (-)0,87% -, ed alcuni settori dell'energia - petrolio (-)1,88%, gas (-)3,72%-. Questi ultimi riflettono un calo nella domanda mondiale di gas e petrolio, dovuto principalmente alle minori necessità di riscaldamento invernale, mentre aumenta la domanda e la produzione di energia elettrica (+1,8%), anche per il maggior utilizzo di condizionatori. In uno scenario in cui al cambiamento climatico si affianchi anche un aumento dei fenomeni di desertificazione, sarebbe ovviamente il settore agricolo a registrare un forte calo di produzione, soprattutto per quel che riguarda la produzione di grano - (-)1,45% -, ma anche frutta e verdura.

Va infine sottolineato che la stima del danno macroeconomico qui proposta non considera i costi "non di mercato", ovvero che influenzano realtà non soggette a scambio e quindi che non hanno un prezzo (ad esempio, la biodiversità o il patrimonio artistico e architettonico). Né siamo pervenuti ad una stima degli impatti sulle famiglie distinta per fasce di reddito. Infatti, anche rispetto a questa dimensione, gli effetti dei cambiamenti climatici in Italia saranno essenzialmente distributivi con fasce della popolazione e del sistema economico che subiranno danni importanti e altre che non saranno probabilmente toccate o potranno più facilmente adattarsi.

6. Gap conoscitivi

Esiste ormai una vasta letteratura sui complessi fenomeni riguardanti i cambiamenti climatici – sia per quel che riguarda gli aspetti climatologici, che quelli socio-economici ed ambientali. In generale, la letteratura si è però concentrata su impatti quali salute umana (si veda, ad esempio, il Riquadro 7) e sulle conseguenze dell'innalzamento del livello del mare, mentre ben poco si sa degli impatti sul sistema idrogeologico o su biodiversità. Questa è una lacuna significativa, dal momento che in Europa ed anche in Italia i danni causati da alluvioni e frane sono ingenti, sia in termini economici, sia in termini di vita umana. Inoltre, la letteratura di valutazione economica si è prevalentemente concentrata su aspetti relativi alla mitigazione dei cambiamenti climatici, e solo recentemente si è iniziato a discutere con maggior attenzione dei costi e benefici delle strategie di adattamento.

Se negli ultimi decenni vi è stato un progresso significativo della teoria e delle metodologie a disposizione per la stima economica degli impatti dei cambiamenti climatici (si veda l'Appendice Metodologica), gli esercizi di valutazione a livello nazionale mancano tuttora. Mancano quindi per l'Italia le valutazioni economiche degli impatti in caso di inazione e delle alternative in termini di adattamento.

Questa lacuna trova le sue origini negli strumenti finora utilizzati per determinare gli scenari futuri di cambiamento climatico – che necessariamente devono sottendere ogni studio di valutazione degli impatti e di efficacia delle strategie di adattamento. Esistono dunque alcune lacune fondamentali che valgono per tutti i settori analizzati, e riguardano la parte climatica e idrogeologica. È cruciale migliorare l'affidabilità della modellistica del meccanismo di trasmissione degli effetti del

cambiamento climatico dagli scenari globali SRES su scala nazionale e locale. Ciò comporterà un impegno notevole di ricerca sia nel *downscaling* dei modelli climatici, sia nella modellistica dei fattori d'innescio di origine climatica di eventi quali frane, alluvioni, desertificazione ecc.

Questo aspetto è fondamentale, soprattutto se si considera che le decisioni riguardanti le misure di adattamento dovranno essere prese a livello locale o regionale, e non possono quindi prescindere da un'attenta analisi degli impatti (fisici e di conseguenza socio-economici ed ambientali) a livello locale.

Per quel che riguarda invece la valutazione degli impatti economici, esistono delle metodologie ben consolidate in letteratura (si veda Appendice Metodologica). Queste però raramente sono state applicate per valutazioni a scala nazionale o, ancor più rilevante nel caso delle strategie di adattamento, a scala sub-nazionale e locale (una importante eccezione è il progetto Kyoto-Lombardia realizzato dalla Fondazione Lombardia Ambiente). Oltre alle incertezze relative agli scenari di cambiamento climatico ad una scala geografica appropriata, l'analisi economica degli impatti richiede informazioni e dati che spesso non sono disponibili, o la cui raccolta implicherebbe un dispendio notevole di risorse – umane e finanziarie. Così, se da un lato alcuni danni vengono stimati rutinariamente (in particolare, i danni alle infrastrutture), altri non sono ancora stati affrontati, in particolare i danni agli ecosistemi e il valore economico della perdita di biodiversità.

Riquadro 7: Valutazione dei benefici dell'adattamento agli effetti sulla salute dell'uomo dei cambiamenti climatici. Un caso di studio italiano.

È stato stimato che l'ondata di calore che ha interessato l'Italia nel giugno-agosto 2003 abbia causato 1.094 vittime nella sola città di Roma. Utilizzando delle stime già esistenti in letteratura riguardo alla disponibilità a pagare per un clima meno avverso (ad es., Maddison e Bigano, 2003), Alberini et al. (2006) e Alberini e Chiabai (2007) stimano i benefici associati a politiche di adattamento per ridurre gli impatti sulla salute delle ondate di calore. Maddison e Bigano (2003) stimano che per una famiglia di Roma il valore marginale dell'evitare un aumento di un grado nella temperatura media nel mese di luglio sia di circa €367 all'anno. Considerando che, nel luglio 2003, la temperatura media era di 2,8° al di sopra della temperatura media normale per quel mese (25,1 °C), e che il numero totale di famiglie a Roma è stimato a 1.038.461, il valore del danno causato a Roma dalla variazione di temperatura è stato stimato in €1.067.123.077. Supponendo che il valore del disagio rifletta interamente le morti eccedenti dovute all'ondata di calore, questo implica un valore per morte evitata pari a €3.345.213.

Un altro esempio di valutazione dei benefici associati a politiche di adattamento utilizza i dati di Kovats (2003), che stima i rischi di mortalità connessi ai cambiamenti nella temperatura media in Italia, e l'adattamento fisiologico a temperature più calde (senza programmi di adattamento pubblici). I suoi calcoli implicano che dal 2000 al 2020 il rischio di morire per cause cardiovascolari e respiratorie durante le ondate di calore aumenterebbe da 0,71 a 0,91 su 10.000 per le persone fino ai 65 anni e da 9,19 a 11,70 su 10.000 per i più anziani (più di 65 anni). Utilizzando due stime del Valore di una Vita Statistica (VVS) (€1,784 milioni e €1,657 milioni) elaborate da Alberini e Chiabai (2007), si arriva ad una stima dei danni delle ondate di calore in assenza di strategie di adattamento che si attesta sui €281 milioni per l'anno 2020 (in Euro correnti) per la sola città di Roma.

Questi risultati sono molto differenti da quelli ottenuti da Moore (1998) per gli Stati Uniti, dove si segnalano, sulla base delle previsioni dell'IPCC, aumenti significativi nelle temperature di gennaio, e aumenti più ridotti delle temperature estive. Applicando queste previsioni di temperatura ai tassi di mortalità quotidiana registrati a Washington DC ed in altre 89 contee americane, ne deriva che il cambiamento climatico provocherà una riduzione generale dei tassi annuali di mortalità. Vi è quindi un conseguente beneficio legato all'aumento della temperatura.

Riportiamo infine un esempio illustrativo di analisi costi-benefici di una possibile politica di adattamento che riduca la perdita di vite umane durante le ondate di calore. A partire dall'estate 2004, un anno dopo l'ondata di calore del 2003, che ha causato migliaia di decessi in tutta l'Europa, il sistema di vigilanza sulle ondate di calore (HHWSs, descritto in Kovats e Ebi, 2006) e i programmi di prevenzione adottati nelle città americane furono attivati nelle città italiane di Bologna, Roma, Milano and Torino. Nello stesso anno, i sistemi di avvertimento furono adottati per la prima volta in via sperimentale in altre quattro città italiane (Brescia, Genova, Palermo e Firenze) (Michelozzi et al., 2004). Nell'estate 2007, questi sistemi sono stati adottati in 17 città italiane.

Si supponga ora che Roma sperimenti un'ondata di calore identica a quella avvenuta nell'estate del 2003, e che venga messo in atto un sistema di avvertimenti HHWS. Quante vite sarebbero salvate dall'adozione del sistema? E quali sarebbero i benefici monetari del sistema?

Poiché il sistema HHWSs è stato adottato in Italia solo recentemente, non esiste ancora una valutazione quantitativa della sua efficacia in termini di numero di vite salvate per effetto della sua implementazione. Utilizzando le stime sull'efficacia del HHWSs nel salvare le vite umane per la popolazione al di sopra dei 65 anni, ottenute da Ebi et al. (2004) per la città di Filadelfia, e applicandole alla città di Roma, dalle nostre stime risulta che circa 81 vite potrebbero essere salvate in una sola estate grazie alla messa in atto del programma di avvertimenti nel caso di un'ondata di calore pari a quella del 2003. Usando ancora una volta il VVS calcolato da Alberini e Chiabai (2007), la messa in atto del sistema porterebbe un beneficio di €34,47 Milioni per la sola città di Roma e per una sola estate. Questo rappresenta il costo dell'inazione, mentre per calcolare il beneficio netto di questa politica, andrebbero allora dedotti i costi di installazione e mantenimento di tale sistema.

Lo studio dei costi e benefici di diverse strategie di adattamento per l'Italia dovrebbe procedere a livello regionale piuttosto che nazionale, soprattutto considerate le grandi differenze topografiche, climatiche e socio-economiche esistenti fra diverse Regioni. Le zone più vulnerabili dovrebbero rappresentare il punto di partenza degli esercizi di valutazione e identificazione di strategie di adattamento, laddove le regioni più a rischio saranno identificate in base all'impatto che si vuole affrontare – così, per l'innalzamento del livello del mare, le regioni più vulnerabili saranno quelle costiere depresse, mentre per i problemi legati alla desertificazione bisognerà intervenire con priorità nelle regioni del sud, quali Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia, e Sardegna. Va evidenziato però che, se i casi di studio esistenti costituiscono un buon punto di partenza, notevoli miglioramenti sono necessari, soprattutto per quel che riguarda la stima degli impatti su settori specifici quali gli ecosistemi naturali.

Si ribadisce infine l'importanza di condurre tutti questi studi che toccano aspetti disciplinari diversi, con un approccio interdipendente o integrato in modo che tra evoluzione degli scenari climatici, degli impatti fisici e quella degli impatti economici sia garantita la massima coerenza e si minimizzi il rischio di trascurare aspetti fondamentali di un quadro altamente complesso. In particolare, sarà necessario aumentare gli sforzi per:

- La raccolta di dati e costituzione di database che consentano di ricostruire gli impatti ambientali e economici dei fattori climatici, se non del cambiamento climatico nel passato.
- L'elaborazione di studi che quantifichino in termini fisici quelli che sono i possibili impatti del cambiamento climatico in base a diverse ipotesi di scenario futuro.
- Infine, partendo da questi ultimi, elaborazione di studi di valutazione economica degli impatti condotti in primis con tecniche di direct costing e successivamente/possibilmente con tecniche di equilibrio generale.

In parallelo, sviluppo di studi sui costi delle possibili strategie di adattamento.

I paragrafi che seguono riportano alcuni aspetti specifici alle quattro aree tematiche e territoriali di interesse specifico per l'Italia.

6.1 Zone alpine

Studi specifici sulle conseguenze dei cambiamenti climatici sugli ambienti alpini sono presenti in letteratura, ma riguardano prevalentemente aspetti ambientali e, qualora trattino quelli economici, sono riferiti a paesi diversi dall'Italia. I pochissimi studi finora condotti per il nostro paese, sono limitati al settore turistico – usando metodologie per altro migliorabili – mentre altre aree, quali l'agricoltura, il settore forestale, la biodiversità ed il rischio idrogeologico, non sono state ancora affrontate sistematicamente. Lo stesso può dirsi per l'analisi delle misure di adattamento, sia in termini di costi che di efficacia: questa è largamente incompleta e finora concertata per lo più sul settore turistico-invernale.

Tutto questo evidenzia la necessità di intraprendere un lavoro di ricerca sistematica degli impatti dei cambiamenti climatici sulle alpi italiane. Oltre al turismo, elementi di particolare vulnerabilità al cambiamento climatico sui quali risulta pertanto opportuno concentrare lo sforzo conoscitivo sono quelli del dissesto idrogeologico, dell'agricoltura e della biodiversità. Questo ultimo campo risulta particolarmente inesplorato, soprattutto sotto il profilo economico, presentando oggettive difficoltà di quantificazione per l'esistenza di valori non di mercato.

6.2 Sistema idrogeologico

Se le metodologie per la valutazione degli impatti economici degli eventi estremi sono ormai consolidate, manca tuttora un approfondimento dei diversi effetti specifici delle inondazioni e delle frane. In particolare, i danni attesi conseguenti a frane ed inondazioni (quali perdita di vite umane, contaminazione di sostanze inquinanti trasportate dall'acqua; danni agli edifici, alle installazioni

industriali, alle attività commerciali e pubbliche, e via discorrendo) non sono ancora stati valutati in termini della probabilità di occorrenza in seguito a inondazioni e frane a seguito del cambiamento climatico in Italia, né in larghissima parte, altrove nel mondo. Manca inoltre una proiezione dell'entità dei principali danni e della loro probabile importanza per la vulnerabilità dell'Italia al cambiamento climatico nei prossimi 100 anni.

Ciò porta naturalmente a chiedersi come la vulnerabilità futura dell'Italia ai rischi idrogeologici cambierà in risposta alle misure di adattamento, e quali saranno le implicazioni per la valutazione dei costi di adattamento. Inoltre, sono necessari degli approfondimenti per quel che riguarda i cambiamenti probabili nell'esposizione al rischio idrogeologico dovuto ai cambiamenti nell'urbanizzazione, nelle pratiche agricole e in generale nella pressione umana sul territorio che gli sviluppi socioeconomici futuri determineranno.

In termini di unità di costo degli strumenti e delle strutture di adattamento, le lacune principali sono quelle relative ai costi di adattamento privati, perché finora sono disponibili solo cifre parziali, come nel caso di Venezia. Un'indagine generale di questi costi dovrebbe in ogni caso essere affrontata con il sostegno delle associazioni di settore rilevanti. I costi degli interventi pubblici e delle compagnie assicurative dovrebbero essere più facilmente valutabili.

6.3 Zone costiere ed ambiente marino

Uno dei principali impatti diretti dei cambiamenti climatici sulle coste italiane riguarda sicuramente l'innalzamento del livello del mare, che porterà ad una perdita del suolo e di habitat naturali. Se da un alto esistono delle stime riguardo al livello di innalzamento atteso per l'Italia, queste devono essere corroborate e migliorate, ad integrare i significativi movimenti di subsidenza che interessando le nostre coste.

Inoltre, i modelli di equilibrio dinamici ed integrati presentano molte opportunità per migliorare la gestione delle zone costiere, soprattutto visti gli impatti attesi del cambiamento climatico. Si dovrebbero quindi intensificare gli sforzi per migliorare l'utilizzo di tali modelli per determinare gli investimenti da perseguire nelle zone costiere, partendo dall'approccio usato nel progetto PESETA.

Lo studio dei costi e benefici di diverse strategie di adattamento per le coste italiane deve procedere su base locale, partendo dalle aree depresse ritenute più a rischio. Se i casi di studio esistenti costituiscono un buon punto di partenza, notevoli miglioramenti sono necessari, soprattutto per quel che riguarda la stima degli impatti economici su settori specifici quali: il turismo – e a questo proposito da considerare non solo la perdita di aree turistiche, ma anche l'impatto negativo che l'innalzamento della temperatura media può avere sui flussi turistici; la biodiversità; i trasporti marittimi e fluviali; le risorse idriche.

6.4 Aree a rischio desertificazione

Per quel che riguarda la desertificazione, è importante, negli studi di valutazione e adattamento, considerare il fattore specifico che più contribuisce al rischio desertificazione: in Sardegna, ad esempio, gli incendi costituiscono la causa più importante dell'erosione del suolo (Aru, 1984). Un esempio di come si potrebbe valutare l'impatto del cambiamento climatico su questo specifico fattore è riportato nel Riquadro 8. D'altro canto, laddove la desertificazione è dovuta primariamente a pratiche agricole non sostenibili e carenza idrica, le analisi economiche dovrebbero concentrarsi sui costi d'impatto dello "status quo" e sulla valutazione di possibili misure di lotta al degrado del suolo, razionalizzazione e risparmio d'acqua ecc.

Esistono quindi almeno due importanti direzioni di ricerca futura per il calcolo del costo di inazione rispetto alla desertificazione. La prima è l'estensione di approcci esistenti alla valutazione di altri impatti diretti e degli impatti indiretti della desertificazione, tenendo conto quindi dei costi esterni e dei servizi ambientali offerti. La seconda consiste nell'affinamento di questi modelli attraverso la loro integrazione con i metodi di analisi utilizzati per la stima dei costi di inazione al cambiamento

climatico, iniziando dall'incorporazione di scenari climatici, sociali, ed economici futuri, in direzione di un approccio dinamico integrato.

Con riferimento alla situazione italiana sarebbe in particolare opportuno:

- identificare il contesto istituzionale e le competenze specifiche per la lotta alla desertificazione;
- definire un menu di strategie di riferimento con pacchetti di misure rispetto a specifici insiemi di obiettivi, e di fenomeni, fornendo quindi soluzioni per un approccio integrato e mirato alla lotta alla desertificazione;
- integrare gli studi sulla vulnerabilità del territorio in senso fisico con un concetto di vulnerabilità che comprenda anche la sfera sociale ed economica;
- integrare gli studi sulla vulnerabilità con gli scenari esistenti sui possibili effetti dei cambiamenti climatici nelle diverse regioni del Paese;
- effettuare un downscaling a scala locale degli scenari e integrarne gli effetti in termini di variazione di pressioni sulle determinanti della desertificazione alla scala micro;
- contribuire alla raccolta di dati sui costi ed efficacia di diverse misure di lotta alla desertificazione, che sono difficilmente reperibili in letteratura;
- sviluppare casi di studio locali sulle possibili strategie di adattamento confrontando diverse tecniche di Analisi Costi-Benefici, Costi-Efficacia, e Multicriteriale;
- realizzare studi pilota di applicazione delle misure, con lo scopo di introdurre nella gestione del problema desertificazione un approccio di tipo adattativo, ovvero considerando di volta in volta opzioni alternative, verificandone i risultati e migliorando via via l'efficacia per successive approssimazioni.

Riquadro 8: Proposta di valutazione economica degli impatti degli incendi sul degrado del suolo in Sardegna, inclusi gli effetti dei cambiamenti climatici

In Sardegna gli incendi costituiscono la causa più importante dell'erosione del suolo e i cambiamenti climatici concorreranno ad aumentare il numero di incendi. Di conseguenza, in Sardegna si potrebbe arrivare ad una stima approssimativa del costo dell'erosione del suolo legata agli incendi e anche stimare di quanto i cambiamenti climatici concorrerebbero ad aumentare questo costo. Questa analisi darebbe un'informazione preziosa per il finanziamento di adeguate misure di prevenzione e lotta agli incendi, che si possono considerare, almeno in parte, costi di adattamento ai cambiamenti climatici.

Un tale studio potrebbe beneficiare dei risultati di una serie di progetti finalizzati negli ultimi anni, tra cui il progetto EC WISE sugli impatti socio-economici degli eventi climatici estremi (Galeotti et al., 1999). Nell'ambito di questo progetto, è stata studiata l'influenza delle stagioni estive particolarmente calde sulla numerosità degli incendi in Italia, e sui costi di adattamento in termini di anticipo ed estensione del periodo operativo per la campagna anti-incendio nella stessa Regione.

Rispetto ai costi degli incendi, durante gli anni particolarmente caldi e secchi i costi sostenuti per riparare i danni sono stati molto più alti rispetto agli anni con temperature più normali. Questi costi di recupero potrebbero essere considerati una stima approssimativa dei costi di inazione, o meglio una stima di danno residuale a fronte di adattamento insufficiente. Si tratta comunque di stime in difetto in quanto considerano solo quella parte di danno risanabile con interventi riparativi, ma escludono tutti quegli impatti, compreso il degrado del suolo e la perdita parziale di flora e fauna, che non sono normalmente oggetto di recupero. A titolo esemplificativo, nel 1985 si sono spesi 103,5 miliardi di vecchie Lire ai prezzi correnti¹³, rispetto all'anno precedente (un anno "normale") in cui si spesero 28.2 miliardi. Nel 1994, anno caratterizzato da

¹³ Prezzi correnti nel 1999, anno di pubblicazione dello studio.

temperature ben al di sopra della media, la spesa fu di 85,9 miliardi di Lire, un aumento del 26,3% rispetto ai costi sostenuti nell'anno precedente.

6.5 Impatti macroeconomici

L'analisi degli impatti attraverso i modelli top-down, come quello illustrato nella sezione 5, ha un ruolo fondamentale nello studio dei cambiamenti climatici ma, nonostante il recente progresso nelle tecniche e metodologie a disposizione, diversi problemi permangono.

Innanzitutto, in quanto esercizio di sintesi, che riporta ad un quadro macroeconomico i diversi impatti settoriali, l'approccio modellistico soffre dei problemi e delle limitazioni dei metodi riferiti agli studi di settore.

Su un piano più propriamente modellistico, sarebbe utile cercare di sviluppare delle metodologie per gli studi microsettoriali, che possano produrre informazioni utili ed utilizzabili in un modello CGE dell'economia mondiale. Sarebbe inoltre utile approfondire tecniche di contabilità nazionali che considerino anche i fattori che possono contribuire al benessere, ma che non sono valutabili dai mercati, come il paesaggio o il valore di esistenza di specie animali in pericolo di estinzione. A questi casi vanno aggiunti quelli delle risorse che sarebbero suscettibili di valutazione di mercato, ma che, per ragioni varie, possiedono mercati parziali o imperfetti.

Un'altra direzione di ricerca per il miglioramento dei modelli CGE riguarda il livello di dettaglio che può essere usato per specificare i diversi settori rappresentati. Ad esempio, sebbene in alcuni modelli CGE sia enucleato un settore "Acqua", questo tiene conto solo dei servizi di distribuzione (acquedotti, ecc.). Non tiene conto di servizi di irrigazione, che spesso non sono pagati o sono pagati in misura irrisoria, né dell'acqua piovana, sebbene si tratti di un fattore fondamentale in agricoltura, suscettibile di variare in relazione al cambiamento climatico.

Se è possibile, ed anche relativamente facile, simulare in un modello CGE le conseguenze economiche di eventi climatici estremi, non è scontato come si debba interpretare e modellare un aumento generalizzato del rischio, e questo è un altro aspetto di fondamentale importanza per l'utilizzo dei CGE nello studio degli impatti macroeconomici dei cambiamenti climatici. Calzadilla et al. (2007) provano a valutare le conseguenze in termini di variazione del risparmio precauzionale, rilevando come la maggior esposizione ad eventi estremi aumenti la volatilità dei sistemi economici, con possibili ricadute sul flusso degli investimenti.

Infine, l'utilizzo di modelli economici dinamici in campo ambientale è allo stadio pionieristico. Con particolare riferimento al cambiamento climatico, poi, si presenta anche l'enorme difficoltà di rendere compatibili modelli con orizzonti temporali assai diversi: raramente i modelli CGE dinamici considerano periodi futuri superiori a dieci anni dal tempo presente, mentre i modelli climatici tipicamente considerano orizzonti di cento anni ed anche più. Fornire una stima realistica della struttura dell'economia mondiale su periodi così distanti supera le attuali capacità della comunità scientifica.

Riquadro 9: Suggerimenti di policy per le misure di adattamento

1. La ricerca sugli impatti e l'adattamento deve essere sostenuta e divulgata attraverso presentazioni sintetiche indirizzate anche al grande pubblico.
2. Gli scenari climatici devono essere costantemente aggiornati e diffusi largamente sotto forme facilmente capibili dal grande pubblico.
3. Importanti progressi rimangono da fare per la valutazione sistematica dei danni associati agli eventi estremi, in funzione dell'incertezza, delle sfide locali e della vulnerabilità.
4. Lo sviluppo di metodologie specifiche, soprattutto per quanto riguarda la valutazioni dei costi degli impatti e dell'adattamento deve essere intrapresa.
5. È necessario a questo scopo sviluppare delle banche dati per facilitare l'accesso alle informazioni raccolte, anche per favorire la convergenza delle diverse competenze.
6. È essenziale sviluppare uno sforzo importante per la formazione e per la creazione di posti di lavoro nel campo del monitoraggio.
7. Occorre definire e aggiornare sistematicamente una serie di indicatori sul cambiamento climatico, sulle sue conseguenze e sull'adattamento per permettere un seguito preciso delle evoluzioni e per supportare le prese di decisioni.
8. Gli scambi di informazioni tra i diversi decisori interessati dai cambiamenti climatici devono essere intensificati: stato, amministrazioni locali e professionisti dei diversi settori.
9. È necessario mettere a disposizione dei decisori locali le informazioni degli esperti sui scenari locali, gli impatti e i loro costi le vulnerabilità etc., in forma intelligibile, o facilitandone l'estrazione dalla banche dati.
10. Uno studio delle modalità di finanziamento dell'adattamento appare della più grande importanza. Questo necessita tuttavia un preliminare studio approfondito dei veri costi dell'adattamento.
11. Si impone una più profonda collaborazione tra i diversi istituti di ricerca nazionali e internazionali.
12. Occorre integrarsi nei meccanismi europei già avviati e promuovere la partecipazione di esperti italiani ai lavori dell'IPCC.
13. Occorre integrare la "nuova questiona climatica" nei piani di bacino.

Adattato da: *Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique* a cura dell'ONERC (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique, 2006)

7. Riferimenti bibliografici

- ABI - Association of British Insurers (2005), *Financial Risks of Climate Change –Summary*, June 2005, Londra: Association of British Insurers.
http://www.abi.org.uk/Display/File/Child/552/Financial_Risks_of_Climate_Change.pdf
- Alberini, A., Chiabai A., Nocella G. (2006), *Valuing the Mortality Effects of Heat Waves*, In Bettina Menne and Kristie L. Ebi (eds.), *Climate Change Adaptation Strategies for Europe*, WHO, Springer.
- Alberini, A., Chiabai, A. (2007), *Quali sono i costi ed i benefici dell'adattamento rispetto ai rischi per la salute dell'uomo dovuti ai cambiamenti climatici ?*, Report prepared for the APAT Workshop on “Cambiamenti climatici ed eventi estremi: rischi per la salute in Italia”, Roma, 25 giugno 2007.
- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Tank, A. M. G. K., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Kumar, K. R., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., Vazquez-Aguirre, J. L. (2006), *Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation*. *Journal of Geophysical Research*, 111, 1–22.
- Antonioli, F. (2003), *Vulnerabilità delle coste italiane: Rischio di allagamento da parte del mare. La Risposta al Cambiamento Climatico in Italia. Vulnerabilità climatica, Valutazioni socio-economiche delle strategie di adattamento. Misure di mitigazione forestale*, ENEA - FEEM: 19.
- APAT (2006), *La vulnerabilità alla desertificazione in Italia: raccolta, analisi, confronto e verifica delle procedure cartografiche di mappatura e degli indicatori a scala nazionale e locale, Manuali e linee guida*.
- Atlante Nazionale delle aree a rischio di desertificazione (In corso di Stampa); CRA - Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Istituto sperimentale per lo studio e la difesa del suolo, Centro nazionale di cartografia pedologica, Ministero per le politiche agricole e forestali; INEA - Istituto Nazionale di Economia Agraria;*
http://www.cnlsd.it/documenti/Atlante_desertificazione.pdf
- Aru, A. (1984), *Aspects of desertification in Sardinia*. In: R. Fantechi and N.S. Margaritis. (Eds.), *Desertification in Europe*.
- Badeck, F.-W., Bondeau, A., Bottcher, K., Doktor, D., Lucht, W., Schaber J., Sitch S. (2004), *Responses of spring phenology to climate change*, *New Phytol.*, 162, 295-309
- Bello, G., Casavola, N., Rizzi, E. (2004), *Aliens and visitors in the Southern Adriatic Sea: effects of tropicalisation*. *Rapport du 37e Congres de la Commission Internationale pour l' Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée CIESM Congress Proceedings*, Monaco: CIESM.
- Beniston, M. (2003), *Climatic change in mountain regions: A review of possible impacts*, *Climatic Change*, 59, 5–31.
- Beniston, M., Tol, R. S. J., Delecolle, R., Hoermann, G., Iglesias, A., Innes, J., McMichael, A., Martens, W. J. M., Nemesova, I., Nicholls, R. J., Toth, F. L. (1998), *Europe, in The Regional Impacts of Climate Change -- An Assessment of Vulnerability, A Special Report of IPCC Working Group II*, R. T. Watson, M. C. Zinyowera, & R. H. Moss, eds. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 149-185.
- Berritella, M., Bigano, A., Roson, R., Tol, R.S.J. (2006), *A General Equilibrium Analysis of Climate Change Impacts on Tourism*, *Tourism Management*, vol.25(5), 913-924.
- Bigano, A., Bosello F. (2007), *Impacts of Climate Change on Tourism in the Italian Alps: An Economic Assessment*, report for the ClimChalp Project.

- Bigano, A., Bosello, F., Marano, G. (2006), Energy Demand and Temperature: a Dynamic Panel Analysis, Fondazione ENI Enrico Mattei Working Paper 112.06, Milan, Italy.
- Bigano, A., Hamilton, J.M., Tol, R.S.J. (2005a), The Impact of Climate Change on Domestic and International Tourism: A Simulation Study, FNU-58, Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science, Hamburg, Germany.
- Bigano, A., Hamilton, J. M., Lau, M., Tol, R.S.J., Zhou, Y. (2005b), A Global Database of Domestic and International Tourist Numbers at National and Subnational Level. Fondazione Eni Enrico Mattei Working Paper 3.05, Milan, Italy.
- Bigano, A., Pauli, F. (2007), Dimensioni socio-economiche, costi dell'inazione e strategie di adattamento per l'impatto del cambiamento climatico sul sistema idrogeologico italiano, Report preparato per il Workshop APAT on "Cambiamenti climatici e dissesto idrogeologico: scenari futuri per un programma nazionale di adattamento", Napoli, 9-10 luglio 2007.
- Bijlsma, L., Ehler, C. N., Klein, R. J. T., Kulshrestha, S. M., McLean, R. F., Mimura, N., Nicholls, R. J., Nurse, L. A., Perez Nieto, H., Stakhiv, E. Z., Turner, R. K., & Warrick, R. A. (1996), Coastal Zones and Small Island, In *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses -- Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1 edn, R. T. Watson, M. C. Zinyowera, & R. H. Moss, eds. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 289-324.
- Bojo, J. (1996), The costs of land degradation in Sub-Saharan Africa, *Ecological Economics*, 16, 161–173.
- Bosello, F., Marazzi, L., Nunes, P. A. L. D. (2007a), Le Alpi italiane e il cambiamento climatico: elementi di vulnerabilità ambientale ed economica, e possibili strategie di adattamento, Report preparato per il Workshop APAT "Cambiamenti climatici e ambienti nivo-glaciali: scenari e prospettive di adattamento", Saint-Vincent, 2-3 luglio 2007.
- Bosello, F., Kuik, O., Tol, R.S.J., Watkiss, P. (2007b), Costs of Adaptation to climate change: a review of assessment studies with a focus on methodologies used, EEA report, 6th Specific Agreement No 3602/B2005.EEA under the Framework Contract No. EEA/AIR/04/004
- Bosello, F., Parrado, R. Roson, R. (2007c), Economic Impacts of Sea Level Rise: A Computable General Equilibrium Analysis. Report to the Project PESETA Projections of economic impacts of climate change in sectors of Europe based on bottom-up analysis. Fondazione Eni Enrico Mattei.
- Bosello, F., Roson, R., Tol, R.S.J. (2006), Economy-Wide Estimates of the Implications of Climate Change: Human Health, *Ecological Economics*, 58(3), 579-591.
- Breil, M., Catenacci, M., Travisi, C. (2007), Impatti del cambiamento climatico sulle zone costiere: Quantificazione economica di impatti e di misure di adattamento – sintesi di risultati e indicazioni metodologiche per la ricerca futura, Report preparato per il Workshop APAT "Cambiamenti climatici e ambiente marino-costiero: scenari futuri per un programma nazionale di adattamento", Palermo, 27-28 giugno 2007.
- Brooks, N., Nicholls, R., Hall, J. (2006), Sea Level Rise: Coastal Impacts and Responses. Commissioned Expert's Study for German Advisory Council on Global Change (WBGU): Schubert, R., Schellnhuber, H-J., Buchmann, N., Epiney, A., Griebshammer, R., Kulessa, M., Messner, D., Rahmstorf, S. and Schmid, J. *The Future Oceans - Warming Up, Rising High, Turning Sour*. WBGU, Berlin, 2006, 110 pages.
- Burniaux J-M., Truong, T.P. (2002), GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model, GTAP Technical Paper n.16 (www.gtap.org).
- Busuioc, A. (2001), Large-Scale Mechanisms influencing the Winter Romanian Climate Variability. Detecting and Modelling Regional Climate Change. M. Brunet India and D. Lopez Bonillo. Berlin,

Springer: 333 - 344.

- Calanca, P.L., Roesch, A., Jasper, K., Wild, M. (2006) Global warming and the summertime evapotranspiration regime of the Alpine region. *Clim Change*, 79.
- Calzadilla, A., Pauli, F., Roson, R., (2007) Climate Change and Extreme Events: an Assessment of Economic Implications, *International Journal of Ecological Economics and Statistics*, 7(1), 5-28.
- Chiabai, A., Nunes, P. A. L. (2006), Exploring the use of alternative econometric model specifications so as to assess the economic value of high water events in the city of Venice, Italy. Mimeo, FEEM.
- Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Oge, J., et al. (2005), Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003, *Nature*, 437(7058), 529-534.
- CIPRA (2004), Innevamento artificiale nelle Alpi, alpMedia approfondimenti, dicembre 2004, a cura di Feliz Hahn, Commissione Internazionale per la Protezione delle Alpi.
- Convey, F.J., Tutu, K.A. (1992), Evaluating the costs of environmental degradation in Ghana. Prepared for the Environmental Protection Council.
- Corpo Forestale dello Stato (2007), Foreste, cambiamenti climatici e biodiversità, Disponibile da: [//www2.corpoforestale.it/web/guest/serviziattivita/controlloecosistemiforestali/iniziativenazionali/foreste](http://www2.corpoforestale.it/web/guest/serviziattivita/controlloecosistemiforestali/iniziativenazionali/foreste)
- Darwin, R. F., Tol, R. S. J. (2001), Estimates of the Economic Effects of Sea Level Rise, *Environmental and Resource Economics* 19(2), 113-129
- Diao, X., Sarpong D. B. (2007), Cost Implications of Agricultural Land Degradation in Ghana. An Economywide, Multimarket Model Assessment. IFPRI Discussion Paper 00698.
- Diaz, H. F., Grosjean M., Graumlich, L., (2003), Climate variability and change in high elevation regions: past, present and future. *Climatic Change*, 59, 1-4.
- Drechsel, P., Gyiele, L.A. (1999), The Economic Assessment of Soil Nutrient Depletion. Analytical Issues Framework Development, *Issues in Sustainable Land Management*, No. 7, IBSRAM, Bangkok.
- Dregne, H., Nan-Ting Chou (1992), Global Desertification Dimensions and Costs In H. Dregne (ed.) *Degradation and Restoration of Arid Lands*, Texas Tech University, Lubbock, 249-282.
- Ebi, K. L., Teisberg, T. J., Kalkstein, L. S., Robinson, L., Weiher, R. F. (2004), Heat Watch/Warning Systems Save Lives: Estimated Cost and Benefits for Philadelphia 1995-98, *Bulletin of the American Meteorological Society*, August, 1-7.
- EEA (2004), Impacts of Europe's Changing Climate. An Indicator-Based Assessment. EEA Report No 2/2004, European Environment Agency, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- EEA (2005), Vulnerability and adaptation to climate change in Europe, EEA Technical Report No. 7/2005, European Environmental Agency, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- EEA (2006), EEA's core set of indicators, http://ims.eionet.europa.eu/IMS/ISpecs/ISpecification20041006175027/IAssessment1164879362509/view_content.
- EEA (2007), Climate Change and Water Adaptation Issues, EEA Technical report No 2/2007, European Environmental Agency, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- EEA dataservice (2007), Biogeographical regions, Europe 2001, On line documentation available at:

[http://dataservice.eea.europa.eu / atlas / viewdata / viewpub.asp?id=155](http://dataservice.eea.europa.eu/atlas/viewdata/viewpub.asp?id=155)

- Egli, M., Hitz, C., Fitze, P., Mirabella A. (2004), Experimental determination of climate change effects on above ground and below-ground organic matter in alpine grasslands by translocation of soil cores, *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 167, 457-470.
- ENEA (2007), ENEA per lo Studio dei Cambiamenti Climatici e dei loro Effetti. Workshop ENEA per lo Studio dei Cambiamenti Climatici e dei loro Effetti, Roma.
- ENEA, Ministero dell'Ambiente (2001), La Risposta al Cambiamento Climatico in Italia: Vulnerabilità climatica, Valutazioni socio-economiche delle strategie di adattamento, Misure di mitigazione forestale, Roma.
- EURAC (2007), Impacts of climate change on winter tourism in the Italian Alps, Report for the ClimChalp Project.
- Evans, E. P., Ashley, R., et al. (2004), Foresight Flood and Coastal Defence Project. Scientific Summary: Volume 2, Managing future risks. London, Office of Science and Technology.
- Fankhauser, S. (1995), Protection versus retreat: the economic costs of sea-level rise. *Environmental Planning A* 27.
- Fankhauser, S., Tol, R. S. J., et al. (1998), Extensions and alternatives to climate change impact valuation: on the critique of IPCC Working Group III's impact estimates, *Environment and Development Economics*, 3(1).
- Ferrara, V., Farruggia, A. (2007), *Clima: istruzioni per l'uso. I fenomeni, gli effetti, le strategie*, Edizioni Ambiente, Isola del Liri (Fr).
- Föhn, P. (1990), In: *Schnee, Eis und Wasser der Alpen in einer wärmeren Atmosphäre.*, Internationale Fachtagung, Mitteilungen VAW ETH Zurich No. 108, 33-48.
- Frei, C.; Schöl., R.; Fukutome, S.; Schmidli, J. and Vidale, P. L. (2006), Future change of precipitation extremes in Europe: an intercomparison of scenarios from regional climate models. *Journal of Geophysical Research*, 111,
- Gajic-Capka, M. (2004), Changes in snow parameters in Croatian Highland, NATO Publication.
- Galeotti, M., Gorla, A., Spantidaki, E., (1999), EC WISE Project Report
- Galeotti, M., Gorla, A., Spantidaki, E., Mombrini, P. (2004)., *Weather Impacts on Natural, Social and Economic Systems (WISE) - Part I: Sectoral Analysis of Climate Impacts in Italy*, Fondazione ENI Enrico Mattei Working Paper 31.04, Milan, Italy.
- Gambarelli, G., Giupponi, C., Gorla, A. (2007), *La desertificazione, i costi dell'inazione e la valutazione delle opzioni di adattamento al cambiamento climatico*, Report prepared for the APAT Workshop on "Le variazioni climatiche e i processi di desertificazione: verso piani di monitoraggio e strategie di riduzione della vulnerabilità e di adattamento", Alghero, 21-22 giugno 2007.
- Gambarelli, G. Gorla A. (2004), *Economic Evaluation of Climate Change Impacts and Adaptation in* Fondazione Eni Enrico Mattei Working Paper 103.04. Milan, Italy.
- Giannakopoulos, C., Psiloglou B.E. (2006), Trends in energy load demand for Athens, Greece: weather and non-weather related factors. *Clim. Res.*, 13, 97-108.
- Giorgi, F., X. Bi, et al. (2004), Mean interannual and trends in a regional climate change experiment over Europe. II: Climate Change scenarios (2071-2100). *Climate Dynamics* 23.
- Giupponi, C., Schechter, M. (2003), *Climate change in the Mediterranean. Socio-economic perspectives of impacts, vulnerability and adaptation*. E. Elgar Publisher, Cheltenham, UK.
- Greenpeace International (1997), *Climate Change in the Mediterranean Region*, report prepared by J.

Karas.

- Guedes Soares, C.G., Albiach, J.C.C., et al. (2002), A 40 years hindcast of wind, sea level and waves in European waters. Proceedings of the 21st International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Oslo, Norway.
- Guisan, A., Theurillat J.-P., (2000), Assessing alpine plant vulnerability to climate change, a modeling perspective, *Int. Ass.*, 1, 307-320.
- Guthler, A. (2002), Uso e Copertura del Territorio, In *Secondo Rapporto sullo stato delle Alpi*, CIPRA Italia (ed.), Centro di Documentazione Alpina (pub.), Torino.
- Haberl, H., Adensam, H. Kloud, V., (2002), Dati statistici sull'energia, In *Secondo Rapporto sullo stato delle Alpi*, CIPRA Italia (ed.), Centro di Documentazione Alpina (pub.), Torino.
- Haeberli, W., Beniston, M., (1998), Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps, *Ambio*, 27, 258-265.
- Haeberli, W., Burn, C. R. (2002), Natural Hazards in Forests: Glacier and Permafrost Effects as Related to Climate Change, Environmental change and geomorphic Hazards in Forest, IUFRO Research Series, R. C. Slide, Ed., CABI Publishing, Wallingford/New York, 167–202.
- Haeberli, W., Hoelzle M. (1995), Application of inventory data for estimating characteristics of and regional climate-change effects on mountain glaciers: a pilot study with the European Alps, *Annals of Glaciology*, 21, 206-212.
- Hamilton, J. M., Maddison, D.J., et al. (2005), Climate change and international tourism: a simulation study. *Global Environmental Change* 15:
- Hanson, C. E., Palutikof, J. P., et al. (2006), Bridging the gap between science and the stakeholder: The case of climate change research. *Climate Research* 13:
- Hantel, M., Ehrendorfer, M. and Haslinger, A. (2000), Climate sensitivity of snow cover duration in Austria, *International Journal of Climatology*, 20, 615-640.
- Haylock, M., Goodess, C. (2004), Interannual variability of European extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation. *International Journal of Climatology*, 24, 759–776.
- Heimann D., Sept, V. (2000), Climate Change Estimates of Summer Temperature and Precipitation in the Alpine Region, *Theoretical and Applied Climatology*, 66 (1-2), 1-12.
- Hertel, T.W., (1996), *Global Trade Analysis: Modeling and applications*, Cambridge University Press.
- Hoozemans, F. M. J., Marchand, M., Pennekamp, H. A. (1993), *A Global Vulnerability Analysis: Vulnerability Assessment for Population, Coastal Wetlands and Rice Production at a Global Scale* (second, revised edition), Delft Hydraulics, Delft.
- IPCC (1991), *IPCC Common Methodology*. The Hague, The Netherlands.
- IPCC (2001), *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2007a), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2007b), *Climate Change 2007: The Physical Science*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2007c), *Climate change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II Contribution to the IPCC. IPCC Fourth Assessment Report.

- ISSER/DFID/WB (2005). Economic assessment of the sustainability of growth dependent upon renewable natural resources, Ghana.
- JRC (2005) Climate Change and the European Water Dimension. Ed. S. Eisenreich S. JRC. Available at http://ies.jrc.cec.eu.int/fileadmin/Documentation/Reports/Inland_and_Marine_Waters/Climate_Change_and_the_European_Water_Dimension_2005.pdf.
- Klein Tank, A.; Wijngaard, J., van Engelen, A. (2002), Climate in Europe. Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes. European Climate Assessment.
- Klein Tank, A. (2004), Changing Temperature and Precipitation Extremes in Europe's Climate of the 20th Century. PhD thesis, Utrecht University.
- Körner, C. (2003), Alpine Plant Life. 2nd Ed., Springer Verlag, Heidelberg.
- Kovats, S (2003), cCASHh: Estimates of Temperature-related Mortality in Italy, Report prepared for cCASHh workpackage 8, London School of Hygiene and Tropical Medicine.
- Kovats, S. R., Ebi, K. L. (2006), Heatwaves and Public Health in Europe, *The European Journal of Public Health*, 16(6),592-9
- Kullman, L. (2002), Rapid recent range-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes, *J. Ecol.*, 90, 68-77.
- Kundzewicz, Z. W., Parry, M., et al. (2001), Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. J. J. McCarthy, O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken and K. S. White. Cambridge, Cambridge University Press, 641-692.
- Kurukulasulya P., Rosenthal, S. (2003), Climate Change and Agriculture. A review of Impact and Adaptation, The World Bank Environment Department, Climate Change Series, Paper n. 91
- Laternser, M., Schneebeli, M. (2003), Long-term snow climate trends of the Swiss Alps 1931-1999, *International Journal of Climatology*, 23,733-750.
- Maddison, D., Bigano, A. (2003), The Amenity Value of the Italian Climate, *Journal of Environmental Economics and Management*, 45, 319-332.
- Maddison, D. (2001), In search of warmer climates? The impact of climate change on flows of British tourists. *Clim. Change* 49.
- Maish, M. (2000), The long-term signal of climate change in the Swiss Alps: Glacier retreat since the end of the Little ice Age and future ice decay scenarios *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 23, 139–151.
- Martin, E., Etchevers, P. (2005), Impact of climatic change on snow cover and snow hydrology in the French Alps, In: *Global Change and Mountain Regions (A State of Knowledge Overview)*.
- Martin, E., Brun, E., Durand, Y. (1994), Sensitivity of the French Alps snow cover to the variation of climatic variables, *Annales Geophysicae*, 12, 469-477.
- Matallo, H. (2006), General approach to the costs of desertification. United Nations Convention to Combat desertification, Latin America and Caribbean Unit, Roma, 4-6 dicembre 2006.
- Matulla, C., et al. (2005), Outstanding past decadal-scale climate events in the Greater Alpine Region analysed by 250 years data and model run, GKSS-Forschungszentrum, Geesthacht.
- Meehl, G.A., Tebaldi, C. (2004), More intense, more frequent, and longer lasting heatwaves in the 21st century. *Science*, 305, 994–997.
- Michelozzi, P. et al. (2004), Impact of Heat Waves on Mortality-Rome, Italy, June-August 2003, *Morbidity and Mortality Weekly Report*, <http://www.medscape.com/viewarticle/479885>.

- Ministero dell' Ambiente (2002), Terza Comunicazione Nazionale dell'Italia alla Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici, Ministero dell'Ambiente e della tutela de Territorio.
- Moberg, A., Jones, P. D. (2005), Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and western Europe 1901–99. *International Journal of Climatology*, 25, 1149–1171.
- Moore, T. G. (1998), Health and Amenity Effects of Global Warming, *Economic Inquiry*, 471-488.
- Nicholls, R.J., Leatherman, S.P. (1995), Global Sea-level Rise, in *When Climate Changes: Potential Impact and Implications*, K. M. Strzepek & J. B. Smith, eds. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge.
- Nicholls, R. J. (2004), Coastal flooding and wetland loss in the 21st century: Changes under the SRES climate and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14
- Nicholls, R. J., Klein, R. J. T. (2003), Climate change and coastal management on Europe's Coast. EVA Working Paper No.3.
- Nicholls, R. J., Tol, R. (2006), Impacts and responses to sea-level rise: a global analysis of the SRES scenarios over the twenty-first century, *Philosophical Transactions of the Royal. Society A* 364.
- Nicholls, R. J., Leatherman, S. P., Dennis, K. C., Volonte, C. R. (1995), Impacts and Responses to Sea-Level Rise: Qualitative and Quantitative Assessments, *Journal of Coastal Research*, Special Issue 14, 26-43.
- Nunes, P. A. L. D., van den Bergh, J. C. J. M., et al. (2004), La valutazione della biodiversità attraverso indicatori economici ed ecologici di biodiversità. *Energia, Bellezza, Partecipazione: La Sfida della Sostenibilità. Valutazioni integrate tra conservazione e sviluppo*. L. Fusco Girard and P. Nijkamp. Milano, Franco Angeli, 214 – 251.
- Nunes, P. A. L., Chiabai, A. (2007), Valutazione economica degli impatti del cambiamento climatico nell'Alto Adriatico, report prepared for the National Conference on Climate Change, Rome, 12-13 September 2007.
- OcCC, (Organe consultatif sur les changements climatiques) (2003), *Extreme Events and Climate Change*, Bern, Switzerland.
- OECD (2007), *Climate Change in the European Alps: Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management*, Agrawala, S. (ed.), Paris, France.
- Paltrinieri, D. (2007) Ripascimenti dei litorali e valore economico delle spiagge: adattamento ai cambiamenti climatici e riqualificazione urbanistico - ambientale delle aree costiere Presentazione al Workshop “Cambiamenti climatici e rischio costiero” Palermo 27-28 giugno 2007.
- Perry, A. (2003), Impacts of Climate Change on Tourism in the Mediterranean: Adaptive Responses. *Climate Change in the Mediterranean. Socio-economic Perspectives of Impacts, Vulnerability and Adaptation*. C. Giupponi and M. Shechter. Cheltenham, Edward Elgar, 279 - 289.
- Pröbstl, U. (2006), Ecological improvement and sustainable development in European skiing resorts by adapting the EU-Eco-Audit. In: Schrenk, M. (2006), *Internationale Konferenz zu Stadtplanung und Regionalentwicklung in der Informationsgesellschaft*, 13.-16.2.2006, Vienna; Tagungsband, Eigenverlag des Vereins CORP, Wien, 187-193
- Räisänen, J., Hansson, U., et al. (2004), European climate in the late 21st century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios, *Climate Dynamics* 22.
- Reilly, J., Hohmann, N., Kane, S. (1994), Climate Change and agricultural trade: who benefits, who loses? *Global Environmental Change* 4(1), 24-36.
- Robinson, R. A., Learmonth, J. A., et al. (2005), *Climate Change and Migratory Species*. British Trust

- for Ornithology Research Report 414, DEFRA, UK.
- Rosenzweig, C., Parry, M. L. (1994), Impacts of climate change on world food supply. *Nature*, 367, 133-138.
- Roson, R. (2003), Modelling the Economic Impact of Climate Change, EEE working paper n.9, ICTP, 2003, and proceedings of the 2003 EcoMod Conference, Istanbul, July 2003
- Roson, R. (2007), Gli impatti macroeconomici del cambiamento climatico sui vari settori economici e sul commercio internazionale con un modello di equilibrio generale. Report prepared for the “Conferenza nazionale sui cambiamenti climatici 2007”, Roma, 12-13 Settembre 2007.
- Rubio, J. L. (1995), Desertification: evolution of a concept. In: *Desertification in a European context: Physical and socio-economic aspects*. European Commission, Brussels. 5-13.
- Sandvik, S.M., Heegaard, E., Elven, R., Vandvik, V. (2004), Responses of alpine snowbed vegetation to long-term experimental warming, *Ecoscience*, 11, 150-159.
- Schär, C., Vidale, P. L., et al. (2004), The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427.
- Schröter, D., Acosta-Michlik L, Arnell A.W., Araújo M.B., Badeck F., Bakker M. Bondeau A., Bugmann H., Carter T., de la Vega-Leinert A.C., et al. 2005. ATEAM Final Detailed report 2004, related to overall project duration, Potsdam Institute for Climate Impact Research, 139p, http://www.pik-potsdam.de/ateam/ateam_final_report_sections_5_to_6.pdf
- SEEG (2006), Harmful Algal Bloom Communities in Scottish Coastal Waters: Relationships to Fish Farming and Regional Comparisons - A Review. Scottish Executive, Paper 2006/3, SEEG (Scottish Executive Environment Group).
- SEPA (2005), Change Beneath the Surface, Monitor 19: An In-depth Look at Sweden's Marine Environment. Naturvårdsverket. Stockholm, SEPA (Swedish Environmental Protection Agency).
- Southworth, J., Pfeifer, R. A., Habeck, M., Randolph, J. C., Doering, O. C., Johnston, J. J. and Rao, D. G. (2002), Changes in soybean yields in the midwestern United States as a result of future changes in climate, climate variability, and CO₂ fertilization, *Climate Change* 53, 447–475.
- Stern, N. (2007), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press.
- Stott, P. A.; Stone, D. A., Allen, M. R. (2004), Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*, 432, 610–614.
- Stuczynski, T., Demidowicz, G., Deputat, T., Gorski, T., Krasowicz, S., Kus, J. (2000), Adaptation scenarios of agriculture in Poland to future climate changes. *Environ. Monit. Assess.*, 61, 133-144.
- Swiss Re (2001), Natural catastrophes and man-made disasters in 2000: fewer insured losses despite huge floods. *Sigma* n. 1/2001.
<http://www.swissre.com/INTERNET/pwswpspr.nsf/alldocbyidkeylu/SHOR-586JM8?OpenDocument>
- Swiss Re (2006), *Natural Catastrophes and Man Made Disasters*, Sigma Studies No 2/2006.
- TCI (2002), Turismo e montagna: un’analisi regionale, *La Rivista del Turismo*, 2/2002.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araujo, M.B., Sykes, M.T., Prentice, I.C. (2005), Climate change threats to plant diversity in Europe, *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 102, 8245-8250.
- Tibaldi (2007), La situazione climatica del Nord Italia e dell’Emilia Romagna, paper presented at the conference, Dal Globale al Locale, Piani d’Azione per il Clima, 10-11 May, 2007, Ferrara, Italy.
- Tol, R.S.J. (2002), Estimates of the Damage Costs of Climate Change - Part 1: Benchmark Estimates, *Environmental and Resource Economics*, 21(2), 47-73.

- UNEP (1992), *World Atlas of Desertification*. Edward Arnold. London
- Unioncamere (2006), *L'impatto Economico del Turismo in Italia*, a cura di Istituto Nazionale Ricerche Turistiche, Roma.
- Viles, H., Spencer, T. (1995), *Coastal Problems*. Edward Arnold, London.
- Vincent, C. (2002), Influence of climate change over the 20th Century on four French glacier mass balance, *J. Geophys. Res.*, 107.
- Vojtek, M., Faško, P., Šťastný, P. (2003) Some selected snow climate trends in Slovakia with respect to altitude. *Acta Meteorologica Universitatis Comenianae*, 32, 17–28.
- Walther, G.-R. (2004), Plants in a warmer world, *Perspective in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 6, 169-185.
- Warren, R.; Arnell, N.; Nicholls, R.; Levy, P. Price, J. (2006), *Understanding the regional impacts of climate change: Research report prepared for the Stern Review on the economics of climate change*. Tyndall Centre Working Paper 90, 223 pp.
http://www.tyndall.ac.uk/publications/working_papers/twp90.pdf.
- Wielke, L.-M., Haimberger, L. and Hantel, M. (2004), .Snow cover duration in Switzerland compared to Austria., *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 13, pp. 13-17.
- Wigley, T. (2005), The climate change commitment, *Science*, 307(5716), 1766-1769.
- Witmer, U. (1986), *Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneedaten in der Schweiz.*, *Geographica Bernensia* G25.
- WWF (2007), *Per un piano di adattamento al cambiamento climatico in Italia: Prime indicazioni*, WWF Italia.
- Young, A. (1999), Land degradation. In *Land Resources: Now and for the Future*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 101-133.
- Zanetti, G., Piacenza, M. D. Vannoni (2005), *Studio per la riorganizzazione degli impianti di risalita in Valle d'Aosta*, HERMES Documento di Ricerca, Marzo
- Zemp, M. et al. (2006), Alpine glaciers to disappear within decades?, *Geophysical Research Letters*, 33, L13504.

Appendice Metodologica

1. Il problema decisionale

Prima di presentare le problematiche relative alla valutazione degli impatti e delle politiche nel contesto dei cambiamenti climatici, è utile fornire una breve descrizione dei problemi decisionali in genere, e presentare un modello concettuale di riferimento che ben si presta al tipo di analisi di valutazione discusse in seguito.

Diversi elementi comuni si possono identificare nei problemi decisionali, riguardino essi il settore pubblico o privato, oppure scelte di politiche, strategie o progetti. Innanzitutto, vi è un decisore che deve affrontare un problema. Il decisore, sia esso un individuo od un ente, possiede la capacità di intervenire su diversi elementi che caratterizzano il problema, al fine di perseguire un obiettivo prefissato. A tale scopo il decisore deve come primo passo identificare dei criteri decisionali operativi, che faciliteranno sia l'identificazione delle diverse opzioni di intervento, che la loro eventuale valutazione.

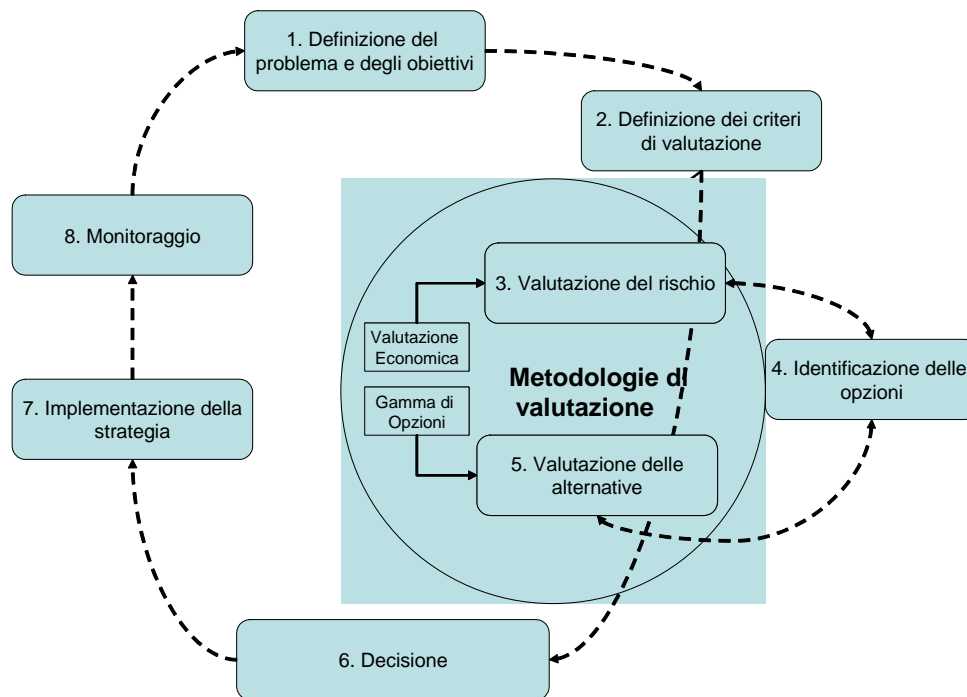


Figura 6: Il problema decisionale (modificato da Willows e Connell, 2003)

1.1 Scopo degli esercizi di valutazione

Due possono essere gli obiettivi degli esercizi di valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici e delle relative strategie di adattamento. Innanzitutto, il decisore può avere la necessità di quantificare, in maniera approssimativa ma solida, la portata degli impatti dei cambiamenti climatici, con la finalità di stabilirne la relativa importanza (fase 3 nella Figura 6). In secondo luogo, il decisore può voler stabilire i relativi costi e benefici di diverse strategie di adattamento a specifici impatti dei cambiamenti climatici (fase 5 nella Figura 6).

Indipendentemente dal contesto nel quale deve venire applicato, siano zone costiere, zone a rischio dissesto idrogeologico, zone a rischio deglaciazione, e anche della scala di indagine (nazionale, regionale o locale) l'approccio metodologico che consente di pervenire ad una quantificazione

economica degli impatti del cambiamento climatico segue alcune linee fondamentali comuni. Tre sono le fasi fondamentali per una strategia di valutazione economia – sia degli impatti dei cambiamenti climatici, sia dell’efficacia ed efficienza di diverse strategie di adattamento. Occorre:

- (i) delineare uno o più scenari di riferimento (*benchmark*) per le variabili di riferimento (ad esempio, il settore per il quale si vogliono determinare gli impatti dei cambiamenti climatici). Lo scenario *benchmark* servirà alla valutazione dei rischi relativi o delle diverse strategie di adattamento.
- (ii) definire uno o più scenari futuri di cambiamento climatico, con e senza politiche di adattamento, e le loro implicazioni economiche per le variabili di riferimento.
- (iii) confrontare i risultati tra il *benchmark* e gli scenari con cambiamenti climatici, per quantificare gli impatti economici dei cambiamenti climatici e/o delle strategie di adattamento sulle variabili di riferimento.

1.2 Definizione dello scenario di riferimento

Innanzitutto, è opportuno evidenziare come i cambiamenti climatici non siano l’unica forzante sui sistemi socio-economici, ma piuttosto rappresentino un elemento aggiuntivo di pressione che può contribuire ad aumentare la criticità o la vulnerabilità di tali sistemi.

Il primo, fondamentale, passo nella valutazione delle diverse strategie di adattamento ai cambiamenti climatici è la definizione dello scenario di riferimento (*benchmark*), che permetterà innanzitutto di valutare il rischio ed il costo dei cambiamenti climatici, e in secondo luogo l’efficacia ed efficienza delle diverse opzioni di adattamento.

Lo scenario di riferimento viene generalmente definito come la situazione che esisterebbe in assenza di cambiamenti climatici, per uno specifico contesto territoriale e temporale. I rischi legati ai cambiamenti climatici vengono quindi tradizionalmente stimati come la differenza tra lo scenario di riferimento senza i cambiamenti climatici, e lo scenario da valutare che include gli impatti dei cambiamenti climatici o le eventuali azioni di adattamento. Secondo Parry e Carter (1998), i principali scenari di riferimento che possono essere usati per valutare gli impatti dei cambiamenti climatici e le eventuali strategie di adattamento sono due – lo scenario fisso o lo scenario di proiezione futura.

Lo scenario fisso assume che la situazione attuale – in termini di clima, economia e società – continui invariata anche nel futuro. Sebbene spesso utilizzato in letteratura, questo tipo di *benchmark* non è realistico, in quanto non tiene in considerazione cambiamenti endogeni nel sistema – ed indipendenti dai cambiamenti climatici – quali, ad esempio, il progresso tecnologico, o sviluppi e cambiamenti economici e sociali. Questi vengono invece presi in considerazione in uno scenario di proiezione futura.

In entrambi i casi, va ancora una volta evidenziato che notevoli incertezze permangono nella scienza ed economia dei cambiamenti climatici. È quindi opportuno costruire un set di scenari di riferimento in assenza di cambiamento climatico che riflettano diverse ipotesi di futuro possibile. Oltre ad elementi socio-economici e ambientali, sarebbe auspicabile prendere in considerazione anche elementi istituzionali e di *policy* non legati al cambiamento climatico, come politiche di supporto all’agricoltura, di protezione dell’ambiente, di intervento contro il dissesto idrogeologico, di monitoraggio del rischio incendi etc.

1.3 Definizione degli scenari di cambiamento climatico

Il secondo fondamentale passaggio negli esercizi di valutazione è quello di stabilire uno o più scenari futuri che tengano in considerazione i cambiamenti attesi nel clima, e quindi i loro impatti

sulle variabili di riferimento. Come nel caso dello scenario di riferimento, e forse a maggior ragione, la costruzione di scenari futuri “con cambiamenti climatici” comporta necessariamente una forte incertezza riguardo ai cambiamenti da attendersi – su variabili climatiche, ma anche sui diversi impatti in specifici settori. È utile quindi sviluppare una serie di scenari e ipotesi riguardo al clima futuro.

Componente importante degli scenari sono le politiche per il clima. Queste possono essere di mitigazione o adattamento. Mentre le prime agiscono nel ridurre le cause del cambiamento climatico, le seconde intervengono riducendo i danni da questo provocati¹⁴. Per valutare l’opzione migliore è necessario allora confrontare un’ipotesi di non intervento con diverse opzioni di intervento alternative. Di ciascuna si dovrà valutare efficacia (capacità di raggiungere l’obiettivo prefissato), efficienza (capacità di minimizzazione dei costi), praticabilità (capacità di minimizzare il conflitto tra portatori di interessi diversi) e fattibilità (possibilità di realizzazione). La materia è dunque particolarmente complessa in quanto richiede sia valutazioni tecniche ed economiche che valutazioni di impatto sociale, culturale e in ultima istanza politico. Inoltre, le numerose interazioni che esistono tra risposte economiche, sociali e ambientali alle politiche implementate e tra le politiche stesse richiedono l’uso di un approccio sistemico, o integrato all’intervento caratterizzato dalla più alta multidisciplinarietà.

2. Valutazione economica degli impatti dei cambiamenti climatici e delle strategie di adattamento

2.1 Identificazione degli impatti

Prima di poter valutare la relativa importanza dei rischi dei cambiamenti climatici, o le diverse strategie di adattamento ai cambiamenti climatici stessi, è necessario identificare gli impatti specifici che si vogliono valutare, o ai quali ci si deve adattare, attribuendo loro un ordine di grandezza, in termini fisici.

Le linee guida del UKCIP (Metroeconomica, 2004) suggeriscono una metodologia per strutturare l’analisi economica degli impatti e delle misure di adattamento, che parte dalla definizione di matrici di impatto. Le matrici sono una rappresentazione chiara ed efficace della concatenazione causa-effetto conseguente ad un preciso cambiamento climatico e riportano, per ciascun settore, i diversi ordini di impatto, dal livello più generale al particolare. Partendo dai rischi principali ipotizzabili su scala regionale (come ad esempio l’aumento della frequenza di inondazioni), si definiscono le possibili conseguenze locali (come ad esempio la variazione dei flussi turistici in ciascuna località balneare). Le matrici, quindi, riassumono in modo chiaro e conciso tutti i principali impatti diretti associati ad una specifica anomalia climatica, i potenziali impatti indiretti, i principali settori economici colpiti (con i relativi impatti di settore), ed infine gli *stakeholder* coinvolti.

2.2 Valutazione ed importanza relativa dei rischi derivanti dai cambiamenti climatici

Il valore monetario dell’impatto dei cambiamenti climatici può essere stimato sulla base di una semplice relazione:

¹⁴ Ci si riferisce esplicitamente in questo caso all’adattamento pianificato, a quello vale a dire attuato da agenzie pubbliche o Pubbliche Amministrazioni, non all’adattamento autonomo che configura reazioni spontanee al cambiamento climatico, siano ambientali o socioeconomiche, che sono poste in essere indipendentemente dalla presenza di interventi pianificati.

$$[1] \quad VT = I * VU$$

Dove

VT è il valore economico totale dell'impatto (positivo o negativo), misurato in euro;

I è l'impatto stimato del cambiamento climatico (misurato in unità fisiche), e

VU è il valore economico di un'unità dell'impatto (€/unità).

L'equazione è rappresentata graficamente nella Figura 7, dove il valore monetario di un impatto specifico dei cambiamenti climatici per l'anno di riferimento è dato dalla distanza verticale tra la linea IF (Impatti Futuri del cambiamento climatico) e la linea R-P (scenario di Riferimento – Proiezione) o R-F (scenario di Riferimento Fisso).

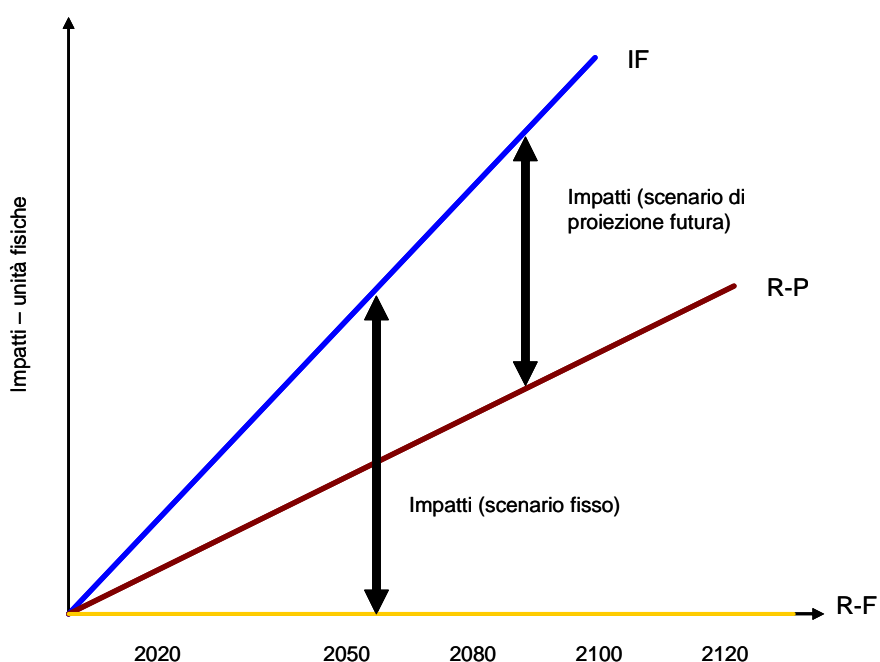


Figura 7: Lo scenario di riferimento nel caso dei cambiamenti climatici (adattato da Parry e Carter, 1998)

Vi sono diverse metodologie che possono essere utilizzate per stimare VU, e che verranno illustrate nei paragrafi seguenti.

2.2 Valutazione delle opzioni

Uno degli obiettivi fondamentali degli esercizi di valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici, così come dei costi e dell'efficacia di diverse strategie di adattamento o mitigazione, è quello di aiutare i decisori nella selezione della politica di gestione "migliore" – laddove i criteri che determinano la *performance* delle diverse opzioni di adattamento saranno stabiliti di volta in volta a seconda degli obiettivi del decisore (fase 1 in Figura 6).

La valutazione di politiche alternative si presenta quindi come un problema complesso che richiede la determinazione di diverse componenti: stima dell'efficacia, dell'efficienza, dei costi, degli impatti sulla distribuzione dei costi e dei benefici, ecc. La valutazione dell'efficacia delle strategie alternative è particolarmente importante nel caso dell'adattamento ai cambiamenti climatici, specialmente a livello locale.

Dato un obiettivo prefissato, la valutazione si focalizza generalmente sul rapporto fra l'efficacia stimata per ciascuna misura alternativa e i corrispondenti costi di attuazione. È quindi fondamentale identificare dei criteri di valutazione e i relativi indicatori che permettano di quantificare il grado di raggiungimento degli obiettivi prefissati. Indicazioni molto utili a questo fine sono fornite dal Manuale APAT 40/2006 (APAT, 2006) mentre in questo contesto risulta più utile evidenziare come indicatori di diverse sfere – economici, ambientali e sociali – possano essere integrati nella stessa struttura di valutazione.

Disporre di uno schema logico, ovvero di un modello concettuale, condiviso e efficacemente comunicabile non solo ai diversi esperti coinvolti in un piano di adattamento ai cambiamenti climatici, ma anche a una più ampia platea di portatori di interesse (ovvero *stakeholder*, nella terminologia anglosassone), costituisce una premessa essenziale per analizzare, confrontare e se possibile combinare fra loro i diversi approcci, punti di vista e interessi, nell'ambito di una valutazione integrata, nella quale le valutazioni prettamente economiche possano efficacemente integrarsi con le altre analisi disciplinari.

Lo schema DPSIR, che sta per *Driving Force – Pressure – State – Impact – Response*, si propone come efficace schema di formalizzazione dei nessi causali fra attività antropiche (determinanti e pressioni: D, P), stato dell'ambiente (S) e impatti (I) associati a D e P e risultanti dalla specifica sensibilità dell'ambiente locale. Tutte le informazioni raccolte per l'analisi e la valutazione, possono quindi essere convertite in indicatori appartenenti ad una delle quattro categorie ed essere efficacemente presentati ed elaborati. Nello schema proposto R, ovvero le risposte da mettersi in atto per la soluzione dei problemi, corrispondono ovviamente alle misure di adattamento al cambiamento climatico.

Lo schema DPSIR è facilmente integrabile in uno schema generale per la valutazione di politiche alternative, come mostra la Figura 8 (EEA, 1999, 2001; Povellato et al., 2007). Il grafico mostra chiaramente che le misure di adattamento andrebbero definite come risposta a dei bisogni (*needs*) specifici, che includono anche istanze che riguardano le sfere sociale, economica e ambientale. Avendo ben definito gli obiettivi (*objectives*) delle politiche, si pone generalmente il problema di mettere a disposizione risorse finanziarie e amministrative (*inputs*) sufficienti per ottenere gli effetti sperati in termini di adozione da parte dei settori interessati (*policy performance*), di effetti sui sistemi territoriali affetti da fenomeni in atto o potenziali causati dai cambiamenti climatici (*policy outcomes*) e più in generale di utilità sociale in senso più generale (*policy impacts*). Questo schema per l'identificazione e la valutazione di politiche alternative viene integrato con lo schema logico che sottende il modello DPSIR, che esplicita i nessi funzionali e causali fra le diverse componenti del sistema territoriale considerato.

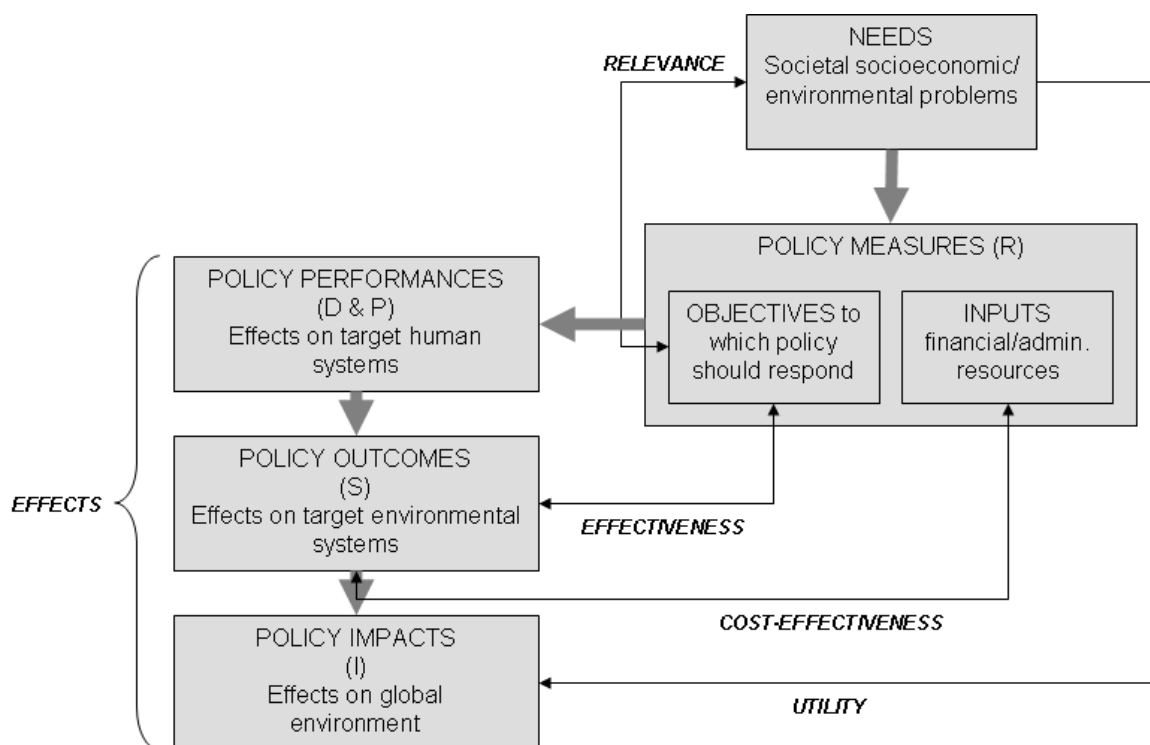


Figura 8: Integrazione fra uno schema logico generale per la valutazione delle politiche ed il modello DPSIR

Il benessere “con cambiamento climatico e politiche di intervento” è determinato da tre fattori: il costo delle politiche di mitigazione, quello delle politiche di adattamento e la loro efficacia che si concretizza nel danno da cambiamento climatico lasciato a residuo. Assumendo quindi che esistano delle strategie di adattamento che permettano di ridurre gli impatti negativi dei cambiamenti climatici – o di aumentarne gli effetti positivi – possiamo determinarne il valore lordo sulla base della seguente equazione:

$$[2] \quad BL = DD * VU$$

Dove

BL è il Beneficio Lordo della strategia di adattamento,

DD è la Diminuzione del Danno causato dal cambiamento climatico (in unità fisiche) e

VU è il Valore Unitario dell’impatto evitato.

Questa relazione è rappresentata anche nella Figura 9, dove il beneficio lordo equivale all’area compresa tra la linea IR¹⁵, Impatti Residui, e la linea IF, Impatti Futuri dei cambiamenti climatici.

¹⁵ La Figura 9 ipotizza che le politiche d’intervento siano efficaci e sostenibili economicamente e che quindi riescano a ridurre la perdita di benessere rispetto ad una situazione di *no policy*.

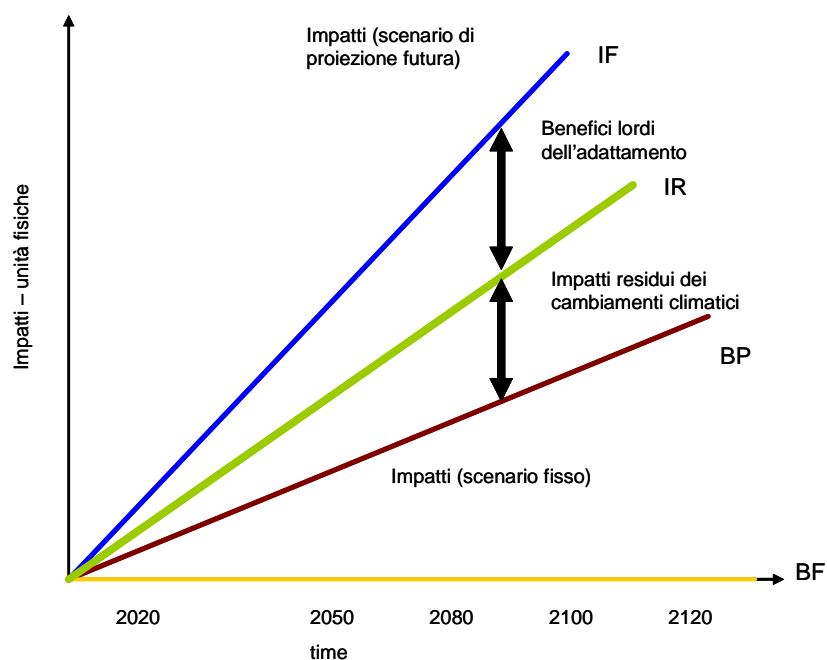


Figura 9: I benefici delle misure di adattamento

Anche in questo contesto, esistono diverse metodologie di valutazione che possono essere utilizzate per stimare i benefici (lordi e netti) di diverse strategie di adattamento. Le metodologie saranno discusse nei paragrafi seguenti. È importante notare come nel caso precedente lo scenario di riferimento fosse uno scenario senza i cambiamenti climatici, mentre in questo caso lo scenario di riferimento è quello con i cambiamenti climatici ed in assenza di strategie di adattamento, come mostra la Tabella 10.

Tabella 10: Relazione tra scenari di riferimento e obiettivi dell’esercizio di valutazione

Obiettivi della valutazione	Scenario di riferimento
Valutazione e importanza relativa dei rischi	Scenario “senza cambiamenti climatici”
Valutazione delle strategie di adattamento	Scenario “con cambiamenti climatici”

3. Metodologie per la valutazione economica degli impatti e delle diverse strategie di adattamento

L’obiettivo principale delle metodologie di valutazione è quello di fornire indicazioni su come degli impatti specifici di scenari futuri, corrispondenti a specifiche combinazioni di opzioni (strategie di adattamento e scenari di cambiamento climatico), possono essere quantificati in termini monetari. Ridurre gli impatti ad una dimensione unica – quella monetaria – può essere utile perché semplifica l’identificazione della risposta “ottimale” ai cambiamenti climatici – in questo caso, infatti, il decisore può limitarsi a comparare i benefici netti delle diverse opzioni analizzate – ovvero la differenza tra i costi di implementazione di tali opzioni, e i benefici economici che ne derivano (come il valore degli impatti evitati grazie a ciascuna specifica strategia di adattamento). Purtroppo, non è sempre possibile ridurre tutti gli impatti dei cambiamenti climatici ad un valore monetario. In questo caso, la selezione di diverse politiche alternative sulla sola base di una comparazione diretta dei rispettivi benefici netti può essere fuorviante.

Le metodologie di valutazione economica possono essere suddivise in due categorie generiche. Da un lato, ci sono gli approcci *bottom-up* (detti anche di equilibrio parziale): queste tecniche vengono utilizzate per stimare il valore economico degli impatti dei cambiamenti climatici su singoli settori,

o per singoli impatti, indipendentemente dal sistema di cui fanno parte. Metodi che invece si basano su modelli di equilibrio generale (o *top-down*) tengono conto di tutti gli effetti a catena che uno specifico impatto ha su altre variabili o settori economici. Per entrambe le categorie, le principali tecniche di valutazione sono discusse nelle sezioni che seguono. La scelta tra un approccio di equilibrio parziale e generale è strettamente determinata dai dati disponibili, dalla dimensione e dallo scopo dell'analisi. Ad esempio, un'analisi circoscritta ad una realtà locale ristretta o ad un fenomeno limitato (es. una frana) deve/può essere ragionevolmente trattata con strumenti di equilibrio parziale, mentre l'analisi di un fenomeno importante come il turismo invece richiede un approccio più ampio.

Tuttavia non si deve necessariamente considerare analisi parziale e generale come contrapposte. Se da un lato a volte non è possibile o addirittura opportuno estendere un'analisi dal parziale al generale, dall'altro ogni analisi di equilibrio economico generale vede il suo primo passo necessario nella quantificazione degli effetti settoriali.

Le caratteristiche principali di alcune tecniche di valutazione sono riassunte nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**; per un'estesa discussione di queste diverse tecniche di valutazione si veda Freeman (1993) e Markandya et al. (2002).

Tabella 11: Comparazione delle principali tecniche di valutazione

Approccio	Descrizione breve	Vantaggi	Svantaggi
<i>Market price methods</i>	Utilizza i prezzi di mercato per beni e servizi scambiati sul mercato.	I prezzi di mercato riflettono le DP private. I dati sono relativamente facili da ottenere.	Le imperfezioni del mercato possono distorcere i prezzi. Non considera il surplus dei consumatori e dei produttori.
<i>Shadow price methods</i>	Utilizza i prezzi di mercato aggiustati per le distorsioni.	Riflette il vero valore economico o il costo di opportunità del bene scambiato.	Calcolare i <i>shadow-price</i> può essere difficile. Prezzi apparentemente artificiali possono non essere accettati dai decisori politici. Non considera il surplus dei consumatori e dei produttori.
<i>Factor of production approach</i>	Stima l'impatto di servizi non scambiati sul mercato come un fattore di produzione per un bene scambiato.	Largamente usato per stimare cambiamenti nella produttività e funzioni di dose-riposta.	Può essere usata solo per servizi ambientali ed ecologici che siano un input diretto nella produzione di un bene scambiato sul mercato. Necessita della costruzione di accurate funzioni di dose-riposta.
<i>Avertive expenditure</i>	Utilizza i costi privati incorsi per evitare danni o degradazione di servizi ambientali ed ecologici.	Utile per stimare i benefici da usi indiretti utilizzando tecnologie di prevenzione come <i>proxy</i> .	Potrebbe portare a false stime della DP.
<i>Restoration/replacement cost</i>	Utilizza i costi per la restaurazione di servizi ambientali ed ecologici.	Potenzialmente utile per specifici servizi ambientali ed ecologici.	Non appropriato per cambiamenti irreversibili o per servizi ambientali ed ecologici non sostituibili.
<i>Hedonic pricing</i>	Stima il valore dei servizi ambientali ed ecologici dai mercati delle proprietà o del lavoro.	Potenzialmente utile per stimare servizi ambientali ed ecologici come amenità.	Assume che i valori dei servizi ambientali ed ecologici siano riflessi perfettamente nel mercato del bene surrogato, e che non ci siano distorsioni. Necessita una grande quantità di

			dati.
<i>Travel cost</i>	Deriva la DP dalle informazioni sull'ammontare di tempo e denaro che le persone spendono per visitare un determinato luogo.	Potenzialmente utile per stimare servizi ambientali ed ecologici come amenità. Usato per stimare il valore di servizi di ricreazione. Potrebbe essere usato per stimare il valore del turismo ecologico.	Necessita una grande quantità di dati. Contiene assunzioni restrittive sul comportamento dei consumatori. È sensibile al metodo statistico usato.
<i>Contingent valuation method</i>	Costruisce un mercato ipotetico per stimare la DP degli intervistati.	Può stimare valori di non-uso.	Soggetto a distorsioni dovute al disegno del questionario e alla sua gestione .
<i>Choice experiment</i>	Costruisce scenari ipotetici per stimare la DP degli intervistati per singoli attributi del servizio o della politica da mantenere.	Può essere usato per stimare valori di non-uso. Utile per valutare i fattori determinanti dei singoli individui. Produce un quadro più completo delle preferenze degli individui.	Soggetto a distorsioni dovute al disegno del questionario e alla sua gestione. Necessita un vasto campione.
<i>CGE</i>	Rappresentano il sistema economico come un insieme di interazioni tra produttori e consumatori rappresentativi. Dal loro comportamento ottimizzante si originano domanda e offerta di beni e fattori produttivi che si confrontano sul "mercato".	Risultano particolarmente adatti ad evidenziare i meccanismi di trasmissione - nella forma di variazioni di prezzo e quantità - attivati da un particolare "shock" in una parte del sistema a tutto il resto.	Necessitano di molti dati e stime. Utilizzano una rappresentazione semplificata del sistema economico mondiale.
<i>Valutazione integrata IA</i>	Integrano la valutazione dei cambiamenti climatici sia a livello climatologico che a livello di impatti sociali ed ambientali	I modelli di valutazione integrata permettono di utilizzare conoscenza e modelli che provengono d diverse discipline (economia, ecologia, climatologia,...). Gli IAM sono infatti uno dei principali strumenti per favorire l'interdisciplinarietà.	Necessitano di molti dati e stime. Utilizzano una rappresentazione semplificata del sistema economico mondiale.

3.1 Approcci bottom-up

La valutazione di equilibrio parziale viene solitamente effettuata con le cosiddette metodologie di *direct costing*. Queste tecniche, tuttora largamente utilizzate – vedi ad esempio gli studi di Nicholls et al. (1995) sull'innalzamento del livello del mare o Viscusi e Aldy (2003) sulla salute umana – quantificano il danno totale come nell'equazione:

$$DC = [Q(CC) - Q(NCC)] * VU$$

Dove

DC è il valore monetario del Danno Causato dal cambiamento climatico;

Q(CC) è la Quantità di bene o servizio a disposizione in una situazione con Cambiamento Climatico;

Q(NCC) è la Quantità di bene o servizio a disposizione in una situazione senza Cambiamento Climatico; e

VU è il Valore Unitario del bene/servizio.

Tecniche di equilibrio parziale sono solitamente semplici da applicare e di facile comprensione, e vengono utilizzate ampiamente in situazioni in cui l'impatto da valutare ha una valenza prevalentemente locale o settoriale. L'assunzione di fondo è che il cambiamento nella variabile di interesse imputabile al cambiamento climatico non ha ripercussioni tali da causare cambiamenti a catena in altri settori o per altre variabili. L'impatto del cambiamento climatico da valutare è quindi considerato marginale, senza impatti sul resto dell'economia. Queste tecniche di valutazione economica sono generalmente classificate in due categorie: tecniche convenzionali basate sul mercato e tecniche che, invece, si basano su mercati di beni surrogati o mercati ipotetici (Carson, 1991). Entrambe si basano su assiomi e principi di economia del welfare, partendo dall'assunzione che gli individui siano disposti a pagare per ottenere un bene o un servizio ambientale e, d'altro canto, che essi siano disposti ad accettare un indennizzo per la perdita di alcuni beni o servizi. Le tecniche di valutazione *bottom-up*, stimano il valore che una popolazione di riferimento attribuisce ai cambiamenti ambientali, e riassunti nella disponibilità a pagare (DP) o disponibilità ad accettare un indennizzo (DA) degli individui (Hanemann, 1991).

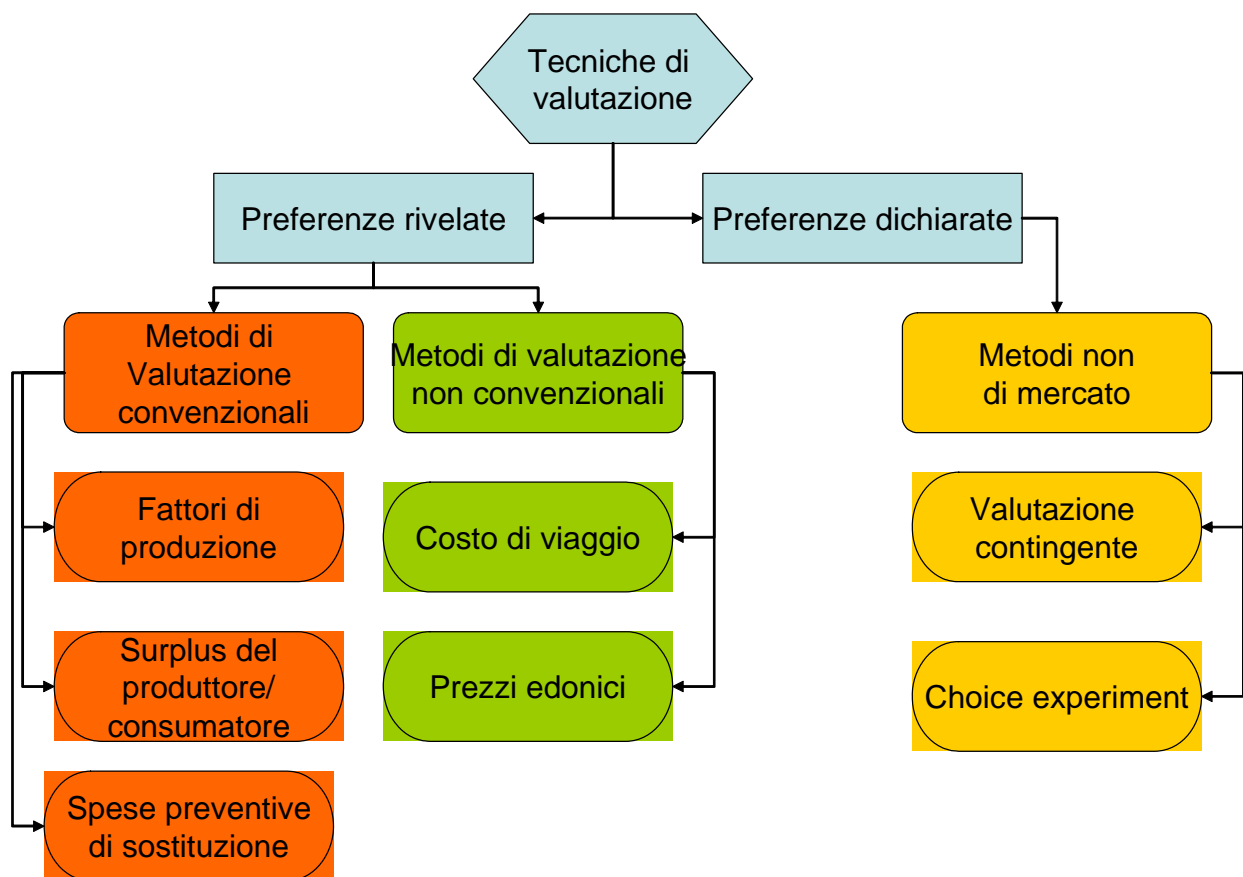


Figura 10: Le tecniche di valutazione *bottom-up*

3.1.1 Metodi di valutazione convenzionali *market-based*

I metodi *market-based* sono utilizzati per la stima degli impatti su beni e servizi di mercato. I metodi di valutazione degli impatti di tipo convenzionale (CO) presentati in questa rassegna riguardano:

- cambiamenti negli *stock* di beni e servizi di mercato (inclusi cambiamenti nella produttività e nei costi di produzione);
- metodi *cost-based*, in particolare quelli basati sui costi di sostituzione (*replacement cost, RC*) e le cosiddette spese preventive (*averting behaviour method, AB*).

Si tratta in entrambi i casi di metodi che usano dati sui prezzi di mercato per stimare il valore economico degli impatti del cambiamento climatico.

La maggiore limitazione che li contraddistingue riguarda la loro capacità di catturare esclusivamente valori inerenti l'uso o la possibilità d'uso di beni e servizi. D'altra parte, tuttavia, è ben noto in letteratura che il valore economico di una risorsa è dato sia dalla sua utilità legata a percorsi economici chiari, sia dalla sua utilità legata a fattori cosiddetti di non-uso (valore di esistenza, valore estetico, ecc.). Per questa ragione, questa tipologia di metodi di valutazione non è adatta ad esempio alla stima di alcuni particolari impatti del cambiamento climatico, la cui componente di non-uso può essere assai rilevante. Ci riferiamo ad esempio agli effetti del cambiamento climatico su: habitat e biodiversità; salute pubblica; valori ricreazionali e paesaggio; valori e beni culturali.

3.1.1.1 Valutazione basata su cambiamenti negli *stock* di beni/servizi di mercato

Lo stato dell'ambiente molto spesso ha un effetto diretto sulla capacità produttiva di un sistema economico (ad esempio un'azienda agricola), o sui relativi costi di produzione. Ad esempio, la capacità produttiva del settore della pesca, dipende dallo *stock* di risorse ittiche presenti in mare, a sua volta influenzato dalla qualità dell'ecosistema marino. Se il benessere dell'ecosistema marino diminuisce a causa del cambiamento climatico, con la conseguente riduzione dello *stock* di risorse ittiche presenti, gli operatori del settore, per mantenere costante la propria capacità produttiva, dovranno sostenere maggiori costi di produzione (*input*). Viceversa, se gli operatori non possono sostenere maggiori costi di produzione, la quantità pescata diminuirà con conseguente danno economico per il settore della pesca (*output*). Questo semplice esempio fornisce due misure del costo del deterioramento della qualità dell'ecosistema marino indotto dal cambiamento climatico: i) il costo dell'*input* addizionale; ii) il valore dell'*output* perso.

In generale, ogni qual volta si stima il costo (beneficio) di un deterioramento (miglioramento) della qualità ambientale stimando la diminuzione (aumento) dell'*output* di un certo sistema economico (o la qualità dell'*output*), ci si riferisce ad approcci che stimano cambi nella produttività. Un approccio simile a questo è noto invece come approccio dei costi di produzione (o costi risparmiati), e stima invece il costo (beneficio) di un peggioramento (miglioramento) della qualità ambientale valutando diminuzioni (aumenti) nei costi delle risorse.

Nel valutare cambiamenti negli *input* e *output*, è importante distinguere tra cambiamenti sufficienti per determinare una variazione dei prezzi di mercato e cambiamenti che invece non risultano in un cambio nei prezzi. Nel primo caso, la valutazione dovrà tenere conto della variazione nei prezzi di mercato stimando la relativa curva di domanda/offerta del bene. Nel secondo caso, invece, la stima è meno complessa e può avvenire utilizzando in alternativa uno dei quattro seguenti metodi:

1. stima del margine lordo per ciascuna unità di *output* e moltiplicazione del valore unitario per il cambiamento atteso;
2. stima del costo unitario della risorsa variabile e moltiplicazione del valore unitario per il cambiamento atteso nella risorsa;
3. stima del cambiamento del *budget* totale per i casi *con* e *senza* cambiamento climatico;
4. stima del cambiamento del valore del suolo per i casi *con* e *senza* cambiamento climatico.

A seconda delle circostanze, uno dei precedenti metodi può essere più appropriato di altri. In ogni caso, eventuali distorsioni nei prezzi di mercato (ad esempio in caso di tasse o sussidi) devono essere opportunamente tenute in considerazione.

3.1.1.2 Valutazione basata su *replacement cost* e *averting expenditure*

In alcuni casi il costo degli impatti del cambiamento climatico può essere stimato facendo riferimento ai potenziali costi (o risparmi) sostenuti da famiglie e produttori. Tipico è il caso dei:

- costi sostenuti per ridurre o evitare futuri possibili danni del cambiamento climatico su beni o servizi sensibili (prima che avvengano);
- costi sostenuti per sostituire beni o servizi danneggiati dal cambiamento climatico (dopo che si sono verificati).

Il primo caso è noto come approccio delle spese preventive (*avertive or preventative expenditure*); il secondo caso è noto come approccio delle spese di sostituzione (*replacement costs*).

Avertive expenditure, AE

Il metodo *avertive expenditure* si basa sulla premessa che la spesa sostenuta da un individuo per evitare un danno può essere intesa come “surrogato”, ovvero come stima del livello attuale di qualità ambientale. In altri termini, la percezione individuale del costo imposto dal cambiamento climatico è almeno pari a quanto speso per evitare il danno futuro. Un esempio attuale di spesa preventiva è la spesa sostenuta per realizzare sistemi di difesa dal mare, in caso di futuro innalzamento del livello delle acque. L’accuratezza ed affidabilità di una stima dei costi ottenuta tramite questo metodo dipende dalla presenza o meno di eventuali benefici aggiuntivi garantiti dall’intervento preventivo. Nel caso in cui la spesa sostenuta garantisca anche altri benefici indiretti, la valutazione fornirà in realtà una sovra-stima del valore dell’impatto, dal momento che la decisione di intervenire in via preventiva può essere giustificata non solo dall’esigenza primaria di evitare il possibile impatto del cambiamento climatico, ma anche da altri benefici indiretti anch’essi garantiti dal medesimo intervento.

Replacement Cost, RC

Il metodo *replacement cost* assume invece che il costo sostenuto per riparare o sostituire un bene o servizio produttivo danneggiato dal cambiamento climatico può essere interpretato come stima dei benefici persi a causa dell’impatto sul bene o servizio produttivo. Si tratta di un metodo molto simile al precedente, da cui si distingue per il fatto di considerare non eventi futuri, ma eventi già verificatisi, e quindi stimabili in modo oggettivo. La scelta tra i due dovrà quindi essere giustificata da questo tipo di considerazione. Menzioniamo inoltre due possibili varianti del metodo dei costi di sostituzione, utilizzabili per ottimizzare la procedura di stima riducendo eventuali sovra o sotto

stime, rispettivamente: il metodo dei costi di ri-allocazione (*reallocation cost technique*) e l'approccio *shadow project*.

3.1.2 Metodi di valutazione per beni non-market

I metodi di valutazione per beni e servizi *non-market* (quali habitat e biodiversità, salute pubblica, valori ricreazionali e paesaggio, valori e beni culturali) non si basano esclusivamente sull'osservazione di prezzi di mercato, e richiedono invece tecniche di analisi più sofisticate e onerose.

Queste tecniche di valutazione stimano indirettamente o direttamente il valore degli impatti del cambiamento climatico basandosi:

i) sui prezzi di mercato di beni surrogati ai beni/servizi impattati. È il caso dei metodi delle preferenze rivelate, *revealed preference*, di cui fanno parte il metodo dei prezzi edonici (*hedonic price*, HP), e il metodo dei costi di viaggio (*travel cost*, TC);

ii) sui valori osservati in mercati ipotetici costruiti *ad hoc* per la valutazione del bene/servizio impattato. In questo caso si parla di metodi delle preferenze espresse, (*stated preference*, SP), di cui fanno parte la valutazione contingente (*contingent valuation method*, CVM) e gli esperimenti di scelta (*choice experiment*, CE).

3.1.2.1 Metodi basati su revealed preference

Prezzi edonici, HP

L'idea alla base del metodo dei prezzi *edonici* è che il prezzo di un bene è funzione dei suoi attributi e caratteristiche, inclusi quelli di tipo ambientale. Tipico è il caso del mercato immobiliare, dove il prezzo dell'immobile dipende dalle caratteristiche dell'abitazione in sé (numero di stanze, metratura, stato di conservazione, ecc.), dalla localizzazione e dall'accessibilità ad infrastrutture di trasporto e servizi (scuole, negozi, ecc.), ma anche dalle caratteristiche ambientali in sua prossimità, ad esempio la qualità dell'aria, il rumore o la vicinanza ad aree verdi o di pregio naturalistico e paesistico. Opportune analisi statistiche (principalmente tecniche di regressione) possono essere utilizzate per stimare il contributo di specifiche caratteristiche ambientali sul valore di mercato degli immobili, cioè come varia il prezzo di mercato dell'immobile al variare della caratteristica ambientale. In questo modo è quindi possibile ottenere una stima indiretta del valore monetario dell'attributo ambientale, e delle sue variazioni. Questa tecnica è stata ad esempio usata per stimare gli impatti dei cambiamenti climatici da Maddison e Bigano (2003).

Costi di viaggio, TC

Assieme al metodo dei prezzi edonici, il metodo dei costi di viaggio può essere utilizzato per dedurre indirettamente il valore monetario di impatti/rischi indotti dal cambiamento climatico. Questo metodo in particolare si presta per la valutazione del valore di siti ambientale di particolare pregio, che richiamano un flusso turistico non trascurabile (località di mare, parchi e aree protette, ecc.). L'idea alla base del metodo è di utilizzare l'informazione sulle spese di viaggio sostenute dai visitatori del sito per ricavare una curva di domanda del sito stesso (e dei suoi servizi), e quindi una stima del suo valore economico.

3.1.2.2 Metodi stated preference

Valutazione contingente, CVM

Rispetto alle tecniche appena descritte, la valutazione contingente cerca di dedurre il valore di beni/servizi non di mercato osservando direttamente il comportamento individuale in mercati ipotetici (ma realistici) del bene/servizio da valutare creati *ad hoc* dai ricercatori.

La CVM si basa su interviste, durante le quali gli intervistati sono interrogati circa la loro disponibilità a pagare (“se” e/o “quanto”) per ottenere un certo bene o servizio ambientale, o la propria disponibilità ad accettare un indennizzo per sopportare un certo peggioramento nel bene/servizio. La CVM fornisce stime aggregate del valore economico di cambiamenti nella quantità o qualità di un bene o servizio ambientale e, tipicamente, l’intervistato è chiamato a scegliere due soli possibili scenari d’offerta del bene (per una rassegna completa si veda Mitchell and Carson, 1989; Hanemann, 1994; Bateman et al.;2002).

Esperimenti di scelta, CE

Gli esperimenti di scelta possono essere considerati un’estensione della CVM, che ne rappresenta il caso estremo semplificato, vale a dire una scelta tra uno scenario di non intervento (*status quo*) e uno scenario che prospetta, a fronte di un certo costo per l’intervistato, una variazione migliorativa di un certo bene ambientale, descritto solamente da un attributo. Quindi, mentre il metodo CVM si focalizza sul *trade-off* tra un attributo ambientale e un parametro monetario, la peculiarità della CE è la disaggregazione del bene da valutare in una pluralità di attributi. Utilizzando questo metodo, quindi, è possibile strutturare la scelta secondo *trade-off* multipli. Questa caratteristica è il principale vantaggio comparato delle tecniche CE rispetto alla CVM.

Nelle applicazioni CE diversi insiemi di scelta vengono presentati agli intervistati, ciascuno formato da più alternative definite su diversi livelli degli attributi rilevanti selezionati per descrivere il bene in esame. Ogni insieme di scelta è costituito da due o più scenari alternativi di offerta del bene, di cui uno può essere costituito dallo scenario *status quo*, o *benchmark*. Ciascuno scenario descrive, attraverso un numero limitato di attributi rilevanti (monetari e non monetari) una situazione ipotetica e realistica funzionale alla valutazione del bene in esame. Per ogni insieme di scelta, l’intervistato seleziona l’opzione che ritiene migliore. Il metodo è quindi un meccanismo di generazione di dati sulle preferenze individuali, strutturato su insiemi di scelta costruiti in modo tale da fornire informazioni sull’importanza dei singoli attributi per la soluzione problema di scelta. Per una rassegna completa si veda Louviere et al., (2000).

3.2 Approcci top-down

Indipendentemente dal modo in cui il “prezzo” viene determinato, elemento caratterizzante degli approcci di equilibrio parziale è quello di trascurare sia gli effetti su tutto l’indotto settoriale che in molti casi ha valore comparabile a quello del valore diretto dell’attività in questione, che gli effetti sul sistema economico nel suo complesso. Alcuni approcci di equilibrio parziale arrivano a modellare almeno gli impatti sul settore economico colpito nel suo complesso andando a quantificare gli effetti sull’indotto, ma anche questi trascurano però gli effetti più generali sul sistema economico.

In linea di principio qualsiasi settore produttivo non può essere considerato isolatamente, ma si trova inserito in un contesto più vasto caratterizzato da interdipendenze tra mercati nazionali e internazionali. Pertanto una “perturbazione” di un particolare settore attiva una serie di reazioni che coinvolgono mercati differenti e che possono alla fine (a) determinare un effetto finale sul sistema grandemente diverso da quello iniziale e (b) amplificare o ridurre l’impatto iniziale sullo stesso settore originariamente colpito. Ad esempio un paese la cui produzione agricola risulti particolarmente penalizzata potrebbe rivolgersi alla produzione di beni che dipendano in minor misura dalla produttività del territorio ma più dai capitali investiti, e questo potrebbe aumentare i rendimenti del capitale e attrarre flussi di capitali esteri. A loro volta, i flussi di investimento possono beneficiare il sistema economico nel suo complesso, incluso il settore agricolo. I movimenti internazionali di capitale in questo esempio fungono da ammortizzatori dell’impatto negativo iniziale.

3.2.1 *Computable general equilibrium*

Queste interdipendenze possono essere descritte e quantificate con un approccio di equilibrio economico generale per mezzo di modelli particolari, definiti di *Computable General Equilibrium* (CGE) caratterizzati da una “alta” disaggregazione settoriale e geografica. Questi rappresentano il sistema economico come un insieme di interazioni tra produttori e consumatori rappresentativi. Dal loro comportamento ottimizzante si originano domanda e offerta di beni e fattori produttivi che si confrontano sul “mercato”. I prezzi agiscono come elemento equilibratore e variando in modo da annullare tutti gli eccessi di domanda o di offerta portano tutti i mercati in equilibrio. Comportamento ottimizzante e mercati perfettamente concorrenziali fanno sì che tutte le risorse vengano impiegate nel modo più efficiente. La caratteristica principale dei modelli CGE è che tutti i mercati sono resi interdipendenti dalla mobilità intersettoriale e/o internazionale di fattori produttivi e prodotti finiti; pertanto essi risultano particolarmente adatti ad evidenziare i meccanismi di trasmissione - nella forma di variazioni di prezzo e quantità - attivati da un particolare “shock” in una parte del sistema a tutto il resto. Un approccio di equilibrio generale in altre parole aiuta a quantificare i meccanismi di “adattamento autonomo” al cambiamento climatico, diversi da quelli “pianificati” che richiedono l’intervento esplicito dell’autorità pubblica.

Uno dei vantaggi principali dei CGE è la loro capacità di catturare gli effetti che shock esterni – quali il cambiamento climatico – o di specifiche politiche hanno sull’economia nella sua interezza, piuttosto che su singoli settori. I CGE possono quindi essere usati con due obiettivi principali nell’analisi economica degli impatti dei cambiamenti climatici e delle strategie di adattamento: esaminare gli impatti di equilibrio generale di uno specifico cambiamento nel prezzo di un bene, che è il risultato di un cambiamento climatico; oppure per creare dei modelli atti ad esplorare le conseguenze di specifici impatti settoriale del cambiamento climatico su tutta l’economia, integrando così i risultati di metodologie di valutazione *bottom-up*.

3.2.2 *Integrated assessment (IA) models*

I modelli di valutazione integrata (IA) si prefiggono di integrare la valutazione dei cambiamenti climatici sia a livello climatologico che a livello di impatti sociali ed ambientali. Diversi scenari possono essere utilizzati nell’ambito dei modelli di IA, quali ad esempio un approccio a scenari, valutazione qualitativa piuttosto che quantitativa, e ancora modelli di simulazione numerica. Negli ultimi anni, diversi modelli di IA sono stati sviluppati per analizzare i problemi relativi ai cambiamenti climatici, ma per la maggior parte si focalizzano sullo studio delle diverse opzioni di mitigazione, piuttosto che adattamento. Inoltre, i modelli di valutazione integrata tradizionalmente adottano una scala globale o regionale, e solo recentemente si sono visti degli sviluppi a livello nazionale o sub-nazionale.

3.3 *Benefit transfer*

In alcuni casi è praticamente impossibile stimare tutte le relazioni esposizione-risposta, o il valore di tutte le dimensioni ambientali potenzialmente esposte agli effetti del cambiamento climatico, nei diversi siti interessati, poiché questo richiederebbe risorse cospicue e tempi decisamente lunghi. Per superare queste difficoltà, riuscendo comunque a pervenire ad una stima degli impatti del cambiamento climatico, recentemente si sono elaborate delle metodologie che si basano sui dati di studi già condotti, anche relativi a regioni e contesti di studio diversi. Si parla delle tecniche di *benefit transfer* (si veda a tal proposito Navrud, 1994, e Bergland, Magnussen et al., 1995). L’idea è quella di trasferire i risultati di uno o più studi già condotti (i così detti *primary studies*) al nuovo contesto di interesse. In questo caso, ovviamente, la qualità dei risultati forniti dagli studi di riferimento e la qualità del metodo utilizzato per il trasferimento dei risultati sono fondamentali per garantire l’affidabilità delle stime degli impatti. Sono disponibili diverse tecniche di benefit transfer,

più o meno complesse, tra cui la più recente (e rigorosa) combina i risultati di meta-analisi al successivo esercizio di trasferimento del valore.

Il *benefit transfer* richiede: la conoscenza di un certo numero di casi studio e/o di rassegne di valutazione (autori, sponsor, ipotesi, metodologie, risultati, etc.), in maniera tale da disporre di fonti il più possibile affidabili in relazione alle finalità d'indagine; l'individuazione dei migliori valori monetari unitari applicati in tali studi; l'applicazione di idonei criteri di trasferibilità dei valori di danno tratti dalla letteratura (spesso riferiti a contesti territoriali di altri Paesi) al contesto di riferimento.

4. La scelta della tecnica di valutazione

La discussione dei paragrafi precedenti evidenzia come esistano diverse tecniche che possono essere utilizzate dai decisori e la scelta delle metodologie più adatte dipende, in primo luogo¹⁶, dal tipo di impatto che si deve valutare dal punto di vista economico. Utilizzando le zone costiere come esempio concreto, la Figura 11 mostra, in modo schematico, gli elementi che debbono essere tenuti in considerazione in una prima scelta della tecnica di valutazione da utilizzare.

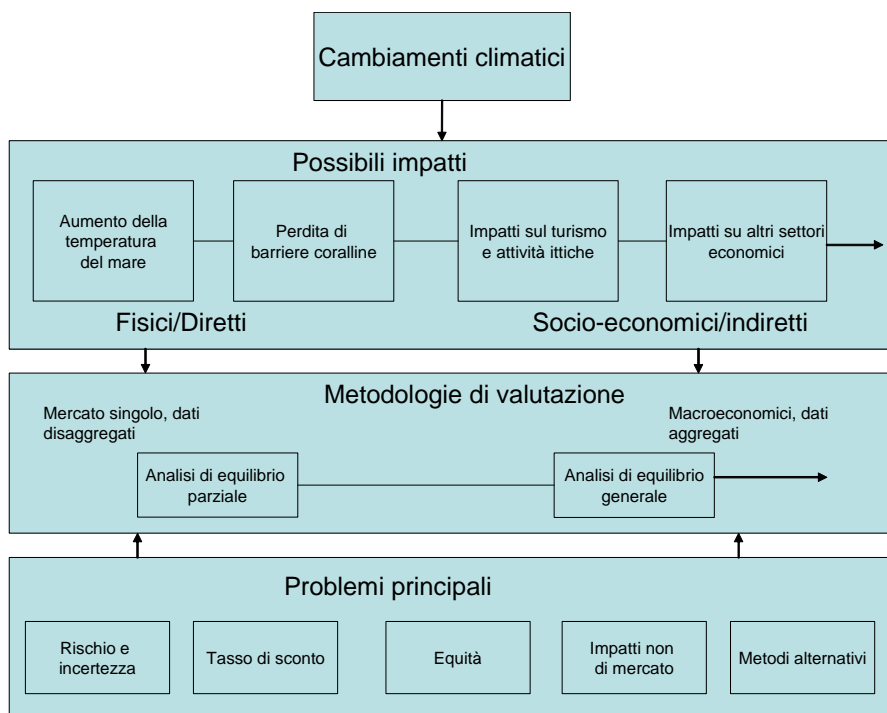
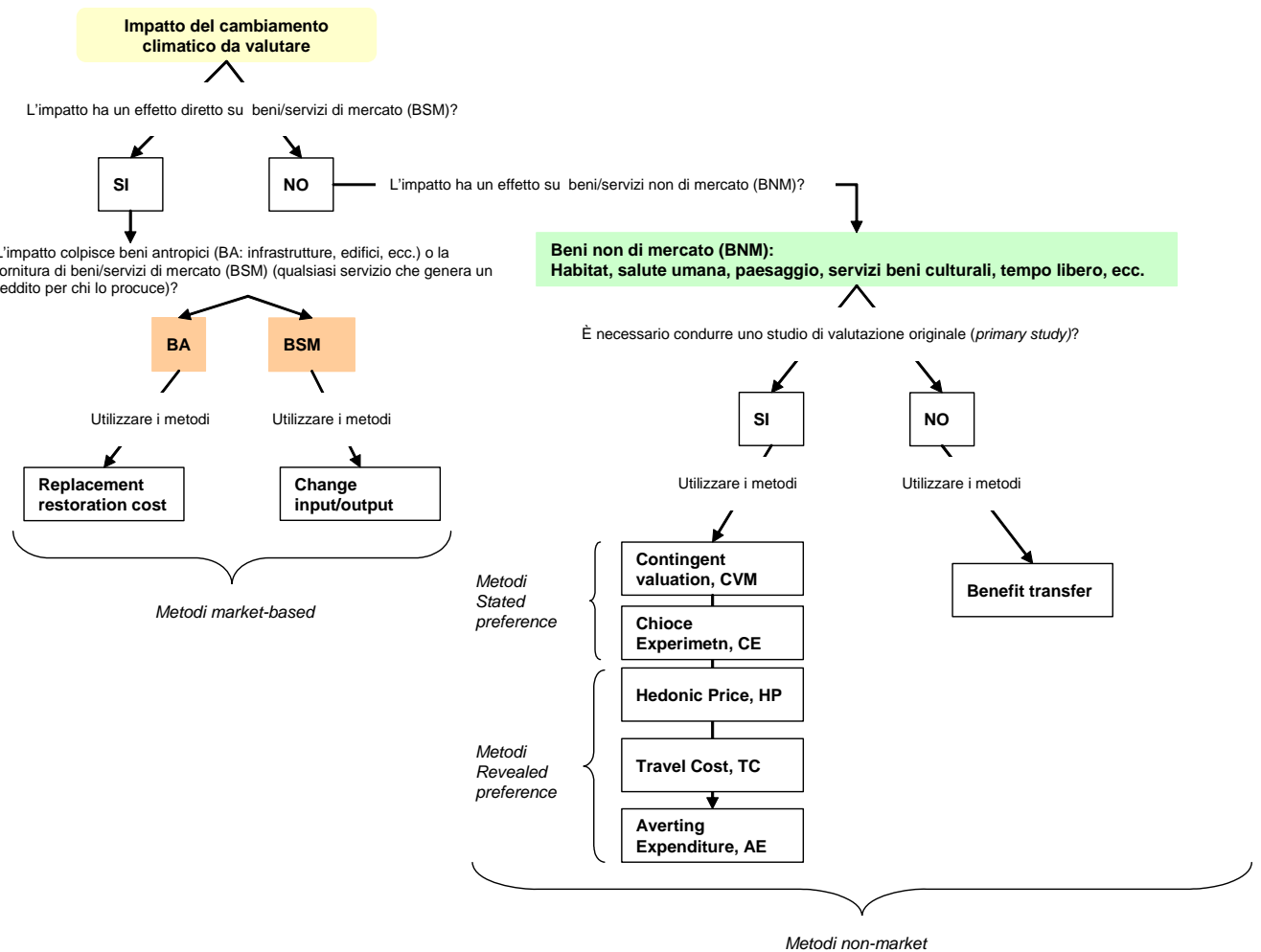


Figura 11: Elementi di maggior rilievo che caratterizzano il contesto decisionale per la valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici (Marsden Jacob Associates, 2004)

La scelta dei metodi di valutazione economica dipende dalle caratteristiche del settore impattato e dal tipo di effetto considerato, dal livello di dettaglio che si desidera ottenere e, in ultimo, dal tipo di dati disponibili. La prima domanda da porsi dunque (Metroeconomica, 2004) è: l'impatto che vogliamo misurare ha un'influenza su beni o servizi di mercato? In questo caso, tecniche di valutazione economica più convenzionali possono essere utilizzate per derivare una stima del valore economico di tale impatto. In generale, il metodo della spesa di ripristino può essere usato per

¹⁶ Vi sono chiaramente altri fattori che andranno a determinare la metodologia di valutazione più adatta, quali le risorse (umane e finanziarie) a disposizione, i tempi, le finalità (scoping, valuation,...).

stimare il valore degli impatti dei cambiamenti climatici su beni durevoli (quali costruzioni, infrastrutture,...), mentre matrici input/output sono più adatte a situazioni in cui sono beni o servizi a venir impattati (ad esempio, la produttività del suolo agricolo).



(Fonte: Metroeconomica, 2004)

Figura 12: Albero decisionale per la scelta della tecnica di valutazione più adatta

In caso l'impatto da valutare non abbia un'influenza diretta su beni o servizi scambiati sul mercato, la scelta delle tecniche di valutazione diventa più ampia, ed esula in parte da metodologie economiche standard, come evidenziato nella Figura 12, nel lato destro dell'albero decisionale.

Il *UK Climate Impact Guidance Programme* fornisce una lista di impatti dei cambiamenti climatici, e le tecniche di valutazione che possono essere utilizzate per la loro stima economica, riprodotta nella Tabella 12.

Impatti cambiamenti climatici dei	Metodi di mercato		Mercato di beni surrogati			Mercato ipotetico	
	Spesa di rimpiazzo/ Ristorazione	Matrici I/O	Prezzo edonico	Rischio	Costo di viaggio	Valutazione contingente	Contingent choice
Impatti sulla produttività							
Perdita del suolo o della fertilità	X	X	?				
Perdita o danni al raccolto	X	X	?				
Perdita o danni ad aree boschive	X	X				?	?
Perdita o danni ad ecosistemi	?	?			?	X	X
Perdita o danni a produzioni ittiche	X	X					
Peggioramento della qualità dell'acqua	X	X	?	?		X	X
Perdita o danni a proprietà ed infrastrutture	?	?					
Perdita o danni a risorse naturali e non	?	?				?	?
Salute umana							

Impatti su mortalità				X		X	X
Impatti su morbilità				X		X	X
Valore ricreativo							
Perdita di valore ricreativo		?	X				
Perdita o danni ad ecosistemi					?	X	X
Peggioramento del landscape			X		?	X	X
Rumore			X			X	X
Altro							
Perdita di valore delle risorse naturali (non-use)						X	X
Cambiamenti all'ambiente lavorativo	X			X		X	X
Perdita o danni a beni culturali	?		?		X	X	X
Accesso ad acqua potabile	X		?		X	X	X
Servizi sanitari	X		X			X	X
Tempi di viaggio			X		X	X	X

Tabella 12: Applicabilità di tecniche di valutazione a specifici impatti dei cambiamenti climatici – metodologie di mercato surrogato e preferenze rivelate

In tutti i casi il decisore deve valutare l'opportunità di intraprendere uno studio di valutazione *ad hoc*, piuttosto che rifarsi a dati già esistenti in letteratura per casi simili (*benefit transfer*). Chiaramente nel primo caso si avranno delle stime più accurate ed attendibili, ma ad un costo spesso molto elevato. In generale, Desvousges et al. (1998) suggeriscono di prendere in considerazione quattro fattori nella decisione: innanzitutto, l'uso finale delle stime economiche degli impatti (esplorazione piuttosto che determinare il livello di ricompensa per danni subiti); il grado di precisione richiesto per tale uso; il grado di precisione che può essere ottenuto utilizzando tecniche di benefit transfer; ed infine il costo relativo di uno studio di valutazione economica ad hoc. La scala di decisione proposta da Desvousges et al. (1998) è riprodotta nella Figura 13.

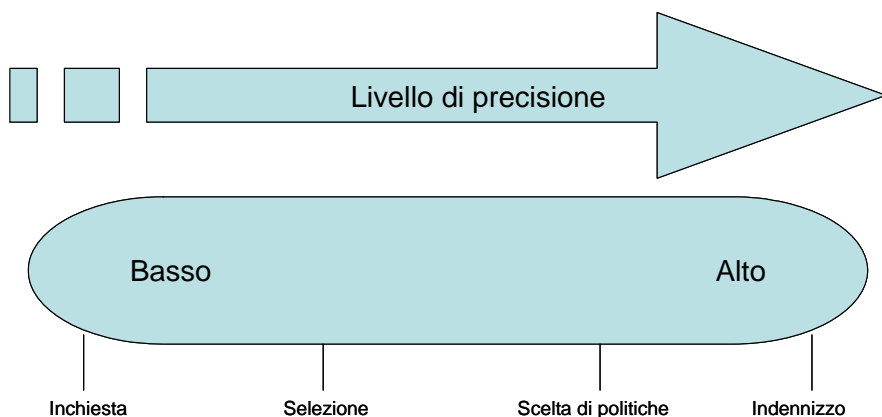


Figura 13: Scala di decisione in base al livello di precisione necessario (Desvousges et al. , 1998)

Chiaramente non tutti gli impatti dei cambiamenti climatici possono essere ridotti ad un valore monetario, ma sarebbe sbagliato escludere questi impatti dalla decisione finale. La costruzione di una matrice di controllo qualitativa può rivelarsi utile al decisore, in quanto permette di evidenziare l'esistenza di potenziali impatti non quantificabili in termini monetari, e la loro attesa importanza. Un esempio che si riferisce agli impatti derivanti dall'aumento del livello medio del mare viene riportato in Tabella 13.

Tabella 13: Checklist per l'identificazione degli impatti rilevanti nel caso dell'aumento del livello medio del mare

Impatto diretto	Valutazione		Impatto settoriale	Valutazione	
	Sì	No		Sì	No
Perdita di proprietà privata	X		Perdita di proprietà	X	
			Perdita di benessere		
			Cambiamenti nella domanda	X	

			di alloggi nell'area		
Perdita di terreno agricolo	X		Perdita di produttività	X	
Perdita di terreno non-agricolo		X	Perdita di specie ed ecosistemi		X
			Migrazione di specie		X
Allagamenti di aree umide		X	Perdita di specie ed ecosistemi		X
			Migrazione di specie		X
Perdita di siti ricreativi	X		Riduzione nella domanda di ricreazione per i siti colpiti	X	
			Spostamento di turismo verso luoghi alternativi	X	
Perdita di terreno con valore culturale		X	Perdita di oggetti culturali		X
Perdita di costruzioni ed infrastrutture	X		Perdita di proprietà ed attività economiche	X	
			Perdita di infrastrutture per il trasporto	X	

La valutazione economica degli impatti dei cambiamenti climatici rappresenta solo un lato della medaglia per la stima dei benefici netti delle strategie di adattamento. Anche i costi delle strategie stesse devono essere stimati – sia quelli di pianificazione, che di attuazione ed, eventualmente, le spese di mantenimento e di monitoraggio. La stima dei costi delle strategie di adattamento è più diretta ed intuitiva, ed esistono molte linee guida specifiche per, ad esempio, le infrastrutture di protezione delle coste (come, ad esempio, MAFF, 1999).

4.1 Valutazione delle opzioni

Una volta che i rischi/costi del cambiamento climatico sono stati valutati, e si sono stimate le risorse necessarie per l'implementazione delle diverse strategie di adattamento, diverse opzioni di

adattamento possono essere confrontate sistematicamente, in modo tale da poter identificare il miglior corso d'azione, dati gli obiettivi e i criteri di valutazione stabiliti dal decisore. Diversi strumenti sono a disposizione per tale valutazione comparata e vengono presentati in questa sezione. Il compendio metodologico per la valutazione di impatti e adattamento ai cambiamenti climatici redatto dal Segretariato UNFCCC (2005) descrive sette “strumenti decisionali”¹⁷ rispetto all'adattamento. Questi sette strumenti possono essere ridotti a tre categorie metodologiche principali, se vogliamo porre l'attenzione sugli aspetti economici ed evitare sovrapposizioni. Le tre categorie metodologiche sono:

- ⇒ analisi costi-benefici
- ⇒ analisi costi-efficacia
- ⇒ analisi multicriteriale

La scelta della metodologia da seguire per la valutazione delle opzioni dipende chiaramente da fattori contingenti, quali ad esempio i dati disponibili, l'obiettivo stesso della valutazione, la scala di riferimento, etc. Alcune considerazioni che possono aiutare nella scelta della metodologia sono riportate nella Tabella 12.

Tabella 14: Idoneità di diversi approcci valutativi per le misure di adattamento a seconda delle motivazioni della valutazione e della scala geografica di riferimento

Metodo	Motivazioni della valutazione e scala di riferimento	
	Motivazione 1 / Scala macro	Motivazione 2 / Scala micro
Analisi Costi Benefici	Idonea anche se soggetta a tutte le difficoltà di applicazione elencate in 3.2.	Fattibile ma poco informativa nel caso in cui le diverse fonti d'incertezza rendano i risultati equivocabili nell'applicazione locale ¹⁸ .
Analisi Costi Efficacia	Non applicabile in quanto a livello macro l'obiettivo prefissato sarebbe troppo generico per poter dare una misura attendibile di efficacia alle misure oggetto di valutazione.	Idonea se è già stato dimostrato che l'obiettivo prefissato è desiderabile per la società sotto diversi punti di vista.
Analisi Multicriteriale	Difficilmente applicabile ed in generale poco informativa per gli stessi motivi di cui sopra	Consigliabile se si vuol tener conto di più criteri decisionali oltre all'efficacia nel raggiungere l'obiettivo prefissato

3.4.1 Analisi costi benefici

Quando le conseguenze delle diverse opzioni sono quantificate in termini monetari, la tecnica solitamente usata per comparare alternative di intervento è l'analisi dei costi e benefici (*Cost Benefit Analysis*, CBA). Le tecniche di CBA¹⁹ permettono di valutare se i vantaggi complessivi (benefici) di un certo progetto o intervento di *policy* (ad esempio una certa opzione di adattamento al cambiamento climatico), superano i relativi svantaggi (costi).

¹⁷ 1. Policy Exercise 2. Benefit-Cost Analysis 3. Cost-Effectiveness 4. Multicriteria Analysis 5. Tool for Environmental Assessment and Management (TEAM) 6. Adaptation Decision Matrix (ADM) 7. Screening of Adaptation Options.

¹⁸ L'incertezza può essere analizzata attraverso l'utilizzo di diverse metodologie di analisi del rischio, che si sintetizzano in due tipologie fondamentali: la prima tipologia consiste in valutazioni qualitative basate sull'attribuzione di livelli di probabilità (bassa, media, alta); la seconda si rifà a valutazioni quantitative attraverso l'utilizzo di approcci come l'analisi delle decisioni o simulazioni Monte Carlo (UNFCCC 2005).

¹⁹ Si fa qui un distinguo rispetto alla cosiddetta CBA finanziaria, che guarda alla redditività privata di un certo progetto.

Questo metodo di analisi richiede fundamentalmente la quantificazione in termini monetari di tutti i costi e benefici, comprese le cosiddette esternalità, ovvero tutti i beni e servizi che il mercato non riesce a catturare con un valore osservabile e misurabile, e che ricadono quindi su tutte le componenti impattate. La CBA in questo caso riguarda il benessere della collettività, e quindi deve prendere in considerazione non solo i costi ed i benefici che ricadrebbero sulle parti direttamente interessate dall'azione (piano, programma, progetto ecc.), ma anche gli impatti indiretti su altri gruppi portatori di interesse. I passaggi fondamentali della CBA sono rappresentati nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Questa procedura è utilizzata nella stragrande maggioranza dei casi nelle valutazioni economiche di impatto dei cambiamenti climatici. Le sue applicazioni per la valutazione di strategie di adattamento sono invece meno comuni e generalmente confinate a quei determinati settori d'impatto (innalzamento del livello del mare, consumi energetici, ecc.) che presentano minori problematiche applicative.

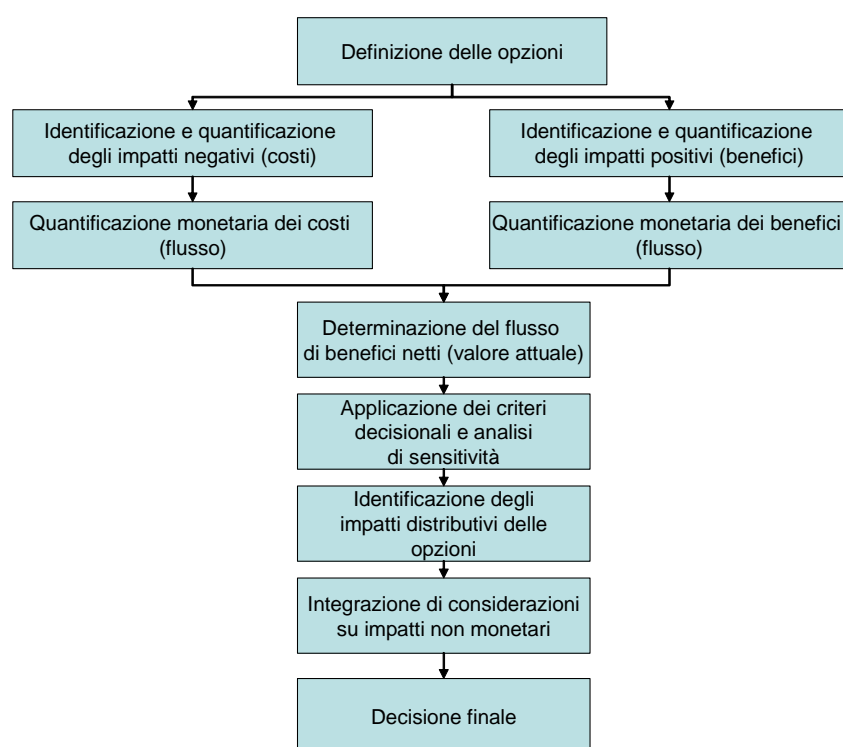


Figura 14: Schema per l'analisi dei costi e benefici

3.4.2 Analisi costi-efficacia

L'analisi costi-efficacia (*Cost Effectiveness Analysis*, CEA) parte invece da un obiettivo predeterminato e indaga, fra tutti i possibili modi di raggiungerlo, quello meno costoso. Analogamente alla CBA, anche l'analisi costi-efficacia guarda ai *trade-off* tra costi e benefici di un certo intervento. Tuttavia, rispetto alla CBA, i benefici sono misurati in termini non monetari. Inoltre, il risultato (il beneficio netto) dell'intervento è simile per ciascuna alternativa considerata. Questo metodo può essere usato, ad esempio, per valutare quale è l'alternativa che garantisce il più alto livello di un certo beneficio fisico (ad esempio la maggiore riduzione del rischio cui è esposta una certa popolazione), date le risorse a disposizione; oppure per valutare l'alternativa a minor

costo, fissato l'obiettivo che si intende raggiungere (ad esempio un certo livello di fornitura di acqua per uso potabile).

Dal momento che utilizza una quantificazione fisica degli impatti, la CEA ben si presta a valutare le opzioni che hanno come risultato dei benefici attesi di difficile o controversa quantificazione monetaria. La CEA non può però essere utilizzata in casi in cui le diverse opzioni da comparare abbiano degli impatti diversificati, misurati in unità di misura differenti e che, quindi, non possono essere aggregati.

3.4.3 Analisi multicriteriale

L'analisi multicriteriale (*Multicriteria Analysis*, MCA) si riferisce ad un approccio che ha lo scopo di determinare una preferenza complessiva fra diverse alternative, dove ogni alternativa è valutata sulla base della sua *performance* rispetto ad un insieme di criteri decisionali. L'analisi multicriteriale è stata sviluppata per poter internalizzare, nell'analisi economica, aspetti di natura non strettamente economica, e per questo non quantificabili (o difficilmente quantificabili) in termini monetari. Non solo, le analisi MCA nascono per riuscire a gestire in modo ottimale la complessità tipica dei processi decisionali, che richiedono di adottare come criteri di valutazione, non solo quello dell'efficienza economica, ma anche altri criteri rivolti alla sostenibilità ambientale ed alla equità sociale. Anche nel caso delle azioni di intervento nell'ambito del cambiamento climatico altri criteri di valutazione possono essere importanti, quali ad esempio la considerazione dell'irreversibilità delle azioni di mitigazione o adattamento, l'equità, il rischio ed all'incertezza o il grado di condivisione delle scelte politiche.

L'MCA non limita, quindi, i criteri di valutazione a quelli di efficienza economica, e permette di considerare impatti che non sono quantificabili in termini monetari. Al contrario della CEA, impatti con diverse unità di misura possono essere considerati simultaneamente. Le tecniche di MCA consistono nella definizione di un *framework* entro cui integrare le informazioni relative a tutti i criteri di giudizio presi in considerazione, senza prevedere necessariamente la stima monetaria di tutti i fattori, attraverso un sistema di assegnazione di un punteggio di importanza e pesatura ai criteri di valutazione.

Riquadro 10: Esempi di processo decisionale per la scelta delle azioni di adattamento a livello locale – desertificazione

1. Definizione della “tipologia territoriale” e della “scala” idonee per l’identificazione di aree d’intervento prioritarie

Es. di tipologia territoriale: area ad uso agricolo/forestale

Es. di scala: area di pertinenza di autorità di bacino

2. Definizione dei “criteri di vulnerabilità” ai fini della selezione di aree prioritarie

Es. di criteri su cui basarsi per l’identificazione delle aree prioritarie:

- La gravità del degrado fisico dei suoli (sia attuale che atteso con i cambiamenti climatici)
- Il livello di impatto attuale o atteso sulle attività economiche ed il tessuto sociale (impatti sia diretti che indiretti).
- La qualità delle informazioni disponibili sull’area in esame (es. aree che sono state già oggetto di studi in materia di desertificazione).

Oltre ai criteri, chiare regole di aggregazione dei punteggi dati ai vari criteri devono essere specificate (es. alcuni criteri potrebbero avere un “peso” maggiore di altri). Per esempio una zona altamente degradata ma disabitata o con un basso numero di persone impiegate in attività produttive dovrebbe ricevere un alto “punteggio” rispetto agli impatti fisici, ma basso rispetto agli impatti socio-economici.

3. Identificazione delle aree di intervento prioritarie

All’interno di ogni tipologia paesaggistica individuata e in linea con la scala territoriale specificata, l’applicazione di un approccio multicriteriale per la scelta delle aree di intervento permetterebbe di stilare una lista il più possibile “oggettiva” e trasparente delle aree prioritarie d’azione.

4. Per ogni area prioritaria, definizione di obiettivi di massima da raggiungere

Per ogni area, analisi delle problematiche locali (identificabili tramite l’analisi delle informazioni / studi esistenti + parere di esperti + consultazioni con portatori di interessi locali) e identificazione di obiettivi di massima specifici per area relativi alla lotta al degrado del suolo.

Es.: massimizzazione produzione agricola, aumento funzione di protezione da eventi alluvionali, minimizzazione di situazioni di conflittualità sociale, ecc.

5. Dati gli obiettivi di cui al punto 4, definizione di possibili misure di intervento.

Normalmente sarà opportuno includere menù di misure, oltre a misure individuali.

Es.: misure di riconversione da arativo a coltura permanente, diffusione di informazioni sulle buone pratiche, ecc.

6. Selezione di criteri decisionali ed indicatori per la misurazione dell’efficacia delle misure sottoposte alla valutazione rispetto agli obiettivi prefissati.

Es.: Costi diretti, fattibilità tecnica, conflitti sociali potenziali, sinergia con altre politiche, ecc

Oltre ai criteri e agli indicatori, chiare regole di aggregazione dei punteggi dati ai vari criteri devono essere specificate (es. alcuni criteri potrebbero avere un “peso” maggiore di altri).

7. Quantificazione delle performance delle diverse misure di intervento rispetto agli indicatori/criteri selezionati, sulla base di stime quantitative o qualitative derivanti da modelli di simulazione, parere di esperti, ecc.

8. Valutazione e ordinamento delle misure/menù di misure secondo l’approccio multicriteriale, attribuendo ad ognuna di esse un punteggio complessivo dato dall’applicazione di una o più regole decisionali ai vettori costituite dai valori calcolati per gli indicatori/criteri per ciascuna misura/menu di misure.

4.2 Sistema idrogeologico: come stimare gli impatti del cambiamento climatico

La valutazione completa dei costi da affrontare nel caso non si contrastasse l'aumento dei rischi idrogeologici dovuto al cambiamento climatico in Italia è un'impresa difficile, che si scontra con la mancanza o la scarsa disponibilità di dati quantitativi dettagliati sui possibili impatti.

La metodologia generale è riassunta nella figura sottostante. Si parte da una quantificazione della variazione del rischio organizzata spazialmente tramite una mappatura ad alta risoluzione del territorio interessato, per poi tradurre questa informazione in impatti con specifica valenza socioeconomica, ai quali è possibile associare una valutazione economica tramite tecniche adeguate (Figura 15).

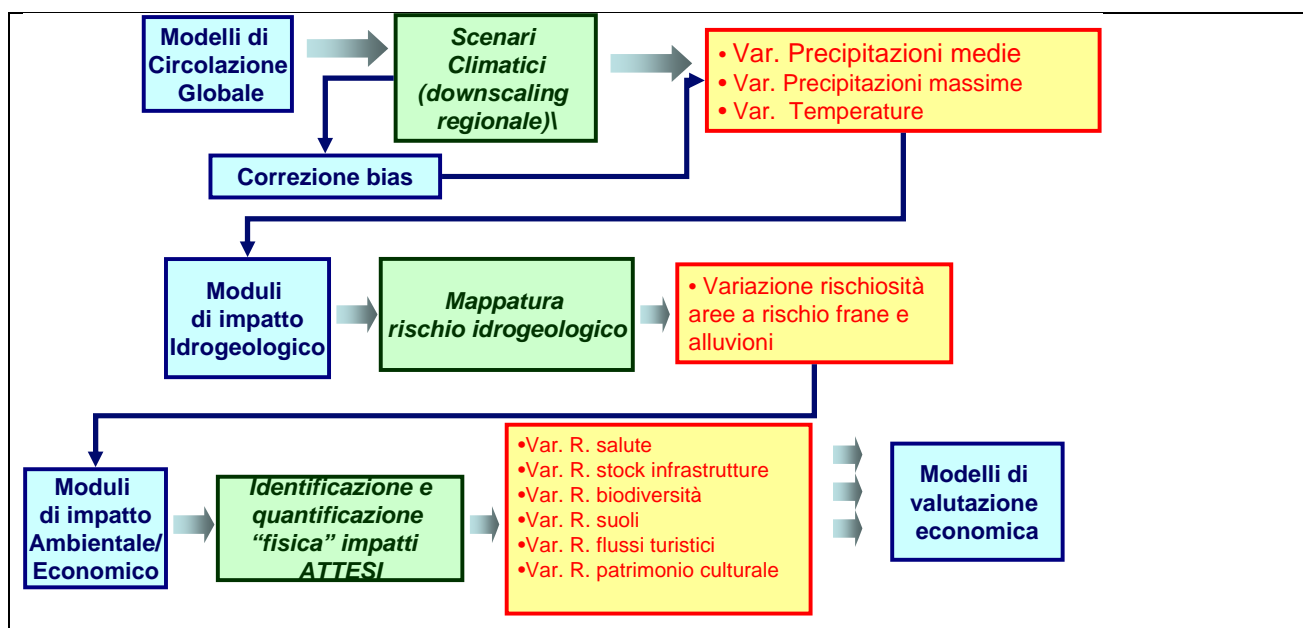


Figura 15: Metodologia generale per la valutazione dei costi di inazione

Per valutare i danni relativi a tre settori (infrastrutture, salute e agricoltura), si parte dalla valutazione della variazione del rischio idrogeologico a seguito del cambiamento climatico, mentre la valutazione dell'uso dei suoli consente di individuare l'impatto su aree agricole, urbane o infrastrutture, e di conseguenza applicare le funzioni di danno rilevanti. La verifica della destinazione d'uso del territorio interessato è rilevante per tutte le categorie di danno specificate.

Analogamente all'approccio PESETA, si propone di combinare gli scenari del clima basati sul modello RCM con un modello di rischio idrogeologico, usando i dati sulla vegetazione e sull'uso della terra ottenuti dal database CORINE Land Cover (EEA, 2000), i dati topografici per calcolare l'altitudine del terreno e la profondità dell'acqua, la funzione di danno che associa i costi monetari a indicatori idrogeologici specifici. A differenza dell'approccio PESETA, si propone di utilizzare una funzione per i danni più generica, stimata su vasti campioni di inondazioni e di frane registrate in Italia a partire dagli anni '50 del secolo scorso. Anziché applicare un modello idrogeologico a due bacini specifici, inoltre, la metodologia proposta comprende tutte le zone a rischio di inondazione o di frana identificate dall'APAT e dal MATTM con i dati forniti dalle Autorità di Bacino. Infine, le stime ottenute tengono conto del *bias* indotto dal *downscaling* dei risultati dei GCM. Questo studio sarà dunque il primo tentativo di dare una piena copertura nazionale al rischio idrogeologico basato sui dati ad alta risoluzione.

La metodologia proposta per la stima monetaria degli impatti derivanti da inondazioni è presentata nei paragrafi che seguono. Le differenze nella metodologia da applicare alle frane saranno evidenziate al termine di questo paragrafo.

Gli scenari delle precipitazioni per la risoluzione a griglia spaziale da 12 km e a quella a griglia spaziale da 50 km del modello HIRHAM costituiranno gli scenari di riferimento. La prima è usata per modellare il clima regionale secondo lo scenario SRES A2, la seconda per lo scenario B2. L'indicatore climatico usato è il periodo di ritorno di precipitazioni ininterrotte per 5 giorni consecutivi. Questo sarà sufficiente per una prima valutazione, ma naturalmente l'incertezza considerata è limitata e non copre l'intero spettro considerato dall'IPCC. Un approfondimento dello studio potrebbe considerare altri scenari SRES e altri modelli RCM. Gli scenari delle precipitazioni saranno sovrapposti alle mappe di rischio idrogeologico in Italia, per derivare la variazione del livello di rischio di queste zone.

La stima della funzione di danno sarà eseguita separatamente per i danni recati alle terre destinate all'uso agricolo e per i danni alle infrastrutture. I danni ai terreni adibiti all'uso agricolo saranno identificati sovrapponendo i dati CORINE per l'uso della terra alle mappe del rischio originali e modificate, per identificare l'uso specifico della terra esposta al rischio idrogeologico. Analogamente allo studio PESETA, la sovrapposizione dei dati CORINE sull'uso della terra alle mappe del rischio originali e modificate ci permetterà di individuare non solo l'esposizione al rischio dei terreni agricoli, ma anche l'esposizione delle zone rilevanti dal punto di vista ambientale, le zone urbane, le infrastrutture, ecc.

Una volta identificate le zone esposte, useremo un approccio statistico basato su due modelli, e quindi una previsione in due fasi. Per quanto riguarda i danni infrastrutturali e la perdita di vite umane, si propone di usare un database dell'APAT, che registra, per tutte le alluvioni avvenute in Italia a partire dagli anni '50 del secolo scorso, l'ammontare dei danni, il numero delle vittime e una serie di indicatori idrogeologici. Si costruiranno modelli statistici basati su questi dati per prevedere l'ammontare dei danni e il numero di vittime per un determinato valore degli indicatori idrogeologici. Questo permetterà di associare un valore monetario agli indicatori climatici o idrogeologici come la profondità dell'acqua o i millimetri di precipitazione per ora. Per ottenere una previsione della variazione dei danni e delle vittime a causa del cambiamento climatico, saranno necessarie delle stime degli indicatori idrogeologici rilevanti. Resta da accertare se il risultato (*downscaled*) del modello GCM è adatto per questo scopo – vale a dire, come input del modello del danno – ma probabilmente non lo sarà. Infatti, è probabile che le inondazioni, e in particolare quelle più forti e significative, siano associate ai valori più estremi degli indicatori. Le stime basate sugli scenari degli indicatori dai modelli GCM (*downscaled*) sono generalmente valide per stimare la tendenza globale, ma usualmente inadeguate per stimare il comportamento più estremo dei fenomeni oggetto di studio. Per superare questa difficoltà possiamo basarci sul fatto che i valori stimati dai modelli GCM (*downscaled*) sono disponibili anche per il passato per il quale è possibile avere i dati storici (osservati). Usando questi dati costruiremo un secondo modello statistico, chiamandolo *weather model*, per prevedere osservazioni estreme basate sul trend globale tale modello sarà probabilmente basato su tecniche statistiche per valori estremi. Questa procedura affronterà il problema della proiezione climatica *biased* rilevata, ma non corretta, nello studio PESETA.

Il risultato del modello GCM (*downscaled*) sarà usato come input per il nostro “*weather model*”, i cui risultati saranno usati come input del modello per i danni, l'output finale sarà la nostra stima dei danni e delle vittime²⁰.

²⁰ Dati i risvolti etici del tema sarà eventualmente possibile associare al numero di vittime le migliori stime disponibili per il valore monetario delle vite statistiche, qualificando accuratamente la procedura al fine di massimizzarne l'accettabilità sociale.

Per il terreno adibito all'uso agricolo l'impatto del cambiamento climatico sarà stimato usando lo stesso approccio a due fasi descritto sopra – prima usando il *weather model* per fornire un input climatico non distorto alla mappa del rischio e poi costruendo mappe modificate delle aree esposte al rischio conseguente al cambiamento climatico –, sulla base del quale si stimeranno i danni associando i valori monetari secondo i valori INEA per i diversi tipi di terreno agricolo nelle province italiane (si cercherà di fare una stima delle entrate perse sulla base dei dati agronomici, usando i database FADN e INEA).

I danni totali saranno calcolati cumulando i danni su tutta la funzione di distribuzione degli eventi per tutti i periodi di ritorno (quindi non solo per le inondazioni con periodo di ritorno di 100 anni come in PESETA), e attualizzandoli.

Per le frane le differenze principali saranno costituite dall'indicatore climatico usato (sia le precipitazioni annuali medie – per le frane lente – che le precipitazioni massime – per le frane veloci), dall'uso della campionatura stratificata casuale per il numero elevato di frane registrato (l'effettiva disponibilità e qualità del *dataset* devono essere verificate con l'APAT), e nel diverso trattamento delle perdite per l'uso del suolo, essendo i danni causati dalle frane più persistenti di quelli provocati dalle inondazioni.

Per gli impatti non letali sulla salute che possono seguire alle inondazioni, si propone di seguire un approccio usato per valutare gli impatti diretti del cambiamento climatico sulla salute (si veda, per esempio, Tol 2002, Bosello et al., 2005). L'idea è quella di affidarsi alle funzioni dose-risposta, da sottoporre alla stima di epidemiologi e tossicologi, per i rischi importanti per la salute (per esempio, malattie trasmesse dall'acqua, contaminazione chimica, incidenti), per associare il cambiamento nell'esposizione a questi pericoli per la salute alla variazione nel rischio idrogeologico. Per le contaminazioni chimiche è necessario un approccio in due fasi, in quanto i tossicologi e gli specialisti ambientali dovrebbero definire la lista di sostanze inquinanti che potrebbero essere presenti nei sedimenti delle zone a rischio in futuro, e modellare il comportamento dei sedimenti nocivi in caso di inondazione, per determinare la probabilità che questi sedimenti siano effettivamente diffusi durante un'alluvione. Avendo stabilito il probabile vettore di contaminazione, i tossicologi possono derivare le funzioni dose-risposta rilevanti. Un approccio simile può essere usato per gli incidenti causati da un disastro idrogeologico, usando ancora una valutazione del rischio in due fasi: alla nostra valutazione di variazione del rischio idrogeologico indotta dal clima deve essere sovrapposta una valutazione del cambiamento del rischio negli incidenti, eseguita da esperti assicurativi e ingegneri esperti dei trasporti.

Alla fine, queste valutazioni porteranno alla valutazione della variazione attesa nei giorni di attività normale persi a causa di questi rischi, che possono poi essere valutati in termini di produttività persa usando i dati locali sui salari e/o sul valore aggiunto. Si possono valutare anche le spese mediche per il trattamento di questi pericoli per la salute; tuttavia, è difficile stabilire quali saranno i trattamenti rilevanti e i loro costi tra 70-100 anni.

4.3 Zone alpine: come stimare gli impatti del cambiamento climatico

Il passaggio dalle variabili/variazioni climatiche a quelle economiche e alla loro valutazione finale è esemplificato dalla Figura 16.

Il primo passo è costituito dalla descrizione/quantificazione dell'evoluzione del sistema climatico. Gli scenari climatici possono essere esogeni o essere endogenamente prodotti in modo coerente con le ipotesi di *benchmark*, in ogni caso, data l'alta variabilità regionale delle variabili climatiche, elemento fondamentale è la rispondenza dello scenario con la scala di indagine.

Successivamente la variazione nelle variabili climatiche deve essere opportunamente tradotta in un set di variazioni in grandezze "fisiche". Queste possono essere più propriamente ambientali, come

tasso di arretramento dei ghiacciai, variazione nella composizione delle specie animali e vegetali, incremento dell'incidenza di fenomeni climatici estremi oppure avere una rilevanza più strettamente economica come variazione nella produttività delle colture, variazione nei flussi turistici, variazione nel consumo di energia etc.

Il passo finale consiste nell'associare una valutazione economica alle variazioni nelle variabili fisiche in oggetto e nel confrontare il risultato ottenuto con il *benchmark* di riferimento.

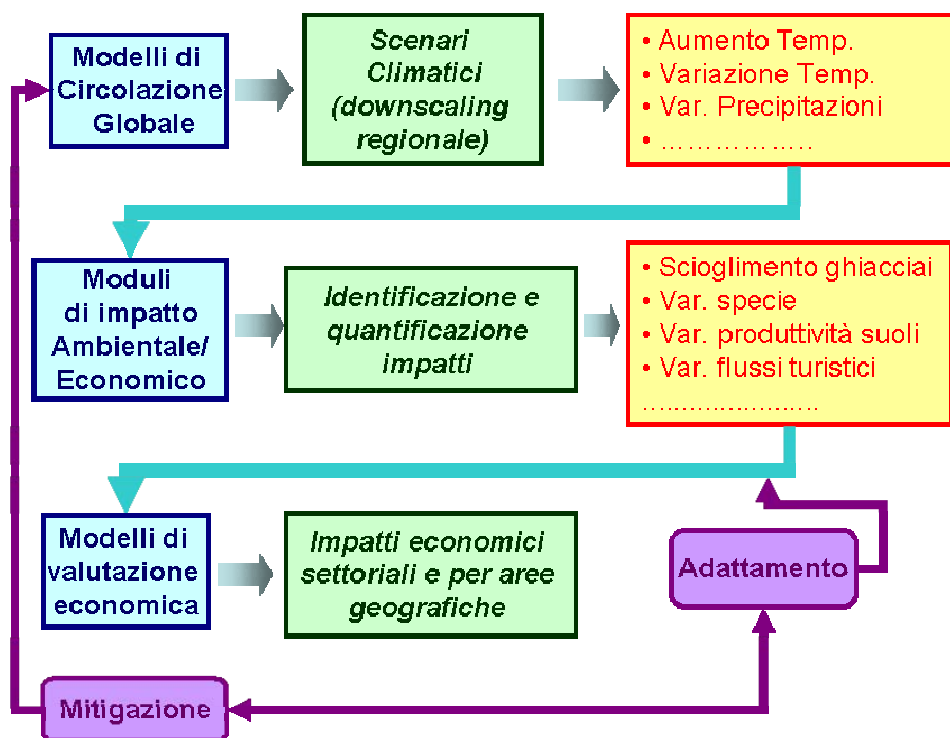


Figura 16: Una possibile struttura per una valutazione di approccio integrato degli impatti economici del cambiamento climatico

A titolo esemplificativo, un modo per quantificare gli impatti dei cambiamenti climatici sul settore turistico nelle zone alpine è quello di moltiplicare la variazione delle presenze turistiche imputabile ad effetti climatici per la spesa giornaliera media del turista tipo. Questo è un approccio di equilibrio parziale, come spiegato nei paragrafi precedenti.

Diverse altre tecniche possono essere usate per stimare i benefici dell'adattamento per il settore turistico alpino, come ad esempio l'utilizzo di modelli CGE utilizzando come punto di partenza le variazioni nei flussi di turismo internazionale e nazionale in Italia previsti per diversi scenari di cambiamento climatico, fornite da altri modelli di flussi turistici. Gli arrivi di turisti stranieri e italiani possono essere ripartiti all'interno delle province "alpine" trasponendo a livello sub-nazionale la relazione tra domanda turistica e temperatura stimata a livello nazionale. Il meccanismo di redistribuzione dei flussi è governato dai differenziali di temperatura, questa volta provinciale rispetto alla media italiana. Le variazioni negli arrivi vengono tradotte in variazioni delle presenze e successivamente di spesa. Tale approccio applica a livello di zona alpina la stessa metodologia utilizzata dalle ricerche condotte a livello di aggregato nazionale. Se da un lato è in grado di evidenziare trend e ordini di grandezza è anche soggetto a importanti limitazioni. Anzitutto non contempla possibili strategie di adattamento dell'offerta turistica, riassume tutte le determinanti climatiche della domanda in un'unica variabile: la temperatura, e non considera alcun elemento di stagionalità nelle previsioni di spesa turistica. Quest'ultimo aspetto è particolarmente rilevante per il

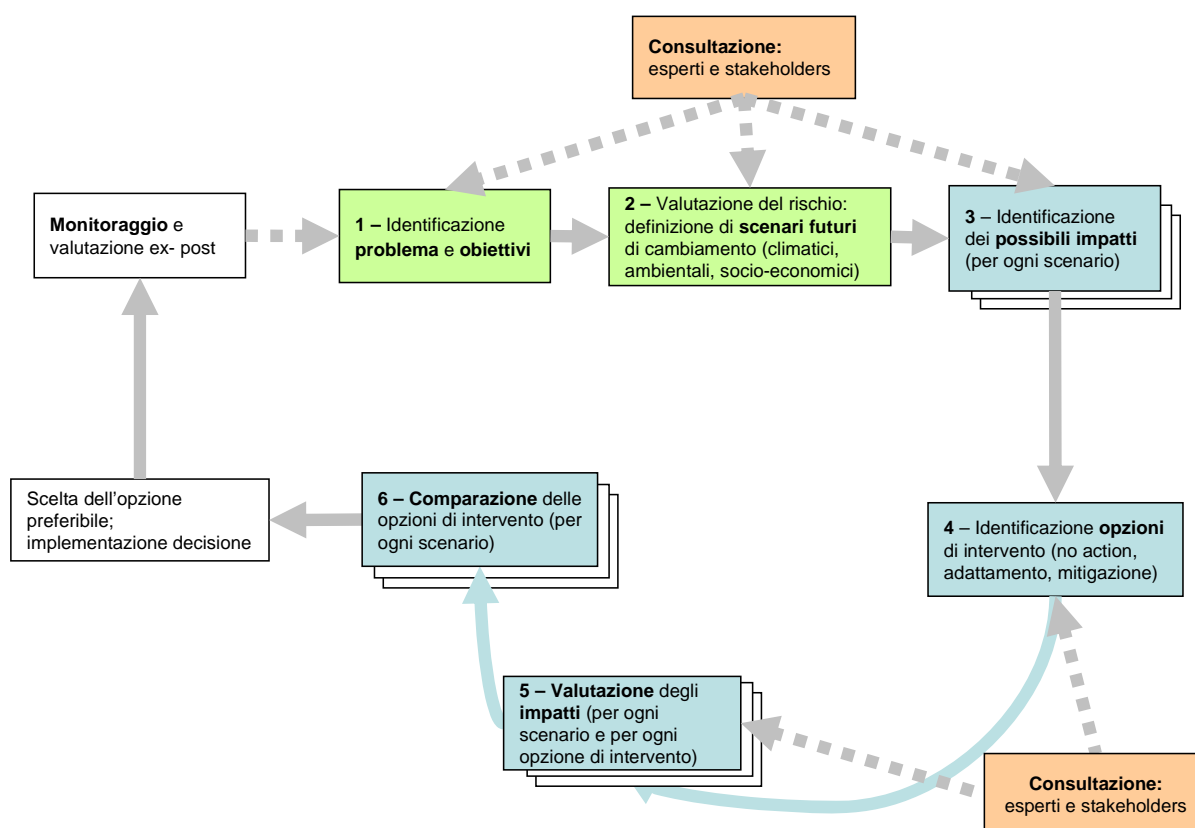
settore alpino in cui la domanda di turismo invernale, oltre ad essere particolarmente vulnerabile alle condizioni climatiche è anche caratterizzata da dinamiche del tutto peculiari.

4.4 Aumento del livello medio del mare: come stimare gli impatti del cambiamento climatico

Vi sono una miriade di strategie di adattamento alternative che potrebbero essere adottate dai vari settori economici ed istituzioni coinvolti, a diversi livelli territoriali ed amministrativi: politiche, programmi, piani e progetti a livello locale, regionale, nazionale ed internazionale.

La quantificazione in termini monetari dei possibili costi del cambiamento climatico è quindi un processo complesso, che può richiedere l'applicazione di tecniche di stima diverse, talvolta onerose, a seconda dell'impatto da quantificare, del livello di dettaglio che si desidera ottenere e, non ultimo, dell'accessibilità e grado di incertezza dei dati disponibili (per una rassegna vedi Travisi et al., 2005). Non solo, la quantificazione dei costi è resa ulteriormente difficile dal problema metodologico di attribuire un valore monetario ad impatti su beni pubblici o di tipo *non-market*, ovvero beni il cui valore non è (pienamente) espresso nei mercati, dalla normale interazione di domanda ed offerta.

Alla luce di questa discussione, si propone qui uno schema metodologico per la valutazione come supporto alla decisione, articolato in sette fasi. Nei confronti della quadro metodologico proposto dall'IPCC (1991)²¹ questa articolazione tiene maggiormente conto della necessità di coinvolgere attori e portatori di interesse in diversi momenti della valutazione e di tenere conto delle incertezze che sono una delle caratteristiche implicite nelle previsioni sugli impatti. La metodologia generale si articola secondo le fasi illustrate nella Figura 17.



²¹ Il *framework* presentato all'inizio degli anni '90 era articolato come segue: (1) delimitazione dell'area studio; (2) inventario delle caratteristiche dell'area studio; (3) identificazione dei fattori socio-economici rilevanti; (4) valutazione delle trasformazioni fisiche; (5) formulazione di strategie di risposta; (6) valutazione del profilo di vulnerabilità; (7) identificazione di bisogni futuri. (IPCC 1991)

Figura 17: Schema della metodologia generale di valutazione dei costi e delle strategie di adattamento agli impatti del cambiamento climatico in aree costiere.

Considerando come esempio la crescita del livello medio del mare, la catena di causa-effetto genera una serie di impatti diretti sul territorio costiero tra cui, ad esempio, la perdita di suolo in prossimità della linea di costa. Tale impatto produce, a sua volta, una serie di impatti indiretti che si ripercuotono sul turismo attraverso la perdita di strutture recettive o di ricreazione, come ad esempio una conseguente riduzione di presenze turistiche. I portatori di interesse che potrebbero risentire maggiormente di tale fenomeno sono gli operatori turistici, i turisti, le pubbliche amministrazioni e tutte le strutture ricettive e di ristorazione. In base al quadro del sistema e ai legami causa-effetto individuati tra i fattori, è possibile individuare strategie di adattamento *ad hoc* e valutarne i costi e i benefici in base alle loro caratteristiche.

Tabella 15: Cambiamento climatico: crescita del livello del mare: esempio di matrice di impatto

Impatti diretti	Impatti indiretti potenziali	Settore colpito	Impatti di settore potenziali	Principali stakeholder
Perdita permanente e temporanea del suolo	Perdita di proprietà	Settore domestico	Perdita di proprietà	Famiglie, individui, imprese di costruzioni, proprietari terrieri, amministrazioni locali, compagnie assicurative
			Ridotta salubrità ambientale	
			Cambiamenti nella domanda di proprietà nell'area colpita	
	Perdita di suolo agricolo	Agricoltura	Perdita di produttività	Aziende agricole e consumatori di prodotti agricoli
			Perdita di suolo con habitat naturali	Habitat naturali
	Allagamento di aree depresse	Habitat naturali	Migrazione di Specie/ecosistemi	
			Perdita di specie/ecosistemi	Turisti, autorità pubbliche, organizzazioni nazionali
	Perdita di siti ricreativi	Turismo	Perdita di specie/ecosistemi	Turisti, tour operator, istituzioni pubbliche, strutture ricettive e di ristorazione
			Migrazione di Specie/ecosistemi	
	Pianificazione e riassetto territoriale	Tutti i settori	Riduzione di affluenze nel sito colpito	Popolazione locale, produttori, impiegati, regolatori, autorità pubbliche, compagnie assicurative
Scelta di siti alternativi				
Ridotta salubrità ambientale				
Perdita temporanea di produttività				
			Indennizzi	
			Gestione di ripristino	

Una valutazione degli impatti economici della perdita permanente e temporanea di territorio e dei costi di adattamento riguarderà due livelli di impatti: quelli diretti di primo livello (per esempio la perdita di terreno e strutture edilizie) e quelli di secondo livello (per esempio le perdite subite dagli abitanti di queste strutture, in termini di benessere individuale, ecc.). Una stima degli impatti diretti

si baserà, per la maggiore parte delle tipologie degli oggetti interessati, sui valori di mercato attuali, applicando un tasso di sconto per riportare i valori di perdite future ai livelli quotidiani. Questo vale sia per aree produttive e residenziali, sia per aree utilizzate per servizi, compreso il turismo. Per inserire nel processo decisionale i valori di beni e strutture privi di valori di mercato, si possono utilizzare tecniche di valutazione specifiche in grado di attribuire valori di mercato per questi beni, oppure utilizzare metodologie di valutazione multicriteriali, che permettono il confronto di opzioni con diverse scale di misura. Per gli habitat terrestri, la valutazione dell'impatto economico può passare, come illustrato nel caso studio Sangro, attraverso l'attribuzione del valore agricolo delle superficie occupate da queste aree. Bisogna però tenere conto che con questo approccio si coglie però solo una parte del loro valore sociale. Una più appropriata valutazione delle perdite causate dall'inondazione di queste aree si ottiene attraverso metodi di *stated* oppure *revealed preferences*, oppure ricorrendo a forme di valutazione che utilizzano espressioni di valore non monetarie.

Strategie di valutazione del significato economico e sociale della perdita di biodiversità ovviamente non possono rincorrere a rilievi di prezzi sul mercato. In questo caso tecniche di valutazione integrata di tipo multicriterio o basato su tecniche di *stated preferences* saranno in grado di dare un' approssimazione dei valori che la società attribuisce a elementi di biodiversità. (vedi Nunes, van den Bergh et al. 2004).

4.5 Aree a rischio desertificazione: come stimare gli impatti del cambiamento climatico

Alla luce dei gap identificati in letteratura e in una prospettiva di approccio integrato alla lotta contro la desertificazione proponiamo il seguente percorso metodologico per la stima dei costi della desertificazione:

1. Il disegno di un modello concettuale di rappresentazione e analisi del problema della lotta alla desertificazione (ad esempio, il modello DPSIR), per identificare i processi di degrado del suolo che si vogliono considerare e le loro relazione con i sistemi ecologici e socio-economici.
2. L'identificazione della scala spaziale e temporale di riferimento per l'analisi dei costi
3. La stima dei costi dell'inazione in base all'approccio geografico spaziale, considerando gli usi del suolo rilevanti rispetto ai sistemi di degradazione di riferimento per la valutazione (ad esempio: erosione idrica, deposizione, urbanizzazione, salinizzazione, aridità) integrata da:
 - valutazione economica degli impatti socio-economici diretti, inclusi i 'servizi ambientali' offerti dalla risorsa suolo, attraverso tecniche di valutazione economica proprie dell'economia ambientale o metodi di benefit transfer, e quando possibile dei costi indiretti, utilizzando le metodologie più appropriate;
 - - utilizzo di scenari climatici e socio-economici, nell'ambito di un modello integrato per un'analisi dinamica dei costi della desertificazione;
3. La valutazione economica di possibili misure di adattamento, nella forma di diverse pratiche di utilizzo e gestione del suolo, secondo la metodologia più adatta fra CBA, CEA, e MCA.

Rispetto al punto 3, data l'interrelazione fra fattori antropici, climatici ed ambientali la stima dei costi di inazione nel contesto della desertificazione richiede un'analisi complessa e necessariamente integrata. D'altra parte, i temi della desertificazione, e più in generale, del degrado delle terre, e dei cambiamenti climatici sono generalmente trattati da due filoni di ricerca distinti e, di questi, il secondo è sicuramente molto più vasto e consolidato. Visti i legami fra le due tematiche, è evidente l'interesse e la necessità di integrare e mutuare i diversi approcci proposti, per poter affrontare in modo efficace il tema degli impatti e delle strategie di adattamento, e in particolare quello della loro valutazione.

Un'indagine recente sugli studi condotti a partire dagli anni '80 sui costi economici della desertificazione e del degrado della terra (Requier-Desjardins 2006) ha identificato essenzialmente due categorie di approcci metodologici:

- uso di modelli empirici per la valutazione del processo di degrado del suolo, che spesso si richiamano alla Equazione Universale delle Perdite di Suolo (USLE nell'acronimo anglosassone). Ovvero un approccio puntuale alla scala di campo che affronta solo una delle componenti del fenomeno, richiedendo quindi, a latere, l'identificazione di altri costi della desertificazione.
- approccio geografico o "spaziale", che si basa su un'analisi dell'uso del suolo per stimare la produttività primaria potenziale per ogni tipo di uso (terre coltivate irrigate, non irrigate, pascoli, foreste e così via).

Entrambi questi approcci presentano una serie di limitazioni nella loro applicazione al contesto dei cambiamenti climatici, tra cui: una scarsa predisposizione ad analizzare gli effetti della variabilità climatica corrente e degli scenari climatici futuri; l'estrema difficoltà nel separare ed analizzare gli effetti dell'adattamento al degrado delle terre (come l'utilizzo di tecnologie più efficienti per l'irrigazione, o il passaggio ad un diverso tipo di coltivazioni); la mancata inclusione della stima economica di numerose altre funzioni produttive, nonché degli impatti indiretti del degrado delle terre, che porta quindi ad una sottostima del costo sociale della desertificazione.

I due approcci metodologici potrebbero però essere estesi alla valutazione degli impatti indiretti della desertificazione, tenendo conto anche dei costi esterni e dei servizi ecologici offerti dalle terre vulnerabili, quali ad esempio la perdita di biodiversità. Questi metodi potrebbero inoltre essere affinati attraverso un'integrazione con i metodi di analisi utilizzati per la stima dei costi di inazione al cambiamento climatico, utilizzandone anche gli scenari climatici, sociali ed economici nella direzione di un approccio dinamico integrato. A tal fine, l'estensione del modello geografico-spaziale pare più promettente rispetto all'uso della USLE nella direzione delle integrazioni auspiccate, in quanto questo modello è maggiormente in grado di riflettere le differenze topografiche, climatiche e socio-economiche esistenti sul nostro territorio. L'approccio geografico-spaziale è infatti idoneo a considerare i diversi sistemi di degradazione che portano alla desertificazione in Italia prendendo come riferimento quelli considerati nell'Atlante Nazionale (erosione idrica; deposizione; urbanizzazione; salinizzazione; aridità.), permettendo inoltre di sviluppare analisi di scenario sulla base di dati e indicatori disponibili, già raccolti ed illustrati nell'Atlante, come illustrato nel Riquadro 11 dedicato al caso italiano e riferito a diverse scale di analisi.

Riquadro 11: Possibili approcci valutativi nel caso italiano

Passando a considerare le possibilità di valutazione degli impatti e dell'adattamento in Italia, si possono individuare diverse scale geografiche di riferimento.

- ⇒ Alla *scala di riconoscimento*, un approccio di tipo geografico-spaziale potrebbe essere sviluppato, per il calcolo del costo di inazione alla desertificazione, in modo da essere più idoneo, rispetto agli approcci finora utilizzati in altri Paesi, alla considerazione dei diversi sistemi di degradazione che portano alla desertificazione sul territorio nazionale. Per poter operare si dovrebbero innanzitutto identificare i sistemi di degradazione rispetto ai quali eseguire la valutazione, avendo come riferimento quelli considerati nell'Atlante Nazionale, e cioè: a) erosione idrica; b) deposizione; c) urbanizzazione; d) salinizzazione; e) aridità. Sempre con riferimento a quanto riportato nell'Atlante, si potrebbero quindi utilizzare le analisi di tipo fisico prodotte da studi recenti (ad esempio nel caso dell'erosione idrica: valutazioni della massa del suolo, dei fenomeni di erosione, degli indici di vegetazione, di suscettività agli incendi, di pressioni legate all'uso agro-silvo-pastorale, di misure agro-ambientali o di protezione del suolo) per effettuare valutazioni di scenario ed analizzare gli effetti di diverse politiche di lotta alla desertificazione. Viste le grandi differenze topografiche, climatiche e socio-economiche esistenti all'interno del Paese, sarebbe fondamentale sfruttare il più possibile le conoscenze specifiche sui sistemi territoriali, naturali e antropici disponibili a livello nazionale.
- ⇒ Alla *scala di semi-dettaglio*, sarebbe sicuramente auspicabile eseguire degli studi a livello regionale, adottando una metodologia comune, ma adattata di volta in volta alle specifiche fonti di pressione. L'analisi si dovrebbe concentrare sulle aree di maggiore interesse identificate alla scala di riconoscimento e partire dalla base conoscitiva fornita dai numerosi studi già realizzati sugli aspetti fisici del fenomeno e sulla vulnerabilità. Sarebbe opportuno, per quanto fattibile, comprendere nella valutazione economica la considerazione degli impatti socio-economici indiretti, legati ai servizi ambientali forniti dalle aree vulnerabili. Inoltre, ci si potrebbe porre l'obiettivo di estendere l'analisi degli impatti del degrado del suolo alla considerazione degli effetti attesi dei cambiamenti climatici sulla desertificazione e sui conseguenti aumenti dei costi, attraverso l'integrazione dei modelli di desertificazione con i modelli economici di impatto dei cambiamenti climatici più idonei. Sono già disponibili ad esempio stime economiche sugli effetti di stagioni estive particolarmente calde sulla numerosità degli incendi in Italia, che costituiscono una delle cause principali di degrado del suolo (Galeotti et al. 2004).
- ⇒ Alla *scala di dettaglio* si potrebbe poi procedere entrando nello specifico della valutazione delle misure di costi di inazione e di misure di difesa del suolo più idonee a livello locale. Ad esempio, dove la desertificazione è dovuta primariamente a pratiche agricole non sostenibili e carenza idrica, le analisi economiche dovrebbero concentrarsi sui costi d'impatto dello "status quo" e sulla valutazione di possibili misure di lotta al degrado del suolo, razionalizzazione e risparmio d'acqua ecc, come più ampiamente sviluppato nell'Appendice Metodologica A questo fine, sarebbe molto importante contribuire alla raccolta e pubblicazione di informazioni sui costi di possibili interventi (ad esempio costi per ettaro di terreno) e sull'efficacia di diverse misure di lotta alla desertificazione.

4.5 Appendice Metodologica – riferimenti bibliografici

- APAT (2006), La vulnerabilità alla desertificazione in Italia: raccolta, analisi, confronto e verifica delle procedure cartografiche di mappatura e degli indicatori a scala nazionale e locale, Manuali e linee guida - 40/2006.
- Atlante Nazionale delle aree a rischio di desertificazione (In corso di Stampa), CRA - Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Istituto sperimentale per lo studio e la difesa del suolo, Centro nazionale di cartografia pedologica, Ministero per le politiche agricole e forestali; INEA - Istituto Nazionale di Economia Agraria;
http://www.cnlsd.it/documenti/Atlante_desertificazione.pdf
- Bateman, I. J., et al. (2002), *Economic Valuation with Stated Preference Techniques. A Manual*. Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Bergland, O., Magnussen, K., et al. (1995), *Benefit Transfer: Testing for Accuracy and Reliability*. Ås, Norway.
- Bosello, F, Roson, R., Tol, S.J.R. (2005), *Economy-Wide Estimates of the Implications of Climate Change: Human Health*. FEEM Working Paper 97.05, Milan, Italy.
- Carson, R. T. (1991), *Constructed Markets*, in *Measuring the demand for environmental quality*, edited by Braden, J. B. and Kolstad, C. D.
- Desvousges, W., Johnson, F., Banzhaf, S. (1998), *Environmental Policy Analysis with Limited Information: Principles and Applications of the Transfer Method*. Cheltenham: Edward Elgar.
- EEA (2000), *The European Topic Centre on Terrestrial Environment: Corine land cover raster database 2000 - 100m.*, European Environmental Agency, Copenhagen.
- EEA (1999), *Environmental indicators: Typology and overview*, EEA Technical Report No 25/1999, European Environmental Agency, Copenhagen.
- EEA (2001), *Reporting on environmental measures. Are we being effective?* EEA Environmental Issues Report No 25/2001, European Environmental Agency, Copenhagen.
- Freeman, A. M. III (1993), *The measurement of environmental and resource values: theory and methods*, Washington : Resources for the future.
- Galeotti, M., Gorla, A., Spantidaki, E., Mombrini, P. (2004), *Weather Impacts on Natural, Social and Economic Systems (WISE) - Part I: Sectoral Analysis of Climate Impacts in Italy*, FEEM WP 31.04.
- Hanemann, W. M. (1991), *Willingness to Pay and Willingness to Accept: how much can they differ?* *American Economic Review*, 81, 635-647.
- Hanemann, W. M. (1994), *Valuing the Environment Through Contingent Valuation*, *The Journal of Economic Perspectives*, 8(4), pp. 19-43.
- IPCC (1991), *IPCC Common Methodology*. The Hague, The Netherlands.
- Louviere, J. J., Hensher, D. A., Swait, J. D. (2000), *Stated choice methods: analysis and application*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Maddison, D., Bigano, A. (2003), *"The Amenity Value of the Italian Climate"*, *Journal of Environmental Economics and Management*, 45: 319-332.
- MAFF (1999a), *Flood and Coastal Defence Project Appraisal Guidance, (FCDPAG3)*. London: MAFF Publications, <http://www.defra.gov.uk/enviro/fcd/pubs/pagn/default.htm>.

- Markandya, A., Cistulli, V., Harou, P., Giovanni, L. B. (2002), *Environmental Economics for Sustainable Growth: A Handbook for Practitioners*. November 2002. Edward Elgar Publishers.
- Metroeconomica (2004), *Costing the impacts of climate change in the UK: overview of guidelines*. UKCIP Technical Report. UKCIP, Oxford.
- Mitchell, R.C., Carson, R.T. (1989), *Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method*, Washington, DC: Resources for the Future.
- Navrud, S. (1994), *Economic Valuation of External Costs of Fuel Cycles: Testing the Benefit Transfer Approach*. Model for Integrated Electricity Resource Planning. A. T. de Almida. Dordrecht, NL, Kluwer Academic Publishers.
- Nicholls, R. J., Leatherman, S. P., Dennis, K. C., Volonte, C. R. (1995), *Impacts and Responses to Sea-Level Rise: Qualitative and Quantitative Assessments*, *Journal of Coastal Research*, Special Issue 14, 26-43.
- Nunes, P. A. L. D., van den Bergh, J. C. J. M., et al. (2004), *La valutazione della biodiversità attraverso indicatori economici ed ecologici di biodiversità. Energia, Bellezza, Partecipazione: La Sfida della Sostenibilità. Valutazioni integrate tra conservazione e sviluppo*. L. Fusco Girard and P. Nijkamp. Milano, Franco Angeli, 214 – 251.
- Parry, M., Carter, T. (1998), *Climate Impact and Adaptation Assessment*. London: Earthscan Publications Limited.
- Povellato, A., Bosello, F., Giupponi, C. (2007), *Cost-effectiveness of greenhouse gases mitigation measures in the European agro-forestry sector: a literature survey*. *Environmental Science and Policy*. In press.
- Requier-Desjardins M. (2006), *Investing in Recovery of Arid Land*. IRD/C3ED e CSFD, paper presentato alla Conferenza UNCCD di Roma, Dicembre 2006.
- Tol, R.S.J. (2002), *New Estimates of the Damage Costs of Climate Change, Part I: Benchmark Estimates*, *Environmental and Resource Economics*, 21 (1), 47-73.
- Travisi, M.C., Camagni, R., (2005), *Sustainability of Urban Sprawl: Environmental-Economic Indicators for the Analysis of Mobility Impact in Italy*, *Fondazione Eni Enrico Matteri Working Paper 102.2005*, Milan, Italy.
- UNFCCC (2005), *Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change*.
- Viscusi, W.K., Aldy, J.E., (2003), *The Value of a Statistical Life: A Critical Review of Market Estimates throughout the World*, *Journal of Risk and Uncertainty*, Springer, 27(1), 5-76.
- Willows, R.I., Connell, R.K. (editors) (2003), *Climate Adaptation: Risk, Uncertainty and Decision making*, UKCIP Technical Report. Oxford: UKCIP.