

Dimensioni socio-economiche, costi dell'inazione e strategie di adattamento per l'impatto del cambiamento climatico sul sistema idrogeologico italiano

Andrea Bigano¹, Francesco Pauli²

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

2 - Università degli Studi di Padova,
Fondazione Eni Enrico Mattei,
Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici

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. I principali risultati sono stati presentati nel workshop preparatorio alla CNCC "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.

Commenti e suggerimenti sono benvenuti all'indirizzo economics@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	3
2. Identificazione degli stressor climatici e ambientali	6
2.1 Cambiamento climatico e precipitazioni.....	6
2.1.1. Incertezza	6
2.1.2 Consenso	7
2.2 Dal cambiamento climatico all'aumento del rischio di inondazioni.....	9
2.2.1 Modelli dell'impatto del cambiamento climatico sulle inondazioni.....	11
2.3 Le frane	13
2.3.1 Le frane e il cambiamento climatico.....	14
3. Valutazione socio-economica degli impatti e delle strategie di adattamento	15
3.1 Impatti delle inondazioni sui sistemi socioeconomici	15
3.1.1 Valutazione degli impatti socioeconomici dell'aumentato rischio di inondazione: l'approccio PESETA.....	16
3.2 Impatti delle frane sui sistemi socioeconomici	20
3.3 Costi di adattamento.....	20
3.3.1 Costi di adattamento in generale.....	20
3.3.2 Costi di adattamento per inondazioni e frane.....	23
4. Vulnerabilità economica e indicazioni per una politica di adattamento.....	27
4.1 Valutazione della vulnerabilità futura.....	27
4.2 Politiche di adattamento europee	27
4.3 Raccomandazioni per le politiche di adattamento	32
5. Conclusioni e gap conoscitivi da colmare.	33
Bibliografia	35
Appendice A: Proposte Metodologiche:.....	42
A.1. Metodologia per stimare i costi dell'inazione dovuta all'aumento del rischio idrogeologico in Italia	42
A.1.1 Linee guida metodologiche per includere altri impatti.	45
A.2 Costi di adattamento per il Settore Pubblico. Una possibile metodologia di valutazione.	53
Appendice B: Misure di prevenzione delle inondazioni suggerite da Munich Re	54

1. Introduzione

Questo studio indaga la problematica della valutazione dei possibili impatti del cambiamento climatico sul rischio idrogeologico e le misure (con relative costi) disponibili per l'adattamento a tale rischio specifico del cambiamento climatico.

Questi problemi sono particolarmente rilevanti per l'Italia, perché il nostro paese è e sarà in futuro esposto in misura importante al rischio idrogeologico ed è naturale aspettarsi che il cambiamento climatico avrà un impatto su tale rischio.

Queste preoccupazioni sono reali perché, come confermato in modo inconfutabile dal quarto rapporto dell'IPCC (IPCC, 2007a), il cambiamento climatico è una realtà. Questa evidenza empirica è però riconosciuta in maniera ineguale a livello politico in tutto il mondo. L'Unione Europea ha preso la posizione più proattiva sulla necessità di mitigare il cambiamento climatico e di prevenire impatti pericolosi, e si è 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.

Tuttavia, la mitigazione non può essere l'unica risposta al cambiamento climatico. Anche se le emissioni di gas serra fossero stabilizzate oggi, nei prossimi decenni si avrebbero comunque aumenti di temperatura ed effetti associati. Ciò significa che dovremo 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): anche qualora gli obiettivi UE fossero raggiunti, l'Europa e il resto del mondo dovranno adattarsi a cambiamenti inevitabili. A livello europeo è stata recentemente riconosciuta la necessità di affrontare l'adattamento al cambiamento climatico che ha portato al lavoro della Commissione su un "*Green Paper on Climate Change and Adaptation*" (presentato al pubblico il 3 luglio 2007)¹.

Il quarto rapporto dell'IPCC conferma molte 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 e la frequenza e l'intensità degli eventi estremi, con modalità differenti in differenti regioni del mondo. 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 limitato dall'incertezza, è opinione condivisa che si avranno:

- a) un aumento della temperatura media in tutta Europa;
- b) un aumento nella *frequenza* delle precipitazioni in tutta Europa;
- c) una diminuzione nella *frequenza* delle precipitazioni nell'Europa del Sud;
- d) un aumento nell'*intensità* delle precipitazioni nell'Europa del Nord;
- e) una diminuzione nell'*intensità* delle precipitazioni nell'Europa del Sud;
- f) un possibile aumento nella *frequenza* di eventi con precipitazioni intense in tutta Europa.

L'ultimo elemento di questa lista rimanda alla 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 in media finora. Analoga considerazione vale per le frane, alle quali il territorio italiano è particolarmente esposto e che possono essere innescate da precipitazioni intense.

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.

Il problema dell'influenza del cambiamento climatico sul rischio idrogeologico in Europa e in Italia è complesso e rilevante. Le cifre in gioco sono impressionanti, dato che le inondazioni, finora, sono state la principale tipologia di catastrofe naturale in Europa (283 alluvioni catastrofiche negli ultimi 25 anni). Quanto all'Italia, i dati EM-DAT indicano che, tra i disastri naturali², le inondazioni si collocano al primo posto, con i terremoti, per popolazione colpita e numero di senz'atetto, al secondo posto in termini di danni economici. Le frane, essendo fenomeni localizzati, interessano meno persone e causano meno danni, ma mietono più vittime delle inondazioni. Le rilevanti statistiche EM-DAT per l'Italia sono riassunte nella tabella seguente.

	N. di Eventi	Morti	Feriti	Senzatetto	Colpiti	Totale Colpiti	Danni US\$ (000)
Siccità	1	0	0	0	0	0	0
media per evento		0	0	0	0	0	0
Terremoti	29	115324	3749	197300	764372	965421	30984852
media per evento		3977	129	6803	26358	33290	1068443
Epidemie	2	3	0	0	10001	10001	0
media per evento		2	0	0	5001	5001	0
Temperature Estreme	3	20019	0	0	0	0	4400000
media per evento		6673	0	0	0	0	1466667
Alluvioni	29	694	22	1492450	1365750	2858222	23710090
media per evento		24	1	51464	47095	98559	817589
Frane	13	2584	198	5685	13713	19596	1228700
media per evento		199	15	437	1055	1507	94515
Eruzioni vulcaniche	5	735	24	14000	7000	21024	3100
media per evento		147	5	2800	1400	4205	620
Incendi	5	8	20	0	300	320	881000
media per evento		2	4	0	60	64	176200
Trombe d'Aria	14	258	119	0	6200	6319	2312900
media per evento		18	9	0	443	451	165207

Tabella 1.1 Principali Catastrofi Naturali in Italia dal 1905 al 2006. Fonte: EM-DAT³:

L'Europa, tuttavia, sta imparando ad affrontare le catastrofi di questo genere: il numero di vittime è in costante diminuzione. In questo ambito, il potenziale delle strategie di adattamento, mirate a minimizzare l'impatto sul *welfare* delle persone esposte al rischio di inondazioni e frane, sulle risorse naturali coinvolte e sul potenziale di crescita delle zone a rischio, è notevole. È quindi estremamente importante che l'impatto del cambiamento climatico sia preso in debita considerazione nella 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 prevedendo il cambiamento climatico in tutte le sue politiche, comprese quelle relative alle risorse idriche.

² Affinché una catastrofe sia inserita nel database EM-DAT almeno uno dei criteri seguenti deve essere soddisfatto: a) il numero di vittime è pari o superiore a 10; b) almeno 100 persone colpite; c) richiesta di assistenza internazionale o d) dichiarazione di stato di emergenza.

³ Database gestito congiuntamente da OFDA (Office of U.S. Foreign Disaster Assistance) e CRED (Centre for Research on Epidemiology of Disasters). International Disaster Database www.em-dat.net - Université catholique de Louvain - Brussels - Belgium. Primo Evento: Settembre 1905, Ultimo Evento: Aprile 2006. Tra le epidemie include: SARS (Acute respiratory syndrome), Morbillo.

Il rapporto tra rischio idrogeologico e cambiamento climatico è un'area con 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 o sull'agricoltura e sulle foreste in seguito al cambiamento dei raccolti e della vegetazione, ma anche variazioni nel rischio di inondazioni e di frane, a causa dello scioglimento accelerato di neve e ghiacciai, e della maggiore instabilità delle piste in montagna e l'aumentato rischio di inondazioni per la tracimazione dei laghi glaciali. In termini di adattamento, è talvolta difficile distinguere le strategie adeguate per affrontare il rischio d'inondazione e quelle per far fronte alla scarsità di acqua: entrambe hanno (almeno parzialmente) a che fare con l'ottimizzazione delle risorse idriche e, indipendentemente dal fatto che il rubinetto debba essere chiuso o aperto, è il disegno del rubinetto che conta. È quindi importante adottare, per quanto possibile, delle *no-regret measures*, quali che siano gli impatti climatici prevalenti sulle risorse idriche, queste misure saranno perlomeno non peggiorative della situazione esistente.

Questo studio esplora i vari aspetti delle interazioni fra il cambiamento climatico e eventi idrogeologici quali frane e inondazioni, dagli effetti fisici alla valutazione economica dei danni conseguenti alle frane e inondazioni stesse tenendo conto delle strategie di adattamento. La sezione successiva tratterà il percorso che lega le variazioni del clima regionale all'identificazione degli *stressor* climatici/ambientali rilevanti per il rischio idrogeologico. La Sezione 3 si occuperà della valutazione economica degli effetti del cambiamento climatico sui rischi idrogeologici, passando in rassegna lo stato dell'arte e le metodologie finora proposte per valutazioni di questo tipo, nonché i risultati attualmente disponibili. Inoltre, questa sezione analizzerà i costi di adattamento per l'Italia, considerando sia quelli sostenuti dal settore pubblico (principalmente in termini di manutenzione delle zone predisposte alle inondazioni), sia quelli sostenuti dagli operatori economici privati, sulla base di uno studio di caso per la città di Venezia. La Sezione 4 affronterà le strategie di adattamento, identificando le zone più vulnerabili, passando in rassegna il relativo *policy-framework* europeo, e scegliendo alcune politiche che potrebbero essere adatte a essere proposte in Italia. Le conclusioni, anche in termini di lacune conoscitive che è necessario colmare, sono contenute nella Sezione 5. Un'Appendice metodologica proporrà una *roadmap* metodologica preliminare per l'applicazione dei metodi di analisi al caso italiano.

2. Identificazione degli stressor climatici e ambientali

2.1 Cambiamento climatico e precipitazioni

L'ultimo Rapporto di Valutazione del Comitato Intergovernativo sul Cambiamento Climatico (*Intergovernmental Panel Assessment Report on Climate Change*, IPCC, 2007a,b) prevede un aumento delle temperature, l'alterazione delle caratteristiche delle precipitazioni e il verificarsi di fenomeni meteorologici estremi più frequenti e intensi (tra cui siccità e inondazioni). A livello locale vi è una forte incertezza sugli effetti del cambiamento climatico, in particolare per quanto concerne le precipitazioni, che sono il fattore più rilevante per il rischio idrogeologico.

2.1.1. Incertezza

In generale, nei modelli climatici, vige molta più incertezza sulle precipitazioni che sulle temperature. Nonostante siano sempre più numerosi i modelli climatici che indicano la presenza di un legame tra il cambiamento climatico e i cambiamenti nelle caratteristiche delle precipitazioni, la definizione precisa degli effetti rilevanti per un determinato paese, e per l'Italia in particolare, è ancora permeata di incertezza. Quest'ultima è dovuta sia all'incertezza intrinseca dell'approccio IPCC SRES degli scenari (le diverse premesse degli scenari implicano differenze nelle caratteristiche delle precipitazioni) sia, fondamentalmente, alle difficoltà riscontrate nel *downscaling* dei risultati del modello GCM a livello regionale con un livello di risoluzione accettabile. Frei et al. (2005) osservano che, nei risultati RCM pubblicati, esiste una comune tendenza all'aumento dei valori estremi delle precipitazioni in Europa, ma esiste anche una notevole variazione tra risultati di modelli diversi per quanto riguarda la distribuzione e l'entità del cambiamento. Nel confronto tra modelli RCM usati nell'ambito del progetto PRUDENCE per lo scenario A2, si riscontra che i modelli testati per la ricorrenza dei valori estremi delle precipitazioni tendono a produrre risultati comparabili per le precipitazioni invernali, mentre esiste una maggiore variabilità nei risultati estivi. Tuttavia, nonostante la variabilità della risposta complessiva, è evidente una componente di cambiamento, coerente tra modelli, che riguarda in particolare i valori estremi. Sempre nell'ambito del progetto PRUDENCE, Beniston et al. (2007) hanno rilevato che, per due modelli RCM testati, la riduzione nella frequenza delle precipitazioni estive è "parzialmente compensata da un aumento dell'intensità delle precipitazioni e della frequenza degli eventi con gravi conseguenze, come indicato dai periodi di ritorno, nell'Europa Centrale e nell'area del Mediterraneo". Inoltre osservano che questo fatto sottolinea una differenza tra i valori estremi delle precipitazioni invernali ed estive: in estate le precipitazioni pesanti dipendono criticamente dalla formulazione RCM scelta (come in Frei et al. 2005). Beniston et al. (2007) hanno inoltre testato la sensibilità dei modelli RCM agli scenari di emissioni. È interessante notare che hanno riscontrato che "In molte [...] regioni l'incertezza nei cambiamenti nell'R5d in seguito alla variabilità naturale è grande almeno quanto la variazione tra scenari di emissioni"⁴.

Come sottolineato nel rapporto tecnico EEA sui problemi del Cambiamento Climatico e dell'Adattamento dell'Acqua, (*Climate Change and Water Adaptation Issues*, EEA 2007) vi è una forte incertezza sul ruolo del cambiamento climatico nella variabilità delle precipitazioni, almeno per quanto attualmente osservato e per i prossimi decenni: è probabile che gli effetti del cambiamento climatico siano dominati dalla variabilità naturale fino agli anni '30 del secondo millennio, in particolare a livelli di risoluzione relativamente alti, come i singoli bacini dei fiumi. "Il piccolo 'segnale' e l'elevato 'rumore' negli scenari idro-climatici proiettati agli anni 2030 hanno implicazioni importanti per le politiche e le risposte a breve termine". "Si devono considerare con estrema cautela le affermazioni che sostengono che le tendenze già rilevate durante le osservazioni (generalmente inferiori agli ultimi 30 anni) possano essere attribuite al cambiamento climatico."

⁴ R5d indica la frequenza di ritorno di 5 giorni di precipitazioni continue.

(EEA 2007). Come discusso nella Sezione 4, questo potrà avere conseguenze in termini di strategie di gestione del rischio.

Beniston et al. (2007) notano che “[n]ella maggior parte dei sottodomini, i cambiamenti percentuali previsti negli [...] indici delle precipitazioni pesanti sono strettamente correlati ai cambiamenti nelle precipitazioni medie, ancor più in estate che in inverno. In prima approssimazione, ai cambiamenti percentuali previsti nella media estiva R1d, si può aggiungere un fattore di circa 20–35% ai cambiamenti corrispondenti nelle precipitazioni medie. Il fattore per la media estiva R5d [...] è minore, ma pur tuttavia positivo, ed evidenzia il fatto che l’intensità dei fenomeni individuali di precipitazione aumenta di più (nell’Europa del Nord) o diminuisce di meno (nell’Europa del Sud) del numero totale di giorni piovosi. In inverno, la tendenza a incrementi minori dell’R5d rispetto alle precipitazioni medie può essere spiegata da aumenti sovrapponibili nel numero di giorni piovosi e dall’intensità media delle precipitazioni”.

Christensen e Christensen (2002), in considerazione del relativo cambiamento nella media delle precipitazioni di cinque giorni per luglio- settembre che, nello scenario A2, superano il 99° percentile rispetto al controllo, hanno rilevato che, “simulando una riduzione nelle precipitazioni medie totali, le quantità di precipitazioni negli eventi intensi sono molto meno ridotte e, in molte località, sono addirittura superiori. Più elevato il percentile considerato, più estese sono le zone che evidenziano un cambiamento positivo”. La Figura 2.1 b indica che quanto sopra vale anche per alcune regioni italiane (Valle del Po, costa nord occidentale, Italia centrale e meridionale e Sicilia).

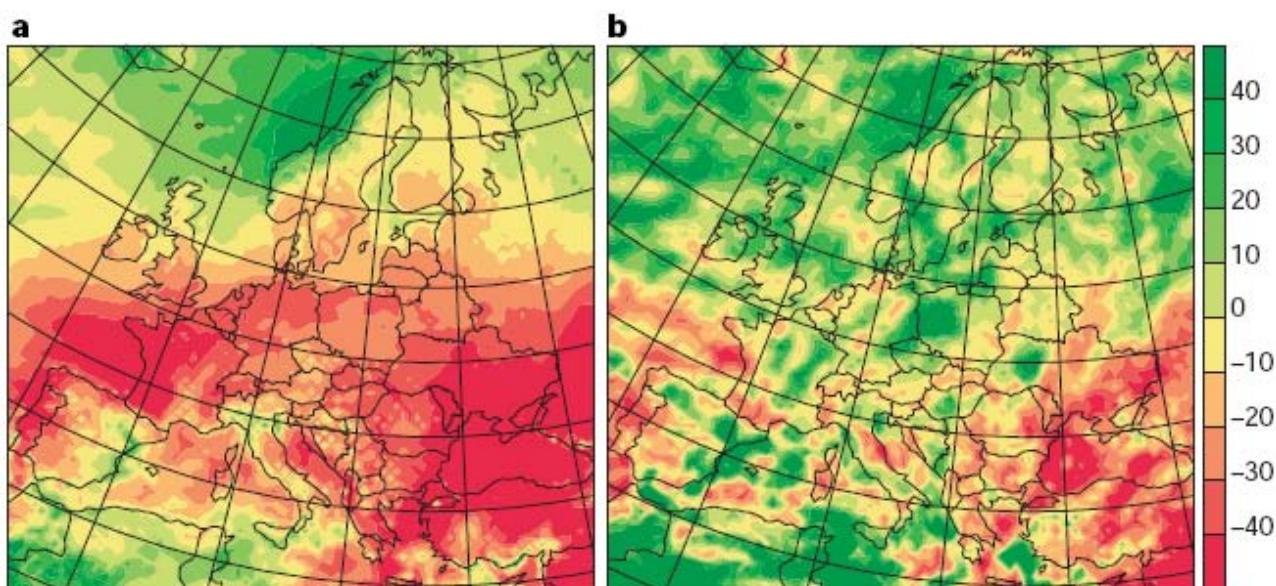


Figura 2.1. Cambiamento percentuale relativo nelle precipitazioni di luglio-settembre nello scenario IPCC A2 rispetto al presente. Il cambiamento relativo è indicato per a, la media stagionale; e b, la media su cinque giorni superiore al 99° percentile. Fonte: Christensen e Christensen (2002).

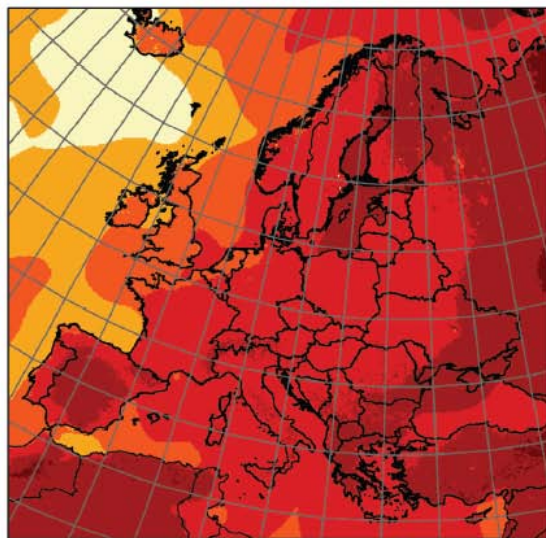
2.1.2 Consenso

Mentre il *downscaling* dei modelli climatologici è un’area in cui la ricerca è in corso, lo stato dell’arte, là dove esiste la possibilità di ridurre l’incertezza delle previsioni, come descritto nel rapporto IPCC, converge sulle caratteristiche seguenti del futuro clima europeo:

- α) Nel 2100 le temperature medie globali saranno di 1,8–4,0° C più alte rispetto alla media del 1980–2000 (migliore stima, *range* probabile 1,1–6,4° C).
- β) 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.
- γ) Potrà verificarsi un aumento delle precipitazioni estreme in tutta Europa.

In termini di caratterizzazione dei *driver* climatici compresi negli studi socioeconomici, il progetto PESETA basa le sue valutazioni economiche degli aumenti del rischio idrogeologico riconducibili al clima, su un modello particolare tra quelli esaminati nel progetto PRUDENCE, vale a dire il modello di clima regionale HIRHAM, usando lo scenario SRES A2 e una risoluzione spaziale di 12 km. Il modello prevede l'aumento delle temperature in tutta Europa, mentre è previsto che le precipitazioni annuali massime aumentino nella maggior parte dell'Europa, con l'eccezione della Spagna del Sud e alcune regioni di altri paesi europei. L'ultima caratteristica è particolarmente rilevante per i rischi di inondazioni e di frane, ed è in linea con le scoperte di Christensen e Christensen (2003). I cambiamenti previsti sono indicati nella Figura 2.2. La Figura 2.2 (b) è piuttosto simile alla Figura 2.1 (b).

(a) change in mean annual temperature



(b) change in annual max. precipitation

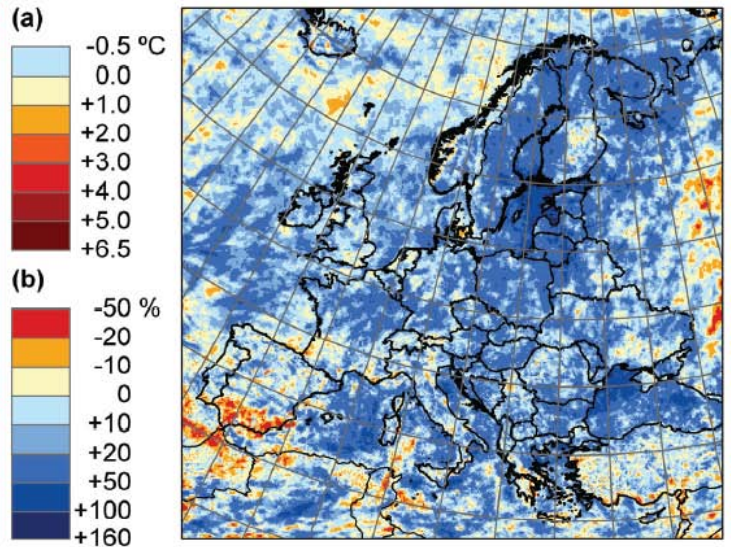


Figura 2.2. Cambiamento assoluto nella temperature medie (a) e cambiamento relativo (scenario diviso dal controllo) nelle precipitazioni massime annuali (b) in Europa secondo quando simulato dal modello HIRHAM (scenario A2, risoluzione 12 km).

La Tabella 2.1 riassume lo stato dell'arte dei cambiamenti climatici osservati e previsti nel mondo e in Europa.

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

Tabella 2.1 Cambiamenti delle condizioni climatiche osservati e previsti. (EEA 2007)

2.2 Dal cambiamento climatico all'aumento del rischio di inondazioni

Come sintetizzato nel paragrafo precedente, le recenti proiezioni del modello climatico indicano (con un livello non trascurabile di incertezza almeno nei primi tre decenni di questo secolo) che il riscaldamento globale intensificherà il ciclo idrologico e aumenterà l'entità e la frequenza delle precipitazioni intense nella maggior parte d'Europa, in particolare nelle zone centrali e settentrionali.

Il cambiamento climatico può influire sullo stato quantitativo e qualitativo delle risorse idriche, alterando i cicli e i sistemi idrogeologici. Le conseguenze principali relative alle risorse di acqua dolce sono gli spostamenti nei cicli delle precipitazioni e della neve, le modifiche nella disponibilità e nella domanda di acqua, i cambiamenti nella qualità dell'acqua, ivi comprese la temperatura e il contenuto di nutrienti, lo scioglimento accelerato dei ghiacciai e l'aumento della frequenza e dell'intensità delle inondazioni e dei periodi di siccità e, soprattutto, l'insorgenza di *flash flood* (piene improvvise) (IPCC, 2007b). Modificandosi il ciclo stagionale delle precipitazioni, il pericolo di inondazioni potrebbe anche aumentare negli inverni più piovosi e caldi, con un incremento costante di pioggia e una minor frequenza di neve. Le modifiche di queste variabili influiscono su

tutti i beni e i servizi socio economici e ambientali che dipendono, direttamente o indirettamente, da queste variabili.

È quindi molto probabile che il cambiamento climatico alteri il livello di rischio determinato dalle condizioni idrogeologiche di un determinato bacino idrico. Tuttavia, la catena di fattori causali tra il cambiamento climatico e l'aumento del rischio idrogeologico non è né lineare, né unica. Per quanto riguarda le inondazioni, esse possono essere sia conseguenza di precipitazioni molto intense sia conseguenza di modifiche nelle condizioni idrogeologiche delle zone montuose del bacino idrico.

Nella letteratura sul cambiamento climatico, entrambi questi problemi hanno ricevuto finora scarsa attenzione; tuttavia, essendo il primo di questi la causa della maggior parte delle inondazioni catastrofiche e quello meno complesso da comprendere per quanto riguarda la catena causale, è stato esplorato in maggiore dettaglio.

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 indicata sotto 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.

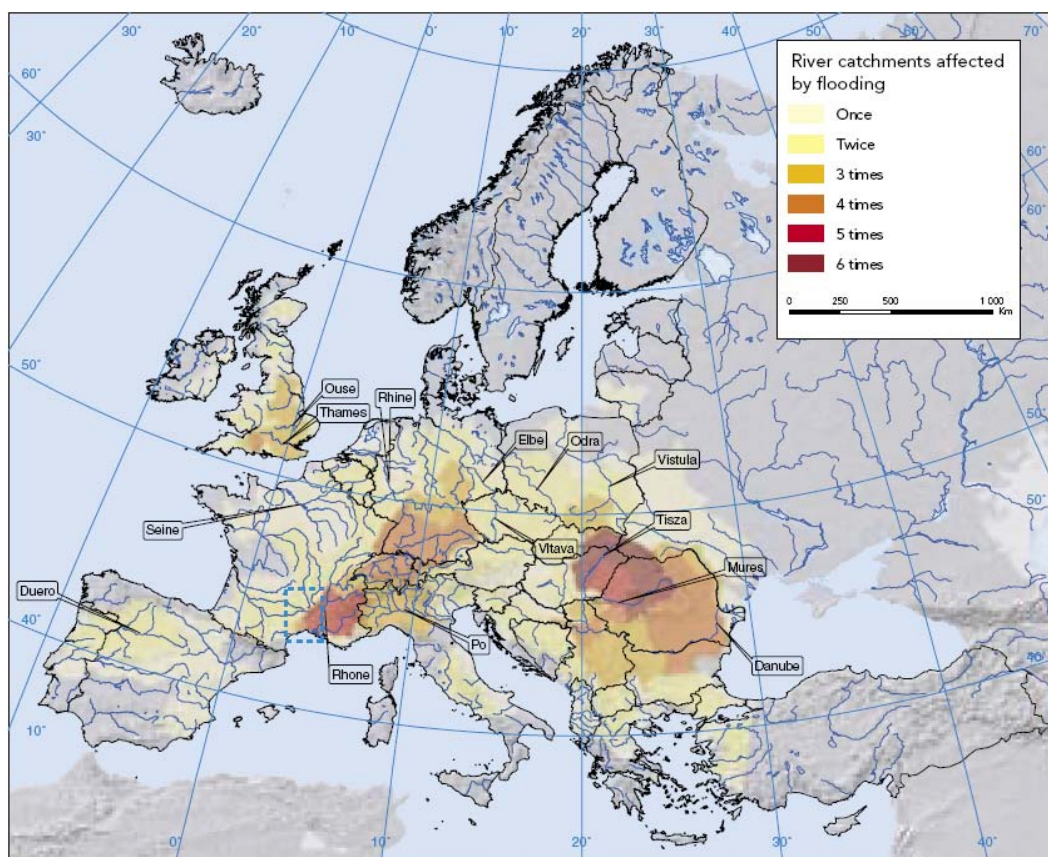


Figura 2.3. Attuale esposizione dei bacini europei alle inondazioni: ricorrenza delle inondazioni nel periodo 1998-2005. La figura riporta i bacini che hanno subito da una (color avorio) a sei (rosso scuro) inondazioni nel periodo considerato. Fonti: EEA, ETC/TE, 2003 (basato su NASA-supported Dartmouth Flood, Observatory/Digital Elevation Model (GISCO)/Rivers (GISCO)/ Watersheds 1M (JRC-IES) / Administrative boundaries (GISCO)).

Le variazioni nei cicli idrologici di molti fiumi in Europa sono determinate principalmente dalla stagionalità delle precipitazioni e dalle temperature, che definiscono il rapporto tra neve e pioggia.

Feyen et al. (2006), nell'ambito del progetto PESETA, notano che i "cambiamenti nel flusso dei fiumi, causati dal cambiamento climatico, dipendono principalmente da cambiamenti di volume, intensità, tempi della precipitazione, e dai cambiamenti delle temperature, che influenzano l'evapotraspirazione e determinano se le precipitazioni cadranno come pioggia o neve."

Alcuni studi hanno osservato dei cambiamenti nel *run-off* (scorrimento superficiale) annuale dei fiumi in molti bacini idrici europei negli ultimi decenni. Il *run-off* annuale dei fiumi si è modificato nei decenni recenti in Europa (EEA, 2004). In alcune regioni, tra cui l'Europa orientale, è aumentato, mentre in altre, tra cui l'Europa meridionale, è diminuito. Le proiezioni indicano un aumento di questi cambiamenti in termini di *run-off* annuale (Arnell, 1999; Schröter *et al.*, 2006). La maggior parte dei modelli di cambiamento climatico indicano che l'Europa settentrionale e orientale potrebbero subire un aumento nel *run-off* annuale medio e nella disponibilità di acqua (Figura 1.1). Per contro, si prevede che il *run-off* medio nei fiumi dell'Europa meridionale diminuisca a causa dell'aumento di temperatura e della diminuzione delle precipitazioni. In particolare, alcuni bacini fluviali nel Mediterraneo, che devono già ora affrontare lo stress idrico, subiranno una rilevante diminuzione della disponibilità di acqua.

Il cambiamento climatico può anche produrre cambiamenti *stagionali* nei flussi fluviali. Una possibile catena di eventi nell'Europa settentrionale e nelle regioni montane comporterebbe l'aumento delle temperature, con conseguente innalzamento dello zero termico e riduzione della frazione delle precipitazioni totali che cadono come neve. (Barnett *et al.*, 2005). Questo fenomeno a sua volta ridurrebbe sensibilmente la **ritenzione invernale** e innalzerebbe i tassi di *run-off* invernali dei fiumi del Nord Europa (Andréasson *et al.*, 2004; Graham, 2004) e alpini, come il Reno, il Rodano e il Danubio (Middelkoop *et al.*, 2001; Redaud *et al.*, 2002; GLOWA-Danube). Questo incremento del *run-off* invernale potrebbe essere aggravato dalle maggiori precipitazioni invernali. Inoltre, il disgelo primaverile prematuro modificherebbe i picchi dei livelli di flusso. In seguito alla riduzione delle riserve di neve, al disgelo precoce e alla diminuzione generale delle precipitazioni estive, si potranno osservare periodi estivi prolungati di bassi flussi fluviali in molte zone d'Europa. Quanto ai fenomeni estremi, questi cambiamenti stagionali dei regimi di flusso possono modificare i periodi ad alto rischio di inondazioni e i periodi ad alto rischio di siccità. Beniston (2006), per esempio, prevede un incremento del *run-off* invernale pari al 90% e una diminuzione del 45% del *run-off* estivo nelle Alpi centrali, che può portare, rispettivamente, a periodi di maggior rischio di inondazione e di siccità. È inoltre probabile che l'*ice-jam*⁵ e le inondazioni, dovute allo scioglimento prematuro della neve, si riducano in seguito al riscaldamento (Kundzewicz *et al.*, 2006).

2.2.1 Modelli dell'impatto del cambiamento climatico sulle inondazioni

Come già indicato, la maggiore incidenza delle grandi inondazioni in Europa nell'ultimo decennio non può essere attribuita unicamente al cambiamento climatico⁶ ed è difficile quantificare il ruolo del cambiamento climatico nel modificare l'attuale ciclo delle inondazioni. L'azione del cambiamento climatico può operare per diversi meccanismi, ad esempio, le precipitazioni invernali possono cadere con maggiore frequenza come pioggia, aumentando così il *run-off* immediato e il rischio di inondazioni, oppure, nelle Alpi, il disgelo primaverile precoce può modificare i picchi dei livelli di flusso (EEA 2007).

Pur nella difficoltà di attribuirli con certezza al cambiamento climatico, va osservato che alcuni recenti eventi hanno nuove caratteristiche e possono essere considerati degli esempi di quanto previsto nell'ambito del cambiamento climatico. In questa classe di inondazioni Milly *et al.* (2002)

⁵ Per *ice-jam* si intende un accumulo stazionario di ghiaccio in un corso d'acqua che ne restringe il flusso, causando una sorta di diga temporanea con riduzione del livello dell'acqua a valle, e sostanziale crescita del livello dell'acqua a monte.

⁶ Infatti, le analisi dei cicli a lungo termine delle inondazioni in Europa a partire dal 14° secolo indicano variazioni notevoli nei decenni e nei secoli (EEA, 2007; Brázdil e Benito, 2006).

hanno inserito l'inondazione invernale nel Regno Unito del 2000/2001 e la disastrosa inondazione estiva dell'Europa centrale nel 2002 (EEA, 2007).

Va detto peraltro che i cicli di inondazioni possono cambiare in seguito alle attività umane non direttamente correlate al cambiamento climatico. "La deforestazione nelle regioni montane accelera il *run-off*, aumentando la probabilità di inondazioni. È probabile che lo sviluppo urbano nelle pianure alluvionali aumenti l'entità degli impatti negativi sui fenomeni d'inondazione nella stessa zona e la probabilità di inondazioni *downstream* (a valle) in seguito alla "canalizzazione" dei fiumi" (EEA 2005). Nel corso degli anni l'Europa ha approfondito la conoscenza di questo fenomeno e delle misure per contenerne le devastanti conseguenze, come evidenziato dalla riduzione costante del numero di vittime delle inondazioni nel suo territorio.

Non è semplice modellare questi complessi rapporti. Ad oggi sono stati fatti due⁷ principali tentativi per collegare i modelli RCM ai modelli idrogeologici per l'Europa: il progetto EuroWasser e quello PESETA. Il primo si limita agli impatti fisici, mentre il secondo include la valutazione degli impatti socioeconomici, sebbene finora solo per due bacini idrici pilota. L'approccio PESETA sarà descritto in dettaglio nella Sezione 3. Per anticipare brevemente la parte geofisica di questa metodologia, PESETA abbina gli scenari di precipitazione tratti da un modello RCM all'*output* di un modello idrogeologico, per derivare la variazione del *run-off*, partendo da una *baseline* di assenza di cambiamento climatico in un determinato bacino. Quest'approccio combina successivamente questi cambiamenti con i dati topografici di altitudine del terreno al fine di stimare il cambiamento nelle zone a rischio di inondazione e la profondità dell'acqua nelle zone inondate.

Box 2.1 Inondazioni nelle zone montane

È importante distinguere tra le inondazioni che coinvolgono un intero bacino e i flussi che colpiscono la parte montana di un bacino idrico. Ci sono tre ragioni principali per introdurre questa distinzione. Primo, quanto accade in montagna può essere una delle cause dirette di un'inondazione più vasta. Secondo, i fattori d'innescio di un'inondazione montana, in particolare di un *flash flood*, sono specifici dell'ambiente montano. Terzo, esiste un tipo particolare di inondazione direttamente conseguente allo scioglimento dei ghiacciai e che quindi, in Italia, può avvenire soltanto nelle Alpi⁸. Questo breve riassunto è basato sul rapporto OCSE "Cambiamento climatico nelle Alpi europee. Adeguamento del turismo invernale e della gestione dei fenomeni naturali" (*Climate Change in the European Alps. Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management*), (OECD 2007). Questi argomenti sono analizzati in maggiore dettaglio, ivi comprese le strategie di adattamento, nel capitolo su cambiamento climatico e le montagne di questo volume.

"Le inondazioni scaturiscono dall'interazione tra piogge estreme, saturazione d'acqua del terreno e scioglimento della neve, [...]. Nelle regioni montane, i *flash flood* sono fenomeni violenti e improvvisi, che trasportano materiali come legna, fango e sassi. La velocità di questi eventi montani spesso erode gli argini, aumenta la concentrazione di detriti nell'acqua e forma dei flussi di detriti o fango. La mancata manutenzione del fiume, la cementazione degli argini e l'impermeabilizzazione delle zone urbane sono elementi aggravanti delle inondazioni. Tra tutti i fattori di rischio rilevanti per le regioni alpine, le inondazioni stanno creando il maggior numero di danni economici e molte delle zone alpine densamente popolate sono state colpite duramente dalle inondazioni negli ultimi anni. Nei *flash flood*, il pre-allarme è sempre breve e l'evacuazione non è sempre possibile. Il flusso d'acqua e i grandi detriti trasportati dall'acqua possono distruggere edifici e infrastrutture, come le strade e le ferrovie, interrompendo i trasporti. Il deposito di sedimenti più piccoli comporta costi elevati di pulizia e danneggia i raccolti. Le inondazioni possono anche provocare importanti impatti ecologici se stock di prodotti chimici sono raggiunti dall'inondazione e immessi nelle acque di superficie. Ad oggi non sono ancora stati accertati i *trend* transalpini nell'incidenza delle inondazioni e non si è ancora stabilito con certezza se le inondazioni particolarmente violente (per esempio in Austria e in Svizzera nel 2002, 2005) furono interamente dovute alle fluttuazioni naturali o se il cambiamento climatico possa aver contribuito a questo

⁷ È in corso un ambizioso programma di ricerca multidisciplinare del governo tedesco. Il programma GloWa comprende progetti di valutazione integrata degli impatti del cambiamento climatico nei bacini dei fiumi Danubio, Elba, Giordano, nel wadi Drâa (nel Marocco sudorientale), il fiume Ouémé (nel Benin) e il bacino del Volta nell'Africa occidentale. Il programma copre tutti gli aspetti dalla climatologia, l'idrogeologia agli impatti socioeconomici, dalla psicologia ambientale al ruolo degli *stakeholder*, per quanto riguarda gli impatti del cambiamento climatico sulle risorse idriche nei bacini monitorati. Il programma non ha tuttavia ancora prodotto valutazioni socioeconomiche per i rischi idrogeologici.

⁸ Esiste effettivamente un ghiacciaio molto piccolo negli Appennini, il Calderone nel massiccio del Gran Sasso, che è fra l'altro il ghiacciaio più meridionale d'Europa.

fenomeno. Ciò nonostante, in termini di andamento generale, si è osservato un aumento significativo delle precipitazioni invernali e autunnali intense con periodo di ritorno di 30 giorni in molte zone delle Alpi svizzere nel periodo 1901-1994 (Frei e Schär, 2001).

Negli scenari di cambiamento climatico, l'incidenza delle inondazioni può essere modificata dall'arretramento dello zero termico, che probabilmente aumenta il picco del *run-off* perché le precipitazioni sono più ricche di pioggia (OcCC, 2003). Uno studio sul bacino del Reno è inoltre giunto alla conclusione che, nelle zone alpine, il cambiamento climatico innalzerà i picchi dei flussi invernali (Middelkoop *et al.* 2001). In inverno, le piogge abbondanti, associate alla ridotta permeabilità del terreno gelato, possono aumentare la probabilità d'inondazioni invernali. L'impatto delle variazioni della coltre nevosa sulle inondazioni primaverili è incerto (OcCC, 2003) ma lo spostamento delle precipitazioni nel periodo invernale dovrebbe ridurre l'incidenza dei *flash flood* nelle montagne più alte, in quanto vi sarà una componente più elevata di precipitazioni nevose rispetto a simili eventi in primavera o estate (Beniston, 2006). Nel frattempo, in estate, è prevista una diminuzione delle precipitazioni totali e una maggiore frequenza delle precipitazioni estreme.

Si prevede infine che il cambiamento climatico generi uno spostamento in direzione delle precipitazioni verso l'inverno, aumentando l'incidenza delle inondazioni nelle pianure e riducendola nelle montagne più alte.

I ghiacciai e i pericoli *permafrost*

I cambiamenti nella situazione dei ghiacciai possono anche provocare eventi più disastrosi come la tracimazione dei laghi glaciali, che può trasformarsi in colate di fango e detriti. L'evoluzione dei ghiacciai influisce sulle portate dei fiumi nel periodo estivo, poiché le estati calde possono far crescere l'apporto di acque di scioglimento dei ghiacciai. Tuttavia, a lungo termine, la riduzione della massa dei ghiacciai finirebbe col ridurre la portata estivi dei fiumi. D'altra parte, le cadute di massi e le colate di detriti possono essere generate dalla destabilizzazione di massi o detriti nello scioglimento del *permafrost*. Reazioni a catena e combinazioni di fattori di rischio sono anche possibili, per esempio cadute di massi, possono provocare GLOF⁹ o valanghe. I GLOF sono gli eventi più devastanti che hanno origine nei ghiacciai, a causa dell'imponente volume di acqua e della vastità del terreno interessato. Per fortuna, i laghi glaciali, dai quali si originano i GLOF, si formano generalmente poco alla volta e possono essere monitorati (Kääb *et al.*, 2005). Tuttavia, i laghi glaciali che si formano all'interno del ghiacciaio non sono visibili, la loro dinamica è ancora poco compresa, e sono molto più difficili da monitorare.

Le alte quote delle catene montuose della Svizzera, Francia e Italia sono le più esposte ai rischi legati ai ghiacciai. A livello globale, il 30-50% degli attuali ghiacciai potrebbe sparire entro il 2100 in presenza di un riscaldamento di 2 - 4 °C (Beniston, 2003).

L'incidenza dei GLOF potrebbe aumentare contestualmente all'innalzamento delle temperature e al ritiro dei ghiacciai, fattori che favoriscono la formazione di laghi glaciali.

Globalmente, nei ghiacciai e nelle zone interessate dal *permafrost*, si prevede che un clima più caldo riduca la stabilità dei pendii e aumenti il rischio di smottamenti. È stato documentato un incremento nel numero di smottamenti nelle zone interessate dal *permafrost* e nelle aree glaciali di alcune regioni delle Alpi.

Questi pericoli sono direttamente collegati al ritiro dei ghiacciai e del *permafrost*, che sono probabilmente i segni più rilevanti del cambiamento climatico.”

2.3 Le frane

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 effetti più localizzati o forse perché sono talvolta considerate insieme alle inondazioni, come effetti collaterali di catastrofi più vaste causate dalle precipitazioni.

Eppure, almeno per alcuni stati europei, le frane e le doline di sprofondamento (*sinkholes*) sono problemi rilevanti. Solo in Italia ci sono state oltre 12000 frane tra il 1991 e il 2003. Come indicato nella Tabella 1.1, le 13 frane più devastanti sono costate la vita a 2584 persone, 3,7 volte le vittime delle principali inondazioni.

In Italia le zone più esposte al rischio di frane sono indicate in rosso nella Figura 2.4, insieme a quelle esposte alle inondazioni (azzurro) e alle valanghe (verde). Come evidenziato dalla Figura, oltre il 5% del territorio italiano è esposto al rischio di frane.

⁹ Glacial Lake Outburst Flood, inondazione da esondazione di un lago glaciale.

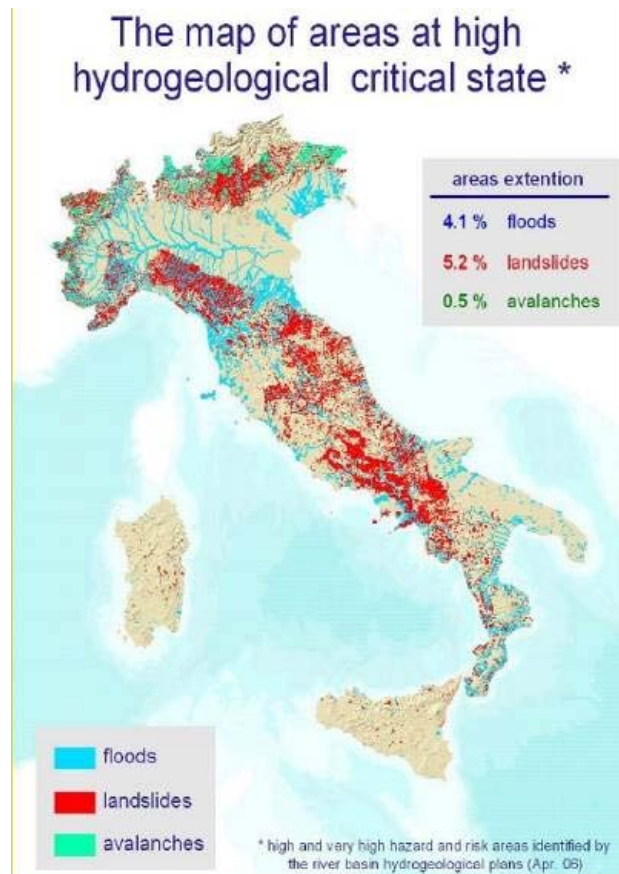


Figura 2.4. Rischio idrogeologico in Italia, 2006. (fonte: Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare)

2.3.1 Le frane e il cambiamento climatico

Il rapporto tra il clima e l’incidenza delle frane è piuttosto complesso e meno diretto rispetto a quello esistente tra il clima e il rischio di inondazioni. È chiaro, tuttavia, che le precipitazioni possono innescare le frane, con particolarità differenti a seconda delle caratteristiche della frana. In generale, le frane veloci sono la conseguenza di precipitazioni intense, mentre quelle lente sono provocate dalle precipitazioni di media intensità. Per l’Italia, questo potrebbe significare un aumento delle frane veloci e una diminuzione di quelle lente, visto gli scenari climatici attuali.

Né in Europa, né, tanto meno, in Italia, si è ancora proceduto a una valutazione specifica degli effetti del cambiamento climatico sulle frane. Nella letteratura sull’impatto del cambiamento climatico esiste però un numero limitato di casi studio su alcune frane specifiche. L’approccio seguito in questi studi è molto simile a quello dello studio PESETA, in quanto si associano le proiezioni delle precipitazioni ottenute dai modelli RCM con modelli geologici dei livelli delle precipitazioni che hanno provocato le frane esaminate. Tra gli esempi si possono citare Buma e Dehn (2000) per una frana vicino a Barcelonnette, in Francia e Schmidt e Dhen (2000) che confrontano una frana nelle Dolomiti italiane a una frana in Nuova Zelanda.

3. Valutazione socio-economica degli impatti e delle strategie di adattamento

La prima parte di questa sezione si occupa degli impatti che il cambiamento climatico è può avere sul sistema socio-economico italiano attraverso il cambiamento nel rischio di inondazioni e frane. La seconda parte analizza i costi associati alle opzioni a disposizione di autorità pubbliche, singoli individui e imprese hanno per ridurre i danni. Entrambe le sezioni combinano le valutazioni qualitative e quantitative basate sulle analisi disponibili nella letteratura. Metodologie per migliorare la conoscenza esistente vengono invece proposte nell'Appendice.

È importante sottolineare il fatto che le inondazioni e le frane hanno sempre causato danni notevoli all'Europa e all'Italia in particolare. Si ha dunque un patrimonio di conoscenza sui danni dovuti a un dato evento che può essere sfruttato per calcolare i danni di eventi futuri, supponendo siano analoghi a quelli avvenuti ripetutamente in passato, sulla base dell'elenco dei possibili effetti ricavabile quasi direttamente da quanto disponibile nella letteratura sulle catastrofi naturali. Si dovrà però tener conto che, molto probabilmente, il cambiamento climatico modificherà questa situazione in termini di aumento della frequenza e d'intensità delle inondazioni e delle frane; per esempio, la capacità di ripresa dopo una catastrofe si riduce se diminuisce il tempo trascorso tra grandi inondazioni. Il cambiamento climatico potrà influire anche sulla stagionalità delle inondazioni, modificando così gli effetti su attività stagionali come l'agricoltura e il turismo.

3.1. Impatti delle inondazioni sui sistemi socioeconomici

Pur essendo da sempre una componente vitale del sistema ecologico e agricolo, in quanto aumentano lo scambio di nutrienti e la fertilità del suolo¹⁰, nelle società moderne le inondazioni possono provocare diversi danni. Il primo effetto diretto è la perdita di vite umane. È possibile ridurre notevolmente questo impatto con sistemi efficaci di monitoraggio e di allarme, ma è molto più difficile guadagnare il controllo della situazione in caso di piene improvvise rispetto alle grandi inondazioni. 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 (le sostanze tossiche possono accumularsi nei sedimenti e liberarsi in quantità notevoli durante un'inondazione e l'aumento del volume d'acqua potrebbe essere insufficiente a bilanciare l'aumentata quantità di sostanze inquinanti nell'acqua sì da mantenere la concentrazione a un livello accettabile - Munich Re, 1997). 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. Sebbene sia teoricamente possibile distinguere, e quindi rappresentare, gli impatti socioeconomici descritti sopra in termini di vite umane, numero di senzatetto, persone colpite, danni agli edifici, attività economiche, infrastrutture e uso del suolo, i danni sono generalmente valutati nell'ottica

¹⁰ L'antica civiltà egizia dipendeva dalle inondazioni del Nilo per i suoi raccolti e, quindi, per la sua sopravvivenza. Il ciclo delle inondazioni era prevedibile al punto che gli egizi basavano il calendario su questo fenomeno.

della ricostruzione e della liquidazione da parte delle autorità pubbliche e delle compagnie assicurative su base aggregata. In ogni caso, le cifre sono impressionanti. Le inondazioni sono state finora la causa principale delle catastrofi naturali in Europa (283 inondazioni catastrofiche negli ultimi 25 anni) e la frequenza è in aumento: secondo l'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA, *European Environment Agency* 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. Le 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 danni per 23,7 miliardi di dollari USA.

Sono stati eseguiti alcuni studi sui costi economici potenziali delle inondazioni in Europa. Ci sono numerose indagini che hanno stimato i costi economici delle recenti inondazioni estreme in Europa, per esempio la grave inondazione dell'Europa centrale avvenuta nel mese di agosto del 2002 (in Austria, Repubblica Ceca, Germania, Slovacchia e Ungheria) ha provocato perdite economiche pari a 17,3 miliardi di dollari USA e danni assicurati per 4,1 miliardi di dollari USA (EEA, 2004). La tendenza all'aumento dei danni provocati dalle inondazioni può essere attribuita a fattori socioeconomici, come l'incremento demografico, e alla maggiore ricchezza delle zone a rischio di inondazioni, ai cambiamenti del sistema terrestre, come l'urbanizzazione, la deforestazione e le mutate caratteristiche delle pianure alluvionali, così come i cambiamenti del clima.

3.1.1 Valutazione degli impatti socioeconomici dell'aumentato rischio di inondazione: l'approccio PESETA.

Alcune stime preliminari (ABI, 2005) indicano che in Europa le perdite annuali in seguito alle inondazioni potrebbero arrivare a 100 – 120 miliardi di Euro (aumentando di 10 volte rispetto ai livelli correnti) entro la fine del secolo (sebbene un'efficiente gestione del rischio di inondazioni potrebbe ridurle).

Queste stime sono state derivate semplicemente estrapolando all'intero valore dei beni immobili europei l'incremento dei danni da inondazione imputabile al riscaldamento climatico, calcolato per il caso del Regno Unito in assenza di politiche di mitigazione e di adattamento, assumendo che l'incremento dei danni a livello europeo sia, in termini relativi, lo stesso del caso britannico. Le stime per il caso britannico erano quelle del progetto Foresight (Office of Science and Technology Foresight Programme, 2004). Lo studio stimava perdite da inondazione per il Regno Unito, alla fine di questo secolo, fino a 15 volte maggiori di quelle attuali, tenendo presente la probabile crescita nel valore *reale* dei beni a seguito delle principali dinamiche macroeconomiche. Lo studio britannico si basa su un'indagine molto dettagliata della variazione del rischio idrogeologico sul territorio a seguito del cambiamento climatico, in quattro possibili scenari futuri (basse, medio - basse, medio alte, alte emissioni di gas serra, non direttamente riconducibili agli scenari IPCC). L'incremento dei danni di 15 volte rispetto ai livelli del 2004 è riferibile allo scenario con emissioni medio - alte. La valutazione dei danni, comunque, si limitava agli "assets" cioè beni immobili ed infrastrutture.

Oltre al previsto aumento dei danni diretti per i risarcimenti e le infrastrutture, l'incremento nel numero e nella gravità delle inondazioni colpirà una parte importante dell'industria europea e le centrali elettriche ubicate nelle aree a rischio di inondazione. Questo può dare luogo a problemi di competitività per l'aumentato rischio di interruzione della produzione. Le perdite economiche dovute alle inondazioni potrebbero quindi aumentare da 10 a 20 volte entro gli anni '80 del secondo millennio in scenari di emissioni e crescita economica elevate (per esempio, Hall et al., 2005).

Nell'ambito del progetto europeo PESETA, Feyen et al. (2006) affrontano questo problema collegando i risultati climatologici ottenuti dai due modelli RCM al modello idrologico LISFLOOD (De Roo et al, 2000), che simula i diversi regimi idrologici nei grandi bacini fluviali europei, in termini di cicli spaziali e temporali di risposta dei bacini, sulla base di informazioni sulla topografia e l'uso del suolo.

Lo studio citato utilizza due livelli di risoluzione spaziale del modello RCM HIRHAM: una griglia di celle da 12 km per lato ed una griglia, meno dettagliata, con celle da 50 km per lato. Il primo è usato per modellare il clima regionale secondo lo scenario SRES A2, il secondo per lo scenario B2. Le premesse climatologiche dello studio sono riassunte nella tabella seguente, mentre la Figura 3.1 riassume l'approccio del modello. L'indicatore climatico usato è il periodo di ritorno di precipitazioni ininterrotte per 5 giorni consecutivi.

Tabella 3.1. Scenari di cambiamento climatico usati per la stima dei rischi di inondazione nel progetto PESETA

RCM	GCM	SRES	periodo di controllo	orizzonte temporale delle proiezioni	risoluzione
HIRHAM (DMI)	HadCM3	A2	1961-1990	2071-2100	12 km
HIRHAM (DMI)	HadCM3	B2	1961-1990	2071-2100	50 km

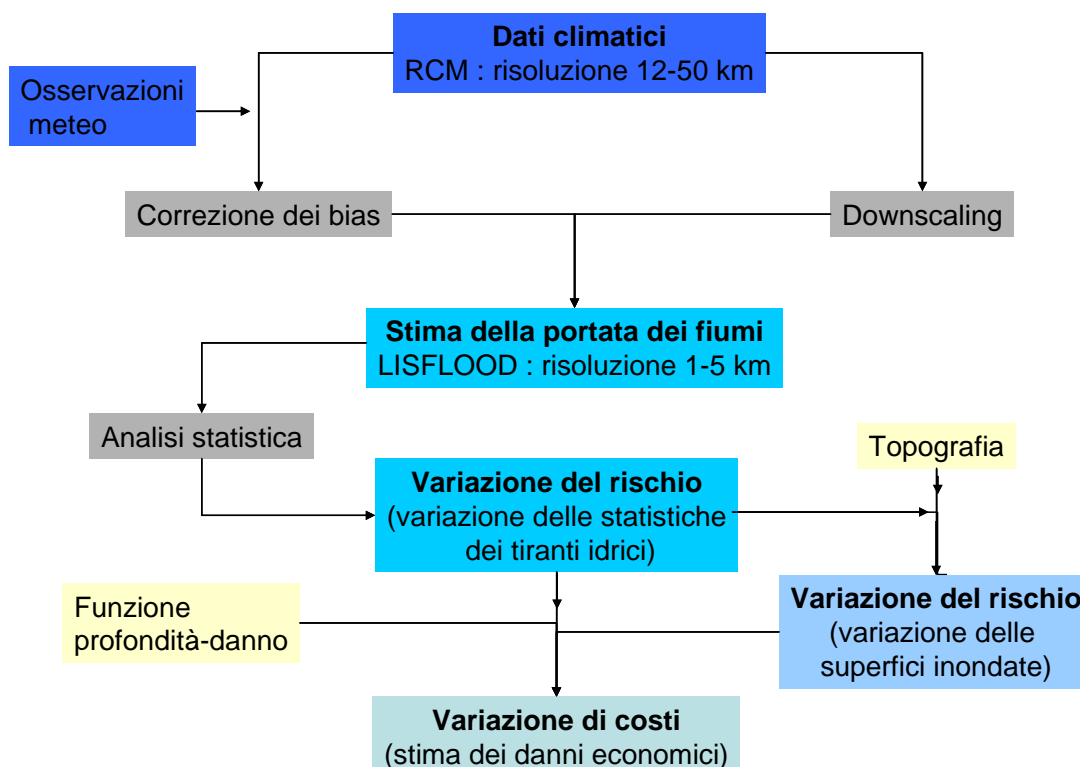


Figura 3.1. Flowchart dell'approccio integrato sviluppato per stimare gli impatti economici dei cambiamenti nel rischio di inondazioni in seguito alle previsioni di cambiamento climatico nell'ambito del progetto PESETA (Feyen et al., 2006).

L'approccio dello studio PESETA è il seguente. I dati climatici regionali sono usati come *input* nel modello LISFLOOD. Si applica il *downscaling* per uniformare i dati climatici e le simulazioni idrologiche condotte con una risoluzione compatibile con la scala del bacino: LISFLOOD usa una griglia con una spaziatura di 1-5 km. Il modello idrologico calcola le portate giornaliere ad ogni cella nella zona interessata. Il risultato è tradotto in cambiamenti nella frequenza delle inondazioni e nel livello dell'acqua che esprimono i cambiamenti previsti nel rischio d'inondazione, corrispondenti allo scenario di emissioni e al modello climatico utilizzati per l'analisi. Tutto ciò può essere espresso come una variazione nella portata di un'inondazione con un periodo di ritorno prestabilito (per esempio, 100 anni) (cambio di intensità), o una variazione nel periodo di ritorno di un determinato evento (cambio di ricorrenza) nell'ambito di un clima mutato. Usando dati digitali di altitudine, si individuano le zone inondate e la profondità delle acque inondanti dai livelli del corso d'acqua, e si definiscono i cambiamenti nelle zone inondate e nella profondità delle acque per ogni periodo di ritorno. Usando funzioni che mettono in relazione la profondità delle acque e le classificazioni dell'uso del suolo con i danni causati, si calcolano le stime dei danni diretti per classe d'uso della terra per ogni inondazione sia nelle condizioni climatiche attuali sia in quelle ipotizzate per il futuro dagli scenari SRES utilizzati. In assenza di una valutazione complessiva a livello europeo, la stima dei danni è basata sulle funzioni dei danni calcolate in uno studio di Van

der Sande (2001, 2003)¹¹, che esegue una valutazione dettagliata per uno scenario specifico d'inondazione in due paesi olandesi adiacenti (Itteren e Borgharen, vicini a Maastricht) nel bacino della Mosa. Come dichiarato esplicitamente dagli autori, l'applicazione di questa metodologia è particolarmente delicata, perché i valori variano notevolmente tra paesi e regioni. Le altre limitazioni dello studio PESETA sono le seguenti:

- Rappresentazione limitata dell'incertezza climatica, essendo rappresentati solo due scenari SRES, usando un solo RCM sui 10 circa usati a livello mondiale.
- Nessuna applicazione di *downscaling* o correzione del *bias* ai dati climatici. La prima omissione potrebbe indurre a sottostimare la frequenza delle inondazioni, in quanto il modello RCM a bassa risoluzione non è in grado di rappresentare con sufficiente dettaglio le strutture climatiche rilevanti; d'altra parte, non sono stati osservati forti *bias* climatici per i due bacini testati.
- Non viene considerata l'incertezza idrogeologica. In questo caso, tuttavia, l'incertezza è generalmente considerata molto inferiore a quella dell'*input* climatico.
- A parte le precipitazioni e l'idrogeologia, il cambiamento climatico non causa altre variazioni. In particolare, non vengono considerati cambiamenti particolari nell'uso del suolo e nella copertura geografica, che potrebbero causare una grave sottostima del rischio d'inondazione per i periodi futuri. Sono inoltre escluse le variazioni della popolazione; l'impatto sulle popolazioni interessate nei periodi futuri è incerto. Gli autori giustificano entrambe le esclusioni con la mancanza di dati appropriati.
- Non sono considerate le strutture per la protezione contro le inondazioni che verranno realizzate in futuro. Questo potrebbe causare una sovrastima dell'entità dell'inondazione e della profondità dell'acqua.
- I dati di elevazione contengono delle imprecisioni e, cosa ancor più importante, rappresentano l'elevazione delle superfici (tetti delle case, teli di protezione della vegetazione) e non l'altitudine del terreno. Questo porta alla potenziale sottostima dei livelli dell'acqua e dei danni.
- Le stime dei costi sono basate su inondazioni con tempo di ritorno di 100 anni. Idealmente, le stime dei costi andrebbero integrate su tutta la distribuzione di frequenza per ottenere una stima più precisa del cambiamento atteso nei costi totali.
- La stima precisa degli impatti monetari del cambiamento climatico sulle inondazioni è difficile e di per sé incerta, indipendentemente dal metodo usato.

Nonostante tutte le limitazioni indicate sopra, lo studio PESETA fornisce una valutazione preliminare dei danni associati a un incremento del rischio di inondazioni con un tempo di ritorno di 100 anni nei bacini della Mosa e dell'alto Danubio. Gli autori avvertono che i loro risultati non possono essere trasferiti direttamente ad altri bacini europei, in considerazione delle specificità locali dell'idrogeologia, dell'uso del suolo e degli scenari climatici. In ogni caso, la loro è la prima valutazione su vasta scala di questo tipo in Europa, e i loro risultati possono servire almeno come indicazione dell'entità dei danni prevedibili con un aumento nella ricorrenza di questi eventi. Per il bacino della Mosa, l'ammontare totale dei danni previsti per le inondazioni con un periodo di ritorno di 100 anni era rispettivamente pari a 7,5 miliardi e 7,2 miliardi di Euro, con un incremento dei danni del 14% circa per lo scenario A2 e dell'11% circa per lo scenario B2. Per l'Alto Danubio, lo studio PESETA prevede un aumento del 40% circa dei danni totali per le inondazioni con periodo di ritorno di 100 anni (pari a un aumento di 18,5 miliardi di Euro) per lo scenario A2 and del 19% circa per lo scenario B2. Si prevede che il numero di persone colpite nell'Alto Danubio aumenti di 242.000 (circa l'11%) per lo scenario A2, e di 135.000 (circa il 6%) per lo scenario B2. Per entrambi gli scenari, si stima un incremento del numero di persone colpite pari al 4% circa. Si noti che lo studio PESETA non specifica se questi danni siano espressi in Euro del 2070-2100, o se siano attualizzati al 2006. Non precisa inoltre che questi numeri sono un massimo teorico, in

¹¹ Luino et al (2006) hanno eseguito un'analisi simile per il bacino del Boesio nell'Italia nord-occidentale. Anche in questo caso, i risultati sono estremamente specifici per la località.

quanto è improbabile che eventi con un periodo di ritorno di 100 anni avvengano contemporaneamente nell'intero bacino, o che cedano tutte le infrastrutture di protezione contro le inondazioni.

3.2 Impatti delle frane sui sistemi socioeconomici

Trattandosi di fenomeni localizzati, le frane 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, come evidenziato nella Tabella 1.1, il costo in vite umane è più elevato. Per contro, le frane sono più costose da prevenire. Secondo APAT (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.

Gli impatti socioeconomici delle frane sono simili a quelli delle inondazioni; comprendono la perdita di vite umane, un aumento della morbidità dovuta agli infortuni; danni alle infrastrutture e danni agricoli in termini di terra sottratta alla produzione fino al pieno recupero, possibile perdita di bestiame, contaminazione delle falde acquifere, interruzione dei trasporti. È meno probabile lo sconvolgimento degli ecosistemi per l'estensione limitata delle superfici coinvolte.

Per quanto a conoscenza degli autori, nella letteratura non è mai stata proposta una metodologia per la valutazione degli impatti socioeconomici del cambiamento climatico in funzione dell'aumentato rischio di frane.

Per valutare i costi per l'Italia, proponiamo di seguire la stessa metodologia sia per le frane che per le inondazioni; Tale metodologia è descritta Appendice A.

3.3 Costi di adattamento

3.3.1 Costi di adattamento in generale

Nella prospettiva IPCC, l'umanità può, a grandi linee, reagire in due modi al cambiamento climatico: o cerca di *mitigarlo*, agendo sulle sue cause (con le tecnologie disponibili, questo significa fundamentalmente ridurre le emissioni di gas serra o immagazzinarle nei *sink* per la sequestrazione dell'anidride carbonica), o adattarsi al cambiamento, modificando le proprie attività ed abitudini per soffrire meno le conseguenze negative del cambiamento climatico. Le due classi di strategie possono (e, secondo l'opinione diffusa tra gli esperti, devono) essere perseguite congiuntamente.

(Bosello et al. 2007) osservano che non esiste una definizione condivisa e generale di adattamento. Una delle distinzioni principali è quella tra l'adattamento 'programmato', vale a dire realizzato tramite enti pubblici o privati, e l'adattamento 'autonomo' dei sistemi naturali e umani.

L'adattamento ha chiaramente un costo, (IPCC 2001) e questo costo deve essere confrontato con i benefici dell'adattamento 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.

Il confronto tra i costi e i benefici di adattamento è chiaramente nello spirito dello strumento principale di politica delle acque dell'Unione Europea, la Direttiva quadro sull'acqua (*Water Framework Directive*), secondo la quale "è necessario usare l'analisi di efficacia dei costi (CEA, *cost-effectiveness analysis*) per determinare le misure migliori per affrontare la pressione sull'ambiente". Inoltre, "è necessario ricorrere all'analisi economica per stabilire se il raggiungimento di un obiettivo per il bacino idrico comporta un costo sproporzionato (EEA 2007)".

In letteratura si trovano sia le valutazioni dei costi di adattamento per gli impatti specifici sia le stime globali dei costi di adattamento. Tuttavia, lo stato dell'arte è lontano dall'essere completo, per diverse ragioni.

Innanzitutto, come rilevato da Bosello et al. (2007), è spesso difficile o impossibile distinguere tra i danni causati dall'impatto del cambiamento climatico in assenza di attività di mitigazione e/o adattamento, e i costi sostenuti per attività di adattamento al cambiamento climatico, in quanto può essere difficile, distinguere i costi sostenuti per la riparazione del danno e quelli sostenuti per prevenire danni futuri, a causa delle modalità di contabilizzazione o per oggettive difficoltà a distinguere la destinazione di tali spese (ad esempio perché opere di ripristino ed opere di protezione vengono eseguite simultaneamente). Questo è vero anche nella valutazione dei danni provocati dalle inondazioni in Italia, dove la stima dei danni si basa spesso sui fondi riservati alle emergenze, la cui destinazione (per il recupero dell'aria colpita o per la prevenzione di ulteriori incidenti idrogeologici) non è sempre chiara.

Inoltre, come sottolineato nell'ultimo rapporto IPCC (IPCC, 2007c) la letteratura sui costi di adattamento e sui benefici rimane limitata e frammentata in termini di copertura settoriale e regionale. I costi di adattamento sono generalmente espressi in termini monetari, mentre i benefici sono tipicamente quantificati in termini di impatti climatici evitati, ed espressi in termini sia monetari sia non monetari (per esempio, variazioni nelle rendite, *welfare*, popolazioni esposte al rischio).

Infine, la letteratura sull'argomento non è omogenea. La maggior parte di quella dedicata ai costi di adattamento e ai benefici è centrata sull'innalzamento del livello dei mari (per esempio, Shaw et al., 2000; Fankhauser, 1994; Yohe e Schlesinger, 1998; Nicholls e Tol, 2006) e sull'agricoltura (per esempio, Rosenzweig e Parry, 1994; Reilly et al., 2003; Adams et al., 1999, 2003). I costi di adattamento e i benefici sono anche stati valutati in misura minore per la domanda di energia (per esempio, Morrison e Mendelsohn, 1999; Sailor e Pavlova, 2003; Mansur et al., 2005), la gestione delle risorse idriche (per esempio, Kirshen et al., 2004), e le infrastrutture per i trasporti (per esempio, Dore e Burton, 2001). In termini di copertura regionale, sono stati trattati gli Stati Uniti e altri paesi OCSE (per esempio, Fankhauser, 1995; Yohe et al., 1996; Mansur et al., 2005; Franco e Sanstad, 2006).

In termini di stime globali dei costi di adattamento, Tol et al. (1998) stimano che dal 7% al 25% dei costi totali dei danni climatici inclusi negli studi precedenti come quelli di Fankhauser (1995), Tol (1995), e Cline (1992) si potrebbero classificare come *costi di adattamento*. Per molti paesi sviluppati, questo equivale approssimativamente al 2% del PIL, ma all'interno della maggior parte degli studi di valutazione degli impatti, solo la protezione costiera, l'uso dell'aria condizionata, le migrazioni e il reinsediamento delle comunità sono considerate esplicitamente come costi di adattamento. Quando si considerano altri tipi di adattamento, come nei settori agricolo o sanitario, si presume implicitamente che queste politiche non generino alcun costo per la società.

Inoltre, alcuni studi recenti, tra cui quelli di Nordhaus e Boyer (2000), Mendelsohn et al. (2000) e Tol (2002), incorporano con maggiore dettaglio (rispetto ad altri studi d'impatto globale) l'effetto dell'adattamento sulla stima globale degli impatti del cambiamento climatico. In questi modelli, il costo di adattamento e i relativi benefici sono generalmente inclusi nelle funzioni del danno climatico. Gli studi che costituiscono la base per le funzioni del danno climatico non sempre riflettono le scoperte più recenti. Il risultato è che questi studi, pur offrendo una prospettiva globale e integrata, sono basati su una definizione poco dettagliata degli impatti dei danni derivanti dal cambiamento climatico e dell'adattamento, che diventa una sorta di "*black box*" in cui i costi di adattamento non possono essere aggiornati data l'inestricabilità dei singoli componenti nella generica funzione di danno, e quindi, si limitano a fornire stime meramente indicative dei costi di adattamento e dei relativi benefici.

Esistono stime preliminari dei costi globali di sviluppo “a prova di clima (*climate proofing*)” (World Bank 2006), ma la letteratura corrente non fornisce stime complete multisettoriali dei costi globali di adattamento e dei benefici.

Anche la *Stern Review* lamenta una mancanza di informazioni quantitative sui costi di adattamento: “...sono necessarie maggiori informazioni quantitative sui costi e sui benefici dell’adattamento dell’intero sistema economico ...”. È significativo osservare che l’unica cifra con una copertura OCSE relativa ai costi stimati di adattamento si riferisce ai costi aggiuntivi per rendere le nuove infrastrutture e i nuovi edifici resistenti al cambiamento climatico, che si stima compresa tra 0,05% e 0,5% del PIL per ogni anno.

Il modello PAGE di Hope e le sue premesse sui costi di adattamento sono utilizzati dalla *Stern Review* (2006) che include i costi di adattamento nel calcolo dei costi totali del cambiamento climatico. Il modello PAGE è descritto sommariamente nel Box 3.1 seguente.

Box 3.1 Il modello PAGE

L’approccio di Hope è simile agli altri modelli integrati per la valutazione degli impatti del cambiamento climatico disponibili in letteratura, in quanto modella la trasmissione degli impatti dalle emissioni di gas serra (a loro volta determinate da scenari di popolazione, progresso tecnologico, produzione e consumo) alle loro concentrazioni atmosferiche quindi al clima globale e regionale, agli impatti diretti ed infine agli impatti economici. La principale peculiarità di tale modello però è la capacità di incorporare l’incertezza riguardo alle varie determinanti del modello tramite un approccio probabilistico basato sul metodo Monte Carlo. In pratica ogni scenario viene calcolato molte volte, ogni volta sulla base di realizzazioni casuali dei parametri di partenza (le cui distribuzioni di probabilità sono state calibrate sulla base dell’evidenza scientifica disponibile). In questo modo il modello genera una distribuzione di probabilità dei valori del PIL in presenza del cambiamento climatico, piuttosto che una stima puntuale per ogni scenario (di qui i risultati riportati in termini di minimo, moda e massimo). Il modello è quindi in grado di riprodurre il *range* delle stime generate in letteratura. Inoltre il modello incorpora effetti diretti quali gli impatti su agricoltura, energia e zone costiere, ecosistemi e mortalità umana, nonché la possibilità che si verifichino eventi estremi. Questi ultimi in realtà sono rappresentati in maniera aggregata, in pratica, quando la temperatura media globale supera di 5° C i livelli preindustriali, si assume che inizi a concretizzarsi la possibilità di perdite di PIL superiori al 20%. La possibilità che ciò accada aumenta poi del 10% per ogni ulteriore grado di aumento della temperatura media globale.

Come notato da Tol e Yohe (2007)¹² il modello PAGE utilizzato nella *Stern Review* ha alcuni punti deboli. La probabilità che ci siano effetti benefici locali del cambiamento climatico nel breve termine in alcuni settori (tipicamente, agricoltura e turismo) è meno del 5% mentre altri studi ammettono una probabilità quasi doppia. Inoltre il modello assume che la vulnerabilità al cambiamento climatico sia indipendente dallo sviluppo, mentre è noto che la capacità di adattamento e quindi la sensibilità e l’esposizione agli impatti del cambiamento climatico variano spazialmente e dipendono dal sentiero di crescita delle economie regionali. La conseguenza di queste due caratteristiche del modello è di rendere i suoi risultati eccessivamente pessimistici ed in contrasto con lo stato dell’arte. Altre critiche riguardano la mancanza di trasparenza su come vengano calcolati esattamente i “market impacts” e i “non-market impacts” e la metodologia di valutazione dei danni da eventi catastrofici. In pratica le stime di tali danni sono prese da uno studio di Nordhaus and Boyer (2000) dove sono state determinate sulla base di un’avversione al rischio più elevata di quella implicita nella formulazione logaritmica dell’utilità del modello PAGE. L’errore, secondo Tol e Yohe, deriva da un doppio conteggio di tale rischio¹³.

Nonostante questi punti deboli, l’approccio di Hope è l’unico assieme a Bosello (in corso di stampa) ad includere direttamente l’effetto dell’adattamento in un modello integrato. Nel modello di Hope, diversi livelli di adattamento possono essere imposti in maniera esogena e i loro costi e benefici possono essere incorporati nell’analisi. Il metodo

¹² Tol e Yohe (2007) è un autorevole esempio del dibattito accademico suscitato dalla pubblicazione della *Stern Review* e, pur supportandone la principale conclusione di policy sulla necessità di agire subito per contrastare le conseguenze del cambiamento climatico, muove molte critiche sul metodo e le conclusioni raggiunte dalla *Review*. Per ragioni di spazio, ci limitiamo qui a quelle relative al modello PAGE. La principale preoccupazione di Tol e Yohe è che l’inaccuratezza del metodo e delle conclusioni raggiunte nello studio citato porga troppo facilmente il fianco alle critiche ed al discredito da parte degli scettici e dei detrattori delle politiche contro il cambiamento climatico.

¹³ Infatti in Nordhaus and Boyer (2000), il costo sociale di tali eventi è approssimato (con un approccio top-down d’imprecisione non trascurabile) come la differenza tra la stima di danno totale e l’equivalente a certezza di tale danno. Nella formulazione del modello PAGE utilizzata dalla *Stern Review* questo valore viene di nuovo sommato alle stime d’impatto, la somma viene considerata un parametro stocastico, e l’equivalente a certezza viene calcolato di nuovo.

usato è il seguente. Si assume che vi sia un massimo tasso di variazione sostenibile ed un massimo livello di variazione sostenibile delle temperature medie globali, che possono essere sopportati dal sistema mondiale prima si materializzano gravi danni. Le politiche di adattamento operano, in questo approccio, in tre modi: aumentano il tasso di variazione sostenibile; innalzano la variazione assoluta massima sostenibile ed infine riducono gli impatti del cambiamento climatico quando la temperatura supera il livello di soglia del modello.

Per l'Europa, Hope (2006) stima, tramite il modello PAGE che la strategia di adattamento di "default" implichi un costo per il settore economico dell'UE rispettivamente pari a 3, 12 e 25 miliardi di dollari USA all'anno (minimo, moda, e massimo) per aumentare la tolleranza alla temperatura di 1°C e ulteriori 0,4 1.6, 3.2 miliardi di dollari USA all'anno per ottenere una riduzione dell'1% degli impatti del cambiamento climatico. Un precedente studio (Hope *et al.*, 1993) indicava che anche le politiche aggressive di adattamento potevano essere giustificate facilmente: per esempio, a un tasso di sconto pari al 5%, il costo medio di 500 miliardi di dollari necessario per un'ambiziosa strategia di adattamento implementata tra il 1990 e il 2100, era superato dai benefici pari 17,5 migliaia di miliardi di dollari ottenuti dalla riduzione degli impatti economici.

Nel settore economico del modello PAGE si stima che l'adattamento riduca gli impatti del 90% nei paesi OCSE, ma solo del 50% in tutto il resto del mondo. Per i settori non economici, si stima che l'adattamento riduca ovunque gli impatti del 25%.

Nello studio di Bosello (*in corso di stampa*), lo scopo dell'esercizio è quello di sottolineare le dinamiche e le interazioni tra mitigazione e adattamento, non è realmente concepito per fornire una valutazione quantitativa. L'adattamento è inserito come una forma addizionale d'investimento all'interno del modello RICE 96 di Nordhaus e la scelta tra investimento tradizionale ed investimento in capacità adattativa è risolta in maniera endogena dal modello. Bosello dimostra tuttavia, in linea puramente teorica, che una spesa pari a circa lo 0,8% del PIL mondiale scontato tra il 1990 e il 2100, è in grado di ridurre del 50% il danno indotto dal cambiamento climatico nello stesso periodo..

3.3.2 Costi di adattamento per inondazioni e frane.

Le strategie di prevenzione del rischio idrogeologico sono conosciute e adottate abitualmente, in particolare in Europa e in Italia. In generale, richiedono il monitoraggio delle zone a rischio, la disponibilità di infrastrutture di protezione, strategie di gestione del territorio che contribuiscano a stabilizzare il terreno delle aree a rischio (per esempio la riforestazione dei pendii instabili) e norme che limitino l'esposizione di persone ed edifici ai rischi idrogeologici.

Settore pubblico

Anche in questo caso, la valutazione degli effetti del cambiamento climatico sulla prevenzione del rischio idrogeologico è un terreno poco esplorato. Un'eccezione è Bosello *et al.* (2007), che include uno studio di caso sull'adattamento al maggior rischio di inondazioni nei Paesi Bassi.

Le ipotesi principali dello studio sono le seguenti. I costi di investimento sono intesi solo in termini di investimento nell'innalzamento delle dighe¹⁴; I danni da inondazione sono valutati in termini di danni diretti e indiretti. I danni diretti includono i danni ai beni mobili ed immobili, perdite di raccolti e l'interruzione temporanea di attività commerciali. I danni indiretti considerati riguardano le perdite per le attività produttive situate al di fuori delle aree colpite e i disagi causati dalle interruzioni nei trasporti (strade e ferrovie). Tali danni sono stati valutati dal *Netherlands Bureau of Economic Policy Analysis* (CPB, 2005,a,b) per la situazione attuale, e inseriti in un modello di ottimizzazione degli investimenti in opere idrauliche, espresse in termini di altezza delle dighe

¹⁴ Lo studio descrive anche, ma non include nel modello quantitativo, l'approccio integrato alle misure di *water management* recentemente adottato dal governo olandese col programma *Ruimte voor de Rivier* (letteralmente: spazio per il fiume) in cui opere idrauliche sono affiancate da una maggiore attenzione in sede di pianificazione territoriale, agli spazi naturalmente occupabili dai fiumi. Tale politica è descritta in maggior dettaglio nel Box 4.1 della prossima Sezione.

fluviali esistenti (lo studio non considera cioè la possibilità di investire in nuove dighe, ma solo di potenziare quelle esistenti).

La valutazione dei costi di adattamento avviene estrapolando la situazione futura in presenza di cambiamento climatico nell'ambito di tale modello, e determinando quindi gli investimenti ottimali, cioè quelli che minimizzano la somma dei valori attualizzati dei danni e dei costi di investimento lungo l'orizzonte temporale del periodo di pianificazione.

Sulla base di questa logica, vengono calcolati gli investimenti ottimali futuri in termini di innalzamento delle dighe fluviali esistenti e soprattutto la parte di questi investimenti che può essere attribuita alla variazione del livello delle acque interne causata dal cambiamento climatico. Questa frazione dei costi di investimento futuri è ciò che in questo contesto viene considerato come il costo di adattamento.

Il modello è infatti in grado di distinguere (almeno in linea teorica) tra l'incremento dei danni attesi dovuto alla crescita economica (tramite la crescita del valore dello stock di infrastrutture a rischio) e l'incremento dovuto alla variazione della probabilità d'inondazioni. Nello studio in esame, si stima che circa il 50% del valore atteso di danni ed investimenti sia riconducibile alla crescita del livello delle acque dovuta al cambiamento climatico. Quindi in prima approssimazione il costo dell'adattamento in questo caso è circa la metà di 5.1 miliardi di Euro, cioè 2.55 miliardi. Tuttavia, secondo lo studio in esame, tale valore probabilmente sovrastima i veri costi di adattamento perché le dighe esistenti sono probabilmente più basse della loro altezza ottimale corrente. Se l'adeguamento alle altezze ottimali non può essere attribuito al cambiamento climatico, i veri costi di adattamento sono più bassi. Assumendo piuttosto grossolanamente che il 50% degli investimenti siano necessari per questo adeguamento alle altezze ottimali correnti, lo studio stima che i costi di adattamento si riducano a 1.5 miliardi di Euro.

La conclusione principale dello studio è 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°". Gli autori dello studio avvertono comunque che le loro stime sono basate su numerose semplificazioni degli effetti del cambiamento climatico sulle probabilità di inondazioni e "sull'improbabile premessa che gli investimenti contro le alluvioni saranno "ottimali" in un senso strettamente finanziario ed economico e che la gestione del controllo delle inondazioni non terrà conto di altri importanti aspetti del rischio, come quelli relativi al paesaggio, agli ecosistemi, alle attività ricreative e al patrimonio culturale". Sostengono tuttavia che "qualsiasi altra premessa sarebbe altrettanto arbitraria e sarebbe obiettivamente molto difficile suddividere i costi di opzioni (spaziali) più costose di difesa contro le inondazioni tra le diverse aree di *policy* comprese nell'attuale approccio integrato alla gestione dei fiumi".

In Italia, lo strumento normativo principale che obbliga all'implementazione della protezione idrogeologica è la legge 267/98, conosciuta come la "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 di catastrofe 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 (APAT, 2006) 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. Il costo totale della protezione completa delle aree ad alto rischio idrogeologico in Italia supera i 42 miliardi di Euro (Ministero

dell'Ambiente -UPI, 2003), di cui 9,9 miliardi per interventi urgenti e/o già approvati. 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. Le ragioni di questa inadeguatezza dei costi presenti a rappresentare quelli futuri sono espresse nell'Appendice, assieme ad una proposta metodologica per un calcolo più completo.

Settore privato

La previsione dei costi di adattamento a maggiori rischi idrogeologici non ha finora attirato lo stesso impegno riservato alle stime dei costi di adattamento a un aumento del livello dei mari o all'aumentata morbilità. Esiste tuttavia almeno un aspetto specifico dell'adattamento ai rischi di questo tipo che ha attirato una certa attenzione e questo perché la posta in gioco è vitale per un settore specifico, quello **assicurativo**.

Le compagnie assicurative e, in particolare, le compagnie di riassicurazione sono particolarmente preoccupate per le implicazioni sul loro settore di un aumento della frequenza delle catastrofi. La copertura dei rischi legati alle catastrofi naturali è già attualmente una parte consistente delle normali operazioni del settore assicurativo. Per esempio, le perdite assicurate per le alluvioni avvenute nell'Italia settentrionale nel 1994 ammontavano a oltre 100 milioni di Euro, mentre per l'inondazione del 2000 le perdite assicurate superavano i 300 milioni di Euro (Swiss Re, 2001). Si noti che queste sono solo frazioni delle perdite globali stimate. In entrambi i casi le perdite stimate superavano 2,6 miliardi di Euro. Il cambiamento climatico aumenterà la quota dei danni per le catastrofi naturali coperte dalle assicurazioni, in quanto da un lato aumenterà la frequenza e l'intensità degli eventi atmosferici estremi, dall'altra in seguito all'andamento intrinseco dello sviluppo economico che tende a far incrementare il valore e la densità del capitale umano e fisico, incrementando la vulnerabilità globale. Nell'ultimo decennio la consapevolezza di questo scenario è cresciuta di pari passo con l'evidenza scientifica che sostiene l'ipotesi del cambiamento climatico.

Bosello et al. (2007) notano che l'effetto combinato di questi due *trend* implica il raddoppio, ogni dieci anni, in tutto il mondo, delle perdite economiche (edifici e loro contenuti, infrastrutture) dovute alle catastrofi naturali, che hanno raggiunto circa 1000 miliardi di dollari USA negli ultimi 15 anni. Nell'epoca attuale, ogni anno le catastrofi naturali correlate ai fenomeni meteorologici sono quadruplicate rispetto a 40 anni fa, provocando perdite 11 volte superiori per le assicurazioni (equivalenti a 10 miliardi di dollari USA per anno negli anni '90 del secolo scorso). Se i *trend* attuali persistono, le perdite *totali* annuali si avvicineranno ai 150 miliardi di dollari USA nel prossimo decennio, dei quali una parte significativa sarà assicurata (Innovest, 2002). È quindi probabile che il settore assicurativo sarà esposto (e quindi vulnerabile) a un aumento del numero e del costo delle domande di indennizzo. Oltre ad un possibile aumento dei costi necessari per affrontare un maggior rischio totale, i costi di adattamento nel settore assicurativo vanno anche interpretati come i costi del cambiamento in termini della sua distribuzione tra assicuratori e assicurati.

Secondo Bosello et al. (2007), gli scenari di adattamento concepibili per il settore assicurativo sono i seguenti. Per il mancato o mal-adattamento, un numero crescente di compagnie assicuratrici potrebbe diventare insolvente. In alternativa, le imprese potrebbero gestire l'esposizione attraverso delle polizze assicurative dinamiche. Potrebbero infine ridurre l'esposizione caricandone "intenzionalmente" l'onere sugli assicurati.

Dato il livello di attenzione dedicato dalle compagnie assicuratrici al monitoraggio delle conseguenze del cambiamento climatico sul loro *business*, è probabile che il mal-adattamento sia scarso e limitato all'incertezza intrinseca delle proiezioni del cambiamento climatico, e non dovuto a una carenza di informazioni o di comprensione del fenomeno da parte delle assicurazioni. È tuttavia realistico presumere che gli assicuratori avranno bisogno di ulteriore capitale di rischio e di una migliore gestione del rischio. Per esempio, l'Associazione degli Assicuratori Inglesi (The

Association of British Insurers) (ABI, 2005) stima che al giorno d'oggi, per coprire la maggior parte delle domande di indennizzo in Europa in seguito alle tempeste di vento, ad eccezione di quelle che avvengono mediamente meno di una volta in 250 anni, il capitale di rischio dovrebbe ammontare a circa 33 miliardi di dollari USA.

Le compagnie assicuratrici potrebbero affrontare le maggiori perdite previste e la necessità di capitali di rischio più elevati, adeguando le strategie assicurative in termini di definizione del premio, delle franchigie e dei limiti di copertura (che fondamentalmente spostano quote aggiuntive di oneri finanziari sui titolari delle polizze e sulle autorità pubbliche), e in termini di accumulazione delle risorse finanziarie a lungo termine e di strategie di riassicurazione (che contribuiscono a ottimizzare la gestione del rischio a lungo termine aumentando l'orizzonte temporale della copertura finanziaria delle compagnie assicuratrici e spalmando i rischi sul maggior numero di operatori possibile), usando anche strumenti finanziari come i *catastrophe bonds* per trasferire il rischio sui mercati finanziari¹⁵.

In aggiunta a queste strategie specifiche delle società assicurative, le recenti pubblicazioni delle compagnie assicuratrici sembrano dedicare una certa attenzione anche alla riduzione dei danni potenziali, diffondendo informazioni utili ai titolari delle polizze al fine di ridurre i danni che potrebbero subire. Va anche tenuto presente che l'imposizione di franchigie elevate sulle polizze è uno strumento tramite cui una compagnia assicurativa può incentivare l'adozione di misure preventive da parte di privati. Nel riquadro riportato nell'Appendice B sono indicati i consigli contro le inondazioni di Munich Re (1997).

Le raccomandazioni delle compagnie assicuratrici ai titolari delle polizze sollevano il problema di valutare quanto costerebbe ai **singoli e alle imprese** proteggere le loro proprietà e le loro vite dalle conseguenze negative delle inondazioni e delle frane. Una valutazione esaustiva di questo tipo non è mai stata compiuta. È possibile tuttavia farsi un'idea di quanto potrebbe costare, ad attività commerciali al dettaglio e turistiche, situate in una città europea, proteggere le loro strutture da livelli eccessivi di acqua alta, sulla base di uno studio di Chiabai e Nunes (2006) relativo alla città di Venezia. Andrebbe però verificato se, per gli impatti esaminati, queste misure siano da considerarsi complementari o sostitutive dell'intervento pubblico. Nel caso di Venezia, sono considerate sostitutive. Tuttavia, per quanto riguarda in particolare gli eventi catastrofici, la prudenza sembra suggerire che la ridondanza non sia una cattiva idea, in quanto è sempre possibile che le strutture protettive cedano in presenza di eventi di entità imprevedibile. I costi totali (inazione +adattamento) valutati da Chiabai e Nunes per le attività commerciali nella città di Venezia esposte all'acqua alta sono piuttosto elevati:

Costi diretti per gli edifici:	3,5 milioni di euro
Costi diretti per l'acqua alta, ogni anno:	22 milioni di euro
Costi diretti per l'acqua alta, per un anno eccezionale (2002) comprese le misure di protezione, per anno:	29 milioni di euro
Costi generati da un singolo evento di acqua alta:	10,6 milioni di euro.

¹⁵ I *catastrophe bonds*, emessi dalle società di assicurazione, raccolgono capitali tramite uno strumento di debito ad alto rendimento. Al realizzarsi di una particolare condizione oggettiva, per esempio il fatto che un uragano di una data categoria colpisca gli Stati Uniti, il capitale investito entra nella disponibilità finanziaria della società di assicurazione emittente senza che sia necessaria la verifica dei danni effettivamente realizzatisi e ripagati da tale società. In cambio di tale rischio, gli investitori che forniscono il capitale ricevono un tasso di interesse significativamente superiore a quelli di mercato.

4. Vulnerabilità economica e indicazioni per una politica di adattamento

4.1 Valutazione della vulnerabilità futura

La valutazione della vulnerabilità futura del territorio italiano al maggior rischio idrogeologico riconducibile al cambiamento climatico è un problema complesso. Il punto d'inizio, naturalmente, dovrebbe essere la situazione attuale descritta in mappe del rischio più dettagliate ed aggiornate rispetto alla situazione riassunta nella Figura 2.4. Si dovrebbe poi considerare in quale misura è probabile che in futuro una parte di questo rischio venga eliminato grazie agli interventi di salvaguardia già definiti necessari, a prescindere dal cambiamento climatico, e che saranno probabilmente effettuati in futuro. A questo quadro è necessario aggiungere i cambiamenti nell'esposizione al rischio idrogeologico, dovuti ai cambiamenti nell'urbanizzazione, nelle pratiche agricole e, più in generale, all'impatto umano sul territorio determinato dallo sviluppo socio-economico. Naturalmente, si dovrà considerare le modalità con cui i fattori d'innescio dei rischi idrogeologici saranno influenzati dal cambiamento climatico. La realizzazione di un modello per tutto questo, con un livello significativo di risoluzione geografica, richiederà un compromesso tra realismo e effettiva possibilità di gestione delle informazioni.

Nella sezione 3 di questo capitolo e in Appendice sono state proposte alcune metodologie in grado di far luce almeno su alcuni degli elementi di questo quadro complesso. Il compito di prevedere in particolare il tipo di società e il sistema economico che avrà il nostro paese alla fine di questo secolo, e come questi modificheranno l'uso e le caratteristiche del territorio, è ancora lungo e complesso. In generale, nella letteratura, questo compito viene affrontato con una notevole, ma talvolta inevitabile, semplificazione delle premesse.

Una piccola parte di questo quadro è un po' più chiara, e più precisamente l'evoluzione della situazione normativa e il suo effetto sulle iniziative future di adattamento. L'Italia si è impegnata ad applicare le norme e le direttive europee nel suo territorio e, come già detto, l'Europa ha preso posizioni precise sulla mitigazione e sull'adattamento al cambiamento climatico. Vale la pena sottolineare che i provvedimenti della legge 267/98 appaiono in linea con la legislazione europea in questo campo. Restano ancora, tuttavia, delle lezioni da imparare dalle politiche delle acque e del clima di altri paesi europei.

4.2 Politiche di adattamento europee

È importante notare che, per quanto riguarda i disastri idrogeologici, il *focus* principale della legislazione dell'UE è l'acqua e, nell'ambito dei problemi idrici, le inondazioni. Le frane non sono considerate di per sé, ma come prodotti collaterali dei rischi connessi all'acqua.

Il rapporto EEA su "I problemi del cambiamento climatico e dell'adattamento dell'acqua, *Climate Change and Water Adaptation Issues*" (EEA 2007) descrive le politiche rilevanti a livello di Unione Europea e, sulla base di un'inchiesta svolta dal governo tedesco, all'interno di ogni stato membro.

A livello europeo, lo strumento principale che affronta i problemi idrici rimane la *Water Framework Directive* (WFD). Nonostante non affronti esplicitamente il cambiamento climatico, la direttiva "è adatta a gestire le implicazioni a lungo termine del cambiamento climatico con il suo approccio ciclico e graduale. La sua efficacia nell'assicurare l'adattamento al cambiamento climatico dipenderà dalla misura in cui la prospettiva a lungo termine è prevista nei piani di gestione dei bacini fluviali. L'applicazione della direttiva richiede la valutazione degli impatti del cambiamento climatico sulle condizioni di riferimento delle acque (*water bodies*) e l'efficacia in termini di costi delle strategie di gestione dell'acqua. L'adattamento potrebbe essere esplicitamente incorporato nell'applicazione della WFD in modi diversi, per esempio attraverso una valutazione dell'impatto del cambiamento climatico per ogni distretto con un bacino fluviale e con l'inclusione di azioni sui bacini nella programmazione delle misure. Si potrebbe anche considerare l'inclusione degli impatti del cambiamento climatico e degli indicatori di adattamento nelle attività di monitoraggio del WFD" (EEA 2007). Tutto questo è possibile perché la direttiva riconosce

specificatamente la necessità di considerare gli effetti a lungo termine sull'acqua, sia in termini di condizioni di riferimento che in termini di cambiamenti antropogenici da valutare rispetto a queste condizioni di riferimento, rendendo la WFD un quadro di valutazione intrinsecamente dinamico.¹⁶ La WFD non è rilevante solo per il monitoraggio dello stato di un determinato bacino, ma anche come guida per i contenuti delle politiche nel campo delle acque. Prevede che l'intervento sia efficace dal punto di vista dei costi, e che l'analisi economica specifica sia eseguita in modo da identificare il miglior pacchetto di misure. Nel processo decisionale che porta all'adozione di politiche di adattamento in questo campo, si dovranno quindi incorporare gli esercizi di valutazione come quelli proposti nella Sezione precedente. Il processo dovrebbe infatti essere articolato come segue:

- Valutazione dei *trend* dei fattori/driver idrogeologici e socio economici più importanti che si ritiene possano influenzare i fattori di stress (demografia, clima, politiche di settore, per esempio, politica agricola comune, sviluppo tecnologico);
- Identificazione delle misure proposte e degli investimenti programmati per l'applicazione della legislazione idrica esistente;
- Previsione dei cambiamenti di pressione basati sulle modifiche dei *driver* economici settoriali e fisici e proposte di misure relative all'acqua;
- Costruzione di uno scenario *business-as-usual* per le i fattori di stress;
- Esecuzione di un'analisi di sensitività sullo scenario basale e identificazione degli scenari a bassa e alta pressione.

Inoltre, gli “Stati devono ‘assicurare coerenza con le proiezioni e i *trend* usati per gli altri bacini fluviali per le politiche nazionali e comunitarie e per il cambiamento climatico’. Si consiglia anche di aggiornare lo scenario *business-as-usual* oltre il 2004 per integrare i cambiamenti nei parametri incerti. A questo proposito, la WFD identifica requisiti informativi, ivi compresi l'impatto del cambiamento climatico e gli studi sul bilancio idrico corrente e previsto”. “L'approccio è focalizzato sulla previsione degli stress e dei principali *driver* settoriali socio economici che potrebbero influenzare gli stress. Distingue tra variabili che possono essere derivate con un alto livello di confidenza e quelle incerte. Il cambiamento climatico è menzionato specificatamente come un'incertezza critica”.

L'attenzione all'efficacia, in termini di costi dell'approccio WFD, può richiedere un ulteriore aggiustamento per tenere pienamente conto del cambiamento climatico nel processo di elaborazione delle politiche seguite dagli stati membri. In effetti, come sottolineato nella Sezione 2, l'incertezza sul ruolo del cambiamento climatico nello spiegare la variabilità delle precipitazioni fino agli anni '30 del 21° secolo, potrebbe prevenire l'adozione di alcune misure, perché il loro costo potrebbe essere considerato sproporzionato nel medio termine¹⁷.

Nell'ambito del WFD, le inondazioni sono considerate separatamente. In particolare, la direttiva chiede esplicitamente agli stati membri di essere preparati per gli eventi estremi e di prendere tutte le misure possibili per ripristinare i bacini idrici (Articolo 4), in quanto il deterioramento temporaneo è permesso solo in caso di eventi veramente eccezionali e imprevedibili¹⁸.

¹⁶ “Il WFD non si basa quindi sul presupposto che le condizioni di riferimento tipo-specifiche rimarranno statiche, e la revisione ciclica, insieme al '*climate change*' *proofing* delle condizioni di riferimento per i fattori individuali di qualità, può essere usata per ottenere una buona integrazione del cambiamento climatico nel WFD” (EEA 2007).

¹⁷ Il rapporto EEA illustra il problema con il caso del *wastewater management*. “[N]ell'ambito del WFD, le portate incontrollate delle acque fognarie non sono permesse perché non sono né 'eccezionali' né 'imprevedibili', ma il costo per costruire un ulteriore spazio di contenimento delle acque o sistemi di scolo per affrontare precipitazioni estreme/frequenti (ancora altamente incerte) potrebbe essere considerato 'esageratamente elevato'. Altri stress correlati alle precipitazioni sono il *run-off* dei nutrienti, la disponibilità dei sedimenti e la modifica dell'*habitat* dei fiumi” (EEA 2007).

¹⁸ L'obiettivo di limitare i possibili danni delle inondazioni potrebbe essere in conflitto con altre priorità della direttiva, il “buono stato chimico” e il “buon potenziale ecologico” di un bacino fluviale quando la protezione contro le inondazioni richiede importanti modifiche idro-morfologiche. Naturalmente, un approccio pluri-dimensionale alla

La proposta **Direttiva sulla Valutazione e la Gestione delle Inondazioni** (*Assessment and Management of Floods*) (COM(2006) 15 finale) è complementare al WFD in quanto affronta specificatamente i rischi di inondazione influenzati dal cambiamento climatico, in seguito all'esplicito riconoscimento da parte della Commissione che la mitigazione delle alluvioni non era uno degli obiettivi principali del WFD¹⁹. La proposta della direttiva sulle inondazioni è parte di un'iniziativa più ampia, il "Programma Europeo di Azione per le Inondazioni" che prevede scambi di informazioni, esperienze e sostegno per la ricerca e per il miglior uso degli strumenti comunitari per la gestione del rischio delle inondazioni. Secondo la proposta, agli stati membri si chiede di realizzare:

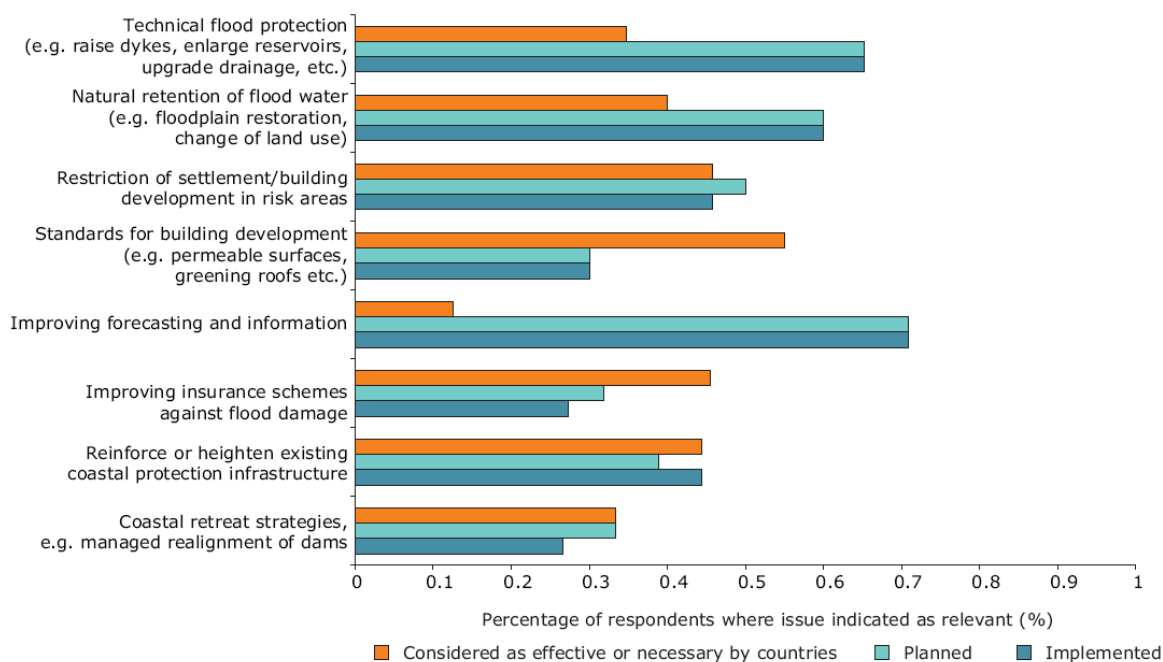
- "una valutazione preliminare del rischio di inondazioni: per stabilire le zone dove esistono rischi significativi di inondazioni o che sono prevedibilmente ad alto rischio di inondazione, tenendo conto del cambiamento climatico;
- mappe del rischio d'inondazione: i rischi d'inondazione devono essere evidenziati su una mappa per i bacini fluviali e per i bacini minori ad alto rischio, per aumentare la consapevolezza del pubblico; sostenere il processo di definizione delle priorità, individuando e giustificando le finalità degli investimenti e sviluppando politiche e strategie sostenibili; [...] piani territoriali e di emergenza;
- piani di gestione del rischio d'inondazione: i piani per la gestione del rischio d'inondazione devono poi essere sviluppati e applicati ai bacini fluviali e ai bacini minori per ridurre e gestire il rischio. Questi piani dovrebbero comprendere l'analisi e la valutazione del rischio d'inondazione, la definizione del livello di protezione, e l'identificazione e l'applicazione delle misure sostenibili: non trasferendo i problemi alle regioni situate a monte o a valle, ma preferibilmente contribuendo a ridurre i rischi d'inondazione in queste regioni."

Come osservato, la legge italiana 267/98 è già parzialmente in linea con questi provvedimenti, almeno per quanto riguarda le tipologie degli strumenti da fornire; tuttavia, lo scopo della direttiva è evidentemente quello di procedere oltre, in particolare per quanto riguarda la programmazione, includendo le considerazioni sul cambiamento climatico, la sostenibilità e la consapevolezza del pubblico.

Il rapporto EEA (EEA 2007) contiene una vasta rassegna delle risposte di politica nazionale al problema della considerazione del cambiamento climatico nelle politiche dell'acqua. La Figura 4.1 riassume le misure principali adottate in Europa per la prevenzione delle inondazioni:

gestione delle acque, rivolto contemporaneamente a diversi obiettivi in modo coordinato, può minimizzare i *trade-off* di questo tipo.

¹⁹ Comunicazione della Commissione del luglio 2004 sulla gestione del rischio delle inondazioni, prevenzione delle inondazioni, protezione e mitigazione (COM/2004/472).



Source: EEA and German Ministry survey.

Figura 4.1. Applicazione e pianificazione futura delle misure di controllo delle inondazioni nei paesi europei. I respondent sono le autorità nazionali per l'acqua. EEA (2007)²⁰

La figura sottolinea come vi sia un forte interesse nel miglioramento della conoscenza in questo settore, poiché l'incertezza può minare l'efficacia di molte contromisure. Tuttavia, almeno la metà dei paesi sta applicando o considerando altri interventi diretti. “Un certo numero di paesi ha già definito la difesa contro le inondazioni come una priorità, anche in assenza di cambiamento climatico. L'adattamento al cambiamento climatico implica l'adattamento agli standard esistenti, le politiche e i programmi, così come l'implementazione di nuovi programmi, se necessario. Questo si riflette forse nel fatto che il 65% circa degli intervistati ha applicato e sta programmando misure ingegneristiche di prevenzione delle inondazioni” (EEA 2007). Per i bacini transnazionali, i paesi hanno identificato la necessità di una migliore collaborazione e un miglior coordinamento delle politiche di gestione dell'acqua.

Tra i paesi esaminati, i paesi dell'Europa nord-occidentale, come il Belgio e i Paesi Bassi, e i paesi dell'Europa centrale, come l'Austria, sembra abbiano sviluppato sistemi di prevenzione delle inondazioni particolarmente avanzati. Le loro caratteristiche principali sono riassunte nel riquadro seguente.

Box 4.1 Risposte di adattamento all'aumento dei rischi d'inondazione dovuti al cambiamento climatico. I casi dei Paesi Bassi, Belgio e Austria.(da EEA, 2007)

“Nei Paesi Bassi, il cambiamento climatico e le misure di adattamento sono integrati esplicitamente nel programma delle politiche dell'acqua. Si sottolinea l'importanza delle strategie 'no regret'. Nonostante il rischio d'inondazione domini il programma di adattamento delle politiche delle acque, si riconosce anche l'aumentato rischio di periodi di siccità e di carenza di acqua. Le implicazioni territoriali della posizione del governo sulla gestione dell'acqua e delle relative misure di adattamento sono state incorporate nella politica del territorio olandese. L'integrazione nella politica rurale offre l'opportunità di associare l'applicazione delle misure nelle zone rurali per una maggiore sicurezza e prevenzione delle inondazioni, alle misure rivolte ad altri obiettivi, come il miglioramento della qualità dell'acqua, la lotta contro l'abbassamento delle falde acquifere, la ricostruzione delle zone rurali e il miglioramento delle infrastrutture ecologiche.

²⁰ Gli ultimi due elementi del grafico sono rilevanti per i paesi costieri per i quali ci si attende un aumento delle tempeste e delle inondazioni negli estuari dei fiumi.

La politica delle acque dei Paesi Bassi (Ministero dei Trasporti, Opere Pubbliche e Gestione dell'Acqua, 2000) riconosce che negli anni futuri l'incremento dei livelli di acqua nei fiumi e l'aumento accelerato dei livelli del mare renderanno insufficienti molte misure tecniche, come la costruzione delle dighe. Viene quindi seguita una nuova politica per destinare più spazio alle acque ("*Ruimte voor de Rivier*", spazio al fiume). Nell'ambito di queste politiche, i fiumi possono fluire nei canali laterali e nelle zone paludose per prevenire le inondazioni. Maggiore enfasi viene inoltre data alla gestione dei livelli dell'acqua, anziché all'esclusione della stessa. La sicurezza continua a essere la priorità principale. Gli altri obiettivi sono quelli di evitare la distruzione del notevole valore culturale, storico e naturale dei paesaggi fluviali, nel rispetto dei principi seguenti:

- prevenire anziché reagire;
- seguire una strategia a tre fasi (primo, ritenzione, poi accumulazione e, come ultima soluzione, scarico);
- destinare uno spazio più grande all'acqua (per esempio, delineando delle zone di rispetto per le emergenze inondazioni) oltre all'applicazione di misure tecnologiche (per esempio, rinforzo delle dighe);
- innalzamento dei livelli delle spiagge.

L'attuale politica delle acque si propone di preparare e di proteggere i Paesi Bassi, entro il 2015, da portate del Reno fino a 16 000 m³/s. Un programma di *follow-up* prevede la protezione per portate fino a 18 000 m³/s dopo il 2015 (la portata più alta mai misurata è pari a 12 600 m³/s, nel gennaio 1926 a Lobith)."

"Analogamente, in **Belgio**, si sottolineano gli approcci integrati, che considerano specificatamente gli impatti delle maggiori infiltrazioni negli edifici in seguito all'innalzamento dei livelli dei bacini. Nelle Fiandre, i piani edilizi, così come qualsiasi piano che potrebbe avere conseguenze sulle risorse idriche, vengono verificati per quanto riguarda le conseguenze idrogeologiche, in particolare nelle zone a rischio di inondazione e vicine ai bacini di acqua potabile. L'obiettivo è quello di evitare impatti negativi sul sistema idrico, ma anche di ridurre il rischio e le conseguenze delle inondazioni. Di conseguenza, le autorità possono richiedere misure specifiche se necessario, come l'uso di terreni permeabili. Sono state preparate delle mappe per identificare i rischi d'inondazione per facilitare l'applicazione di queste misure.

Nella regione Bruxelles - Capitale, la politica delle inondazioni è basata su un approccio sia palliativo che preventivo. La misura palliativa principale è la costruzione di una rete di scarichi di emergenza, generalmente sotterranei, per recuperare l'acqua piovana delle grandi precipitazioni, in modo da regolare la portata dell'acqua nei sistemi fognari. La regione ha più di 10 sistemi di scarico per i temporali, sufficientemente grandi per assorbire le inondazioni che potrebbero avvenire una volta ogni 10 anni. Se il volume delle precipitazioni intense aumentasse del 10%, che è una possibilità entro 50-100 anni, la frequenza delle inondazioni aumenterebbe a una in sei anni. È in costruzione un ulteriore canale di scarico e un altro è in fase di programmazione. La prevenzione comprende due dimensioni: il miglioramento dell'infiltrazione della terra e la ritenzione dell'acqua alla fonte. Si stanno applicando misure diverse per recuperare l'acqua piovana (l'installazione di serbatoi per l'acqua è obbligatoria per gli edifici nuovi ed è promossa con i fondi regionali per gli edifici esistenti), per aumentare l'infiltrazione e l'evapo-traspirazione (limiti alle zone edificate, scelta di materiali porosi, piante e 'tetti verdi')."

"**Austria**. Per affrontare le inondazioni fluviali si riconosce la necessità di quanto segue:

- approccio integrato per la gestione delle inondazioni per affrontare tutte le fasi del ciclo del rischio di inondazioni, comprese le attività e le misure di prevenzione, protezione, preparazione, risposta in caso di emergenza e ritorno alla normalità dopo l'inondazione;
- collaborazione di tutte le autorità pubbliche e delle altre parti competenti, applicando una vasta gamma di strumenti nelle diverse fasi del ciclo di inondazione. La promozione della partecipazione pubblica e l'aumento della consapevolezza sono i requisiti fondamentali per la loro corretta applicazione;
- il processo di pianificazione dovrà prevedere la possibilità reale che anche i validi sistemi di controllo delle inondazioni possono fallire se la portata supera i valori previsti nei piani. Il rischio residuo deve essere riflesso nel processo di pianificazione e deve essere opportunamente comunicato al pubblico potenzialmente coinvolto.

Queste azioni sono già state parzialmente applicate e saranno ulteriormente applicate, per esempio attraverso le linee guida (per la pianificazione regionale, ecc.) e per quanto riguarda la consapevolezza del pubblico. Sono stati sviluppati modelli per la valutazione dei pericoli derivanti dai flussi torrenziali, i flussi di detriti, le valanghe di neve e la caduta di sassi. Negli ultimi anni si è proceduto alla raccolta di informazioni e di conoscenze a livello nazionale sui pericoli naturali del territorio. I piani per le zone a rischio sono attualmente disponibili in quasi tutta l'Austria."

Sono previsti ulteriori sviluppi con il Libro Verde sul Cambiamento Climatico e l'Adattamento, *Green Paper on Climate Change Adaptation*, appena presentato al pubblico. Il Libro Verde fornisce un quadro legale a livello comunitario (UE), come il supporto per l'adattamento nell'ambito dei programmi di finanziamento diretto dell'Unione Europea, in particolare i fondi Strutturali, di Coesione e di Solidarietà, i fondi per lo Sviluppo Agricolo e Rurale e lo strumento LIFE+, che dovrebbe essere sempre più diffuso per sostenere gli obiettivi delle politiche comunitarie di cambiamento climatico.

4.3 Raccomandazioni per le politiche di adattamento

La prima, ovvia raccomandazione è che l'Italia non deve rimanere indietro nell'adozione delle politiche realizzate a livello dell'Unione Europea. La WFD e gli emendamenti proposti, nonché le direttive complementari, come la direttiva per le inondazioni costituiscono un quadro formidabile per lo sviluppo di politiche nazionali ben strutturate e integrate con quelle di altri stati membri, e basate su un *pool* condiviso di conoscenze ed esperienze.

Colpisce l'enfasi posta sia dall'UE che dalle politiche nazionali sulla riduzione delle incertezze relative alla conoscenza degli impatti del cambiamento climatico e delle opzioni di adattamento locali. L'incremento delle informazioni disponibili è considerato cruciale per rispondere in modo efficiente ai pericoli climatici futuri. In questo senso, l'impegno nella ricerca, come quello promosso da questa Conferenza Nazionale, deve essere attivamente sostenuto per i decenni a venire.

Infine, ci sono le lezioni da imparare, basate sulle esperienze dei paesi dell'UE, in particolare del Belgio e dei Paesi Bassi, per quanto riguarda la prevenzione delle inondazioni nelle pianure (come la valle orientale del Po), mentre le misure attuate o programmate in Austria sono rilevanti per le Alpi italiane.

L'esperienza olandese indica che l'approccio *no-regret* dovrebbe essere applicato nella misura più ampia possibile, indipendentemente dagli impatti principali previsti: quindi, mentre in quel paese le inondazioni e l'aumento delle tempeste sono le fonti di preoccupazione principali, le autorità olandesi si preparano anche per i periodi di carenza di acqua. Analogamente, noi dovremmo sì considerare i rischi di siccità e di desertificazione, che sono in testa al nostro elenco di priorità (almeno secondo il rapporto EEA) *ma anche* il rischio di essere ancora circondati da troppa acqua. Inoltre, ha senso l'idea di lasciare "più spazio all'acqua" invece di privilegiare l'idea di cercare di contenerla con barriere artificiali, vista l'incertezza dell'entità dei futuri fenomeni d'inondazione. L'idea belga di prevedere un sistema per prevenire lo straripamento del sistema fognario potrebbe servire per ridurre i danni nelle zone densamente popolate e in particolare per evitare la contaminazione dell'acqua potabile da parte delle acque fognarie. Il sistema altamente integrato usato in Austria, con la sua enfasi sul coinvolgimento delle comunità locali e sull'aumento della consapevolezza del rischio potenziale potrebbe essere particolarmente utile anche in Italia, dove sono importanti le specificità locali, in particolare nel caso di fenomeni localizzati come le frane e i *flash flood*.

Ci auguriamo che l'analisi quantitativa dell'inazione e dei costi di adattamento, la cui metodologia è descritta nella sezione presente e in quella precedente, sia utile per identificare con maggiore precisione le priorità degli interventi.

5. Conclusioni e gap conoscitivi da colmare.

Questo studio ha esplorato lo stato dell'arte nella valutazione degli impatti socioeconomici dell'aumentato rischio idrogeologico riconducibile al cambiamento climatico in Italia, e ha proposto un approccio metodologico per iniziare a colmare gli attuali divari di conoscenza. Le lacune sono sostanziali, in quanto fino ad oggi la letteratura socioeconomica si è dedicata principalmente ad altri impatti del cambiamento climatico, come per esempio quelli sulla salute e sull'innalzamento dei livelli del mare. Anche a livello internazionale, la letteratura disponibile si limita a pochi casi studio. L'esecuzione delle analisi proposte in questo studio sarà solo un primo passo, ci auguriamo, nella giusta direzione.

I **gap conoscitivi** sono qualitativamente differenti per la valutazione delle componenti socioeconomiche del costo dell'inazione e per il costo di adattamento. Sono tuttavia uguali per quanto riguarda la parti climatica e idrogeologica delle questioni.

Tralasciando gli aspetti più tecnici dei *gap* conoscitivi sui problemi fisici, a partire dalla prospettiva della valutazione dei costi del cambiamento climatico, è cruciale migliorare l'affidabilità della modellistica del **meccanismo di trasmissione degli effetti del cambiamento climatico dagli scenari globali SRES fino all'aumento del rischio idrogeologico**, con un livello significativo di risoluzione. In altre parole, idealmente gli economisti avrebbero bisogno di informazioni molto più precise di quanto oggi disponibile su che cosa un aumento nella temperatura media globale significherebbe in termini di variazione nella probabilità di inondazioni e frane di ogni livello di gravità in ogni chilometro quadrato del territorio italiano. Ciò comporterà un impegno notevole di ricerca e nel *downscaling* dei modelli climatici, e nella modellistica dei fattori d'innescio di origine climatica di frane e alluvioni. Tuttavia, il divario di conoscenza da colmare richiede la combinazione dei metodi specifici che sono stati ampiamente sviluppati da varie discipline. Sono disponibili modelli di scenari climatici futuri con una risoluzione accettabile e l'analisi dei rischi idrogeologici si è sviluppata da lungo tempo indipendentemente dalle preoccupazioni relative al cambiamento climatico. È necessario tuttavia uno sforzo interdisciplinare per mettere in comunicazione queste diverse competenze in modo da raggiungere una copertura scientificamente valida del territorio italiano per quanto concerne gli aspetti "fisici" di questo tipo di impatti. Le prime fasi della metodologia che proponiamo nella Sezione 3 sono un primo tentativo in questa direzione, ma va sicuramente raffinato.

Le metodologie per la valutazione degli **impatti economici** degli eventi estremi sono ormai consolidate. Tuttavia, è necessario esplorare ulteriormente i diversi effetti specifici delle inondazioni e delle frane. È di nuovo necessario uno sforzo interdisciplinare, che colleghi l'analisi economica con l'*input* di altre discipline scientifiche. Come indicato nella Sezione 3, l'elenco dei possibili impatti prevede: perdita di vite umane, altri effetti sulla salute derivati dagli infortuni causati dai detriti e dal materiale trasportati dalle acque o incidenti causati indirettamente dall'inondazione; malattie provocate dalle acque contaminate, in particolare nello straripamento delle fogne durante le inondazioni estreme; la contaminazione di sostanze inquinanti trasportate dall'acqua; danni agli edifici, alle installazioni industriali, alle attività commerciali e pubbliche; danni all'agricoltura; interruzioni dei trasporti, danni alle infrastrutture del trasporto e turistiche; danni alle zone naturali, agli ecosistemi e al patrimonio culturale. Come spiegato in dettaglio nella Appendice A, tali danni 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. Si tratta di un poderoso impegno di ricerca, che richiederà la collaborazione di economisti, epidemiologi, ingegneri dei trasporti, agronomi, esperti di scienze naturali, ecc. Alcuni di questi danni sono valutati rutinariamente per le inondazioni e le frane (in particolare i danni alle infrastrutture e alcuni danni agricoli). Dal punto di vista quantitativo, manca per tutti questi effetti

una proiezione della loro entità 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** realizzate d'ora in poi e quali saranno le implicazioni per la valutazione dei costi di adattamento. Come indicato nella Appendice A, è necessaria una valutazione ragionevolmente precisa relativamente a quanto di questo rischio potrà essere rimosso in futuro dagli interventi di protezione già identificati come necessari a prescindere dal cambiamento climatico; inoltre è necessario valutare 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. Lo sviluppo di tali scenari è un esercizio carico d'incertezza e l'unico elemento di indirizzo relativamente affidabile è l'evoluzione delle politiche europee in questo campo, almeno per i prossimi decenni. Questo esercizio è tuttavia necessario. 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.

In conclusione, è richiesto uno sforzo di ricerca notevole; la buona notizia è che tale sforzo sarà sostanzialmente basato su metodologie ormai consolidate in varie discipline. La sfida principale è la coordinazione di queste conoscenze in modo efficace, per poter fornire solide basi alle scelte di politica ambientale in questa area. Per un territorio storicamente soggetto a gravi e diffusi rischi idrogeologici come quello italiano, questa è una chiara priorità per il futuro della ricerca sul clima.

Bibliografia

ABI - Association of British Insurers, (2005), “Financial Risks of Climate Change –Summary” Report, June 2005, Londra: Association of British Insurers.

http://www.abi.org.uk/Display/File/Child/552/Financial_Risks_of_Climate_Change.pdf .

Adams, R.M., McCarl, B.A., Mearns, L.O., (2003) “The Effects of Spatial Scale of Climate Scenarios on Economic Assessments: An Example from U.S. Agriculture”. *Climatic Change*, 60, 131-148

Adams, R. M., McCarl, B. A., Segerson, K., Rosenzweig, C., Bryant, K. J., Dixon, B. L., Conner, R., Evenson, R. E., & Ojima, D. (1999), “The Economic Effects of Climate Change on U.S. Agriculture”, in *The Impact of Climate Change on the United States Economy*, R. O. Mendelsohn & J. E. Neumann (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 18-54.

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.

Anagnostopoulou, C., Tolika, K., Flocas, H. and Maheras, P. (2006) “Cyclones in the Mediterranean region: present and future climate scenarios derived from a general circulation model (HadAM3P)” *Advances in Geosciences*, 7, 9–14.

Andréasson, J.; Bergström, S.; Carlsson, B.; Graham, L. P. and Lindström, G., (2004). “Hydrological change — climate change impact simulations for Sweden”. *Ambio* 33, 228–234.

Barnett, T. P.; Adam, J. C. and Lettenmaier, D. P., (2005). “Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions.” *Nature*, 438(7066): 303–309.

Beniston, M., Stephenson, D. B., Christensen, O. B., Ferro, C. A. T., Frei, C., Goyette, S., Halsnaes, K., Holt, T., Jylhä, K., Koffi, B., Palutikof, J., Schöll, R., Semmler, T., Woth, K. (2007), “Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections.” *Climatic Change* 81:71–95

Brázdil, R.; Kundzewicz, Z.W. and Benito, G., (2006). “Historical hydrology for studying flood risk in Europe”. *Hydrological Sciences Journal*, 51, 739–764.

Bigano, A., Hamilton, J.M., Tol, R.S.J. (2006). “The Impact of Climate Change on Domestic and International Tourism: A Simulation Study”, FEEM Working Paper 135.06, Milan, Italy.

Bosello F. (*in corso di stampa*). “Adaptation, Mitigation and “Green” R&D: Alternative Cures for Global Climate Change? Insights From an Integrated Assessment Exercise”, FEEM Working Papers Series.

Bosello, F, Roson, R. and Tol, S.J.R, (2005). “Economy-Wide Estimates of the Implications of Climate Change:Human Health.” FEEM Working Paper 97.05, Milan, Italy.

Bosello, F., Kuik, O., Tol, S.J.R., Watkiss, P. (2007). "Costs of Adaptation to climate change: a review of assessment studies with a focus on methodologies used". 6th Specific Agreement No 3602/B2005.EEA under the Framework Contract No. EEA/AIR/04/004.

Bosello, F., Roson, R. and R.S.J. Tol (*in corso di stampa*), 'Economy Wide Estimates of the Implications of Climate Change: Sea Level Rise', *Environmental and Resource Economics*.

Buma, J., Dehn, M. (2000). "Impact of climate change on a landslide in South East France, simulated using different GCM scenarios and downscaling methods for local precipitation." *Climate Research*, 15: 69–81.

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.

Christensen, J. H., Christensen, O. B. (2002) "Severe summertime flooding in Europe." *Nature*. 421 20 February 2002

Christensen, J. H., Christensen, O. B. (2007). "A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century." *Climatic Change* 81:7–30

Cineas (2001). "Prigionieri del tempo? I cambiamenti climatici e gli eventi catastrofici: valutare, prevenire, prevedere i rischi per le imprese e i riflessi socio economici per le istituzioni." POLIEDRA Centri di conoscenza e formazione del Politecnico di Milano. Milano, 7 Giugno 2001

Cline, W.R. (1992), "The Economics of Climate Change", Institute for International Economics, Washington DC.

Commissione Delle Comunità Europee (2007a). "Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo e al Consiglio: Verso una gestione sostenibile delle acque nell'Unione europea - Prima fase dell'attuazione della direttiva quadro sulle acque (2000/60/CE) COM(2007) 128 definitivo".

Commissione Delle Comunità Europee (2007b) "Impact Assessment Commission Staff Working Document. Accompanying Document to the Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Limiting Global Climate Change To 2 Degrees Celsius. The Way Ahead For 2020 and Beyond. Com(2007) 2 Final."

CPB (2005a). "Kosteneffectiviteitsanalyse van het maatregelpakket in de PKB Ruimte voor de Rivier. Deel 1: Veiligheid tegen overstromen" (in olandese). Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, L'Aia.

CPB (2005b). "Kosteneffectiviteitsanalyse van het maatregelpakket in de PKB Ruimte voor de Rivier. Deel 2: Cost Kosteneffectiviteit van maatregelen en pakketten." (in olandese). Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, L'Aia.

Dore, M. and Burton, I. (2001). "The Costs of Adaptation to Climate Change in Canada: A Stratified Estimate by Sectors and Regions – Social Infrastructure". *Climate Change Laboratory*, Brock University, St Catharines, Canada, 117 pp.

de Roo, A.P.J., C.G. Wesseling, and W.P.A. Van Deurzen (2000). "Physically-based river basin modelling within a GIS: the LISFLOOD model." *Hydrological Processes*, 14, 1981-1992.

European Environmental Agency (2000). “The European Topic Centre on Terrestrial Environment: Corine land cover raster database 2000 - 100m.”

European Environmental Agency, (2006). “EEA's core set of indicators.”, http://ims.eionet.europa.eu/IMS/ISpecs/ISpecification20041006175027/IAssessment1164879362509/view_content.

European Environmental Agency (2005) Vulnerability and adaptation to climate change in Europe. EEA Technical report No 5/2005 110 pp. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities

European Environmental Agency (2007) “Climate change and water adaptation issues.” EEA Technical report No 2/2007 110 pp. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

Fankhauser , S. (1994). “Protection vs Retreat – the Economic Cost of Sea Level Rise”, *Environment and Planning A* 27, 299-319

Fankhauser, S. (1995). “Valuing Climate change. The Economics of the Greenhouse”, Earthscan, London

Ferro, V., Porto, P. (2006). “Flood Frequency Analysis for Sicily, Italy.” *Journal of Hydrologic Engineering*, 11:2 110-122 ASCE.

Feyen, L. Dankers, R., Barredo, J. I., Kalas, M., Bódis, K., de Roo, A., Lavalle, C. (2006). “PESETA Projections of economic impacts of climate change in sectors of Europe based on bottom-up analysis. Flood risk in Europe in a changing climate.” Institute of Environment and Sustainability, EUR 22313 EN

Franco, G., Sanstad A.H., (2006). “Climate Change and Electricity Demand in California.” White Paper, CEC-500-2005-201-SF, February 2006, California Climate Change Center, Sacramento, CA.

Frei, C., Schöll, R., Fukutome, S., J., Schmidli, J., Vidale, P. L. (2005). “Future Change of Precipitation Extremes in Europe: an Intercomparison of Scenarios From Regional Climate Models.” Mimeo, Atmospheric and Climate Science, ETH, Zürich, Switzerland

GLOWA-Danube, <http://www.glowa-danube.de/>

Graham, L. P., (2004). “Climate change effects on river flow to the Baltic Sea.” *Ambio* 33, 235–241.

Haylock, M. and Goodess, C., (2004). “Interannual variability of European extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation.” *International Journal of Climatology*, 24, 759–776.

Holt, T. and Palutikof, J. (2004). “Precipitation extremes over the Mediterranean.” PRUDENCE Deliverable 5.A.6

Hope, C. W. (2006), ‘The Marginal Impact of CO₂ from PAGE2002: An Integrated Assessment Model Incorporating the IPCC’s Five Reasons for Concern’, *Integrated Assessment Journal*, 6 (1), 19–56.

Hope, C., Anderson, J. and P. Wenman (1993), "Policy Analysis of the Greenhouse <effect: an Application of the PAGE model", *Energy Policy*, 21(3), 327-338.

Innovest (2002), "Climate Change and the Financial Services Industry: Module 1 threats and opportunities", Rapporto preparato per UNEP FI.

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." Chapter 3 (Trenbeth, K.E., Ph.D. Jones et al.: Observations: Surface and atmospheric Climate Change); Chapter 5 (Bindoff, N.; Willebrand, J. et al.: Observations: Oceanic Climate Change and Sea level); Chapter 10 (Meehl, G.A.; Stocker, Th. F.: Climate Change Projections). IPCC in press.

IPCC (2007c). "Climate change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the IPCC. IPCC Fourth Assessment Report.

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.

Kleinen, T., Petschel-Held, G., (2007) Integrated assessment of changes in flooding probabilities due to climate change. *Climatic Change* 81:283–312.

Klein Tank, A., (2004). Changing Temperature and Precipitation Extremes in Europe's Climate of the 20th Century. PhD thesis, Utrecht University.

Lastoria, B. Simonetti, M. R. Casaioli, M. Mariani, S. and Monacelli, G. (2006). "Socio-economic impacts of major floods in Italy from 1951 to 2003." *Advances in Geosciences*, 7, 223–229.

Legambiente (2005). "Il clima impazzito. Gli effetti dei mutamenti climatici in Italia e nel mondo." http://www.legambiente.com/documenti/2005/0216_dossier_Clima_Impazzito/dossier_clima_impazzito.php

Luino F., Chiarle M., Nigrelli G., Godone F., Agangi A., Biddoccu M., Cirio C.G., Giulietto W. (2006). "A model for estimating flood damage in Italy: preliminary results." In Aravossis A., Brebbia C.A., Kakaras E. & Kungolos A.G. (eds.) "Environmental Economics and Investment Assessment", *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 98, 65-74.

Mansur, E.T., Mendelsohn, R., and Morrison W., (2005): "A Discrete-Continuous Choice Model of Climate Change Impacts on Energy". Social Science Research Network, Yale School of Management Working Paper No. ES-43, Yale University, New Haven, CT, 41 pp.

Meehl, G.A. and Tebaldi, C., (2004). "More intense, more frequent, and longer lasting heatwaves in the 21st century". *Science*, 305, 994–997.

Mendelsohn, R. O., Morrison W., Schlesinger, M. E., Andronova, N. G. (2000). "Country-Specific Market Impacts of Climate Change", *Climatic Change*, 45, 553–569.

Metroeconomica (2006). “Methodology for Costing the Impacts of Climate Change in the UK”. Power Point Presentation for the UK Climate Impacts Programme.

Middelkoop, H. et al., (2001). “Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin”. *Climatic Change*, 49, 105–128.

Milly, P. C. D.; Wetherald, R. T.; Dunne, K. A. and Delworth, T. L., (2002). “Increasing risk of great floods in a changing climate”. *Nature*, 415, 514–517.

Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio (2002), “Terza Comunicazione Nazionale dell’Italia Alla Convenzione Quadro Sui Cambiamenti Climatici”.

Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio - UPI (2003), “Pianificazione Territoriale Provinciale e Rischio Idrogeologico. Previsione e Tutela- Sintesi dello Stato della Pianificazione con Particolare Riferimento alla Riduzione del Rischio Idrogeologico e del Rischio Idraulico”. Unione delle Province Italiane, Roma, http://www.upinet.it/intranet/allegati/Sin_PTCP.pdf

Moberg, A. and 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.

Montz B. E., Grunfest E. (2002) “Flash flood mitigation: recommendations for research and applications.” *Environmental Hazards* 4,15–22

Morrison, W. and Mendelsohn, R., (1999). “The Impact of Global Warming on US Energy Expenditures”. In: *The Impact of Climate Change on the United States Economy* [Mendelsohn, R. and J. Neumann (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK., pp. 209 - 236.

Munich Re (1997) “Flooding and insurance”. Munich Re, Monaco di Baviera, Germania.

Munich Re (2007) “Natural catastrophes 2006 Analyses, assessments, positions.” Topics Geo, Munich Re, Monaco di Baviera, Germania. <http://www.munichre.com/en/publications/default.aspx?id=954>

Navrud, S, Ready, R.C. (eds.)(2002). “Valuing Cultural Heritage. Applying Environmental Valuation Techniques to Historic Buildings, Monuments and Artifacts”. Edward Elgar Publishing Ltd., UK, June 2002.

Nicholls, R.J. and R.S.J. Tol, (2006): “Impacts and responses to sea-level rise: A global analysis of the SRES scenarios over the 21st Century”. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, **364**, (1841), 1073-1095.

Nordhaus, W. D. and Boyer, J. G. (2000), ‘Warming the World: Economic Models of Global Warming’, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts; London, England.

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”, OECD Paris.

Office of Science and Technology Foresight Programme (2004), “Future flooding”, http://www.foresight.gov.uk/previous_projects/flood_and_coastal_defence.

Redaud, J.-L.; Noilhan, J.; Gillet, M.; Huc, M. and Begni, G., (2002). “Climate Change and its impact on Water regime in France.” http://160.92.130.69/IMG/pdf/Redaud_UICN_EN.pdf.

Reilly, J., F. Tubiello, B. McCarl, D. Abler, R. Darwin, K. Fuglie, S. Hollinger, C. Izaurralde, S. Jagtap, J. Jones, L. Mearns, D. Ojima, E. Paul, K. Paustian, S. Riha, N. Rosenberg, and C. Rosenzweig. (2003). “U.S. Agriculture And Climate Change: New Results.” *Climatic Change* 57:43–69.

Rosenzweig, C. and Parry, M.L.(1994). “Potential Impact of Climate Change on World Food Supply”, *Nature*, **367**, 1994, pp. 133-138.

Sailor, D.J., Pavlova, A.A., (2003). “Air Conditioning Market Saturation and Long- Term Response of Residential Cooling Energy Demand to Climate Change”. *Energy*, **28**, 941-951.

Schmidt, M. and Dhen, M. (2000). “Examining Links between Climate Change and Landslide activities using GCMs: case studies from Italy and new Zealand.” in McLaren, S and Kniveton (eds.), *Geomorphological and Climatological Perspectives on Land Surface-Climate Change*. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

Schmidt-Thomé, P. (ed.) (2006.) “Natural and Technological Hazards and Risks Affecting the Spatial Development of European Regions”. Special Paper 42, Geological Survey of Finland.

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

Shaw, D., Shih, S., Lin, E.Y, and. Kuo Y, (2000). “A Cost-Benefit Analysis of Sea-level Rise Protection in Taiwan. Paper presented at the International Conference on Global Economic Transformation after the Asian Economic Crisis”. Chinese University of Hong-Kong andPekin University, May 26-28, 2000, Hong-Kong.

Sperling, F., Szekely, F. (2005). “Disaster Risk Management in a Changing Climate”. Informal discussion paper prepared for the World Conference on Disaster Reduction on behalf of the Vulnerability and Adaptation Resource Group (VARG). Washington, D.C.

STARDEX (2006). “Downscaling Climate Extremes”. STARDEX Final Report, Climatic Research Unit, School of Environmental Sciences University of East Anglia United Kingdom.

Stern, N., Peters, S., Bakhshi, V., Bowen, A., Cameron, C., Catovsky, S., Crane, D., Cruickshank, S., Dietz, S., Edmonson, N., Garbett, S.-L., Hamid, L., Hoffman, G., Ingram, D., Jones, B., Patmore, N., Radcliffe, H., Sathiyarajah, R., Stock, M., Taylor, C., Vernon, T., Wanjie, H. and D. Zenghelis (2006). “Stern Review: The Economics of Climate Change”, HM Treasury, London.

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/pwspspr.nsf/alldocbyidkeylu/SHOR-586JM8?OpenDocument>

Swiss Re (2002). “Floods are Insurable”.

<http://www.swissre.com/INTERNET/pwswpspr.nsf/fmBookMarkFrameSet?ReadForm&BM=../vwAllbyIDKeyLu/estr-5eqg21?OpenDocument>

Tol, R.S.J. (1995). "The Damage Costs of Climate Change Toward More Comprehensive Calculations", *Environmental and Resource Economics*, 5, 353-374

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.

Tol, R.S.J. and Yohe G. W.(2006). "A Review of the Stern Review", *World Economics*, 7 (4), 233-250.

Tol, R.S.J, Fankhauser, S, and Smith, J.B. (1998). "The Scope for Adaptation to Climate Change: What can We Learn From the Impact Literature?" *Global Environmental Change*, 8 (2), 109-123.

Talockaite, E. (2006). "An Overview of Adaptation Strategies for Climate Change Existing in the Baltic Sea Region". ASTRA Project Mimeo www.ASTRA-Project.org

Van der Sande, C. (2001). "River flood damage assessment using Ikonos imagery.", S.P.I. 01.147, Joint Research Centre of the European Commission, Ispra.

Van der Sande, C.J., de Jong, S.M., and de Roo, A.P.J. (2003). "A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4, 217-229.

World Bank, (2006). "Clean Energy and Development: Towards an Investment Framework, Annex K". World Bank, Washington, D.C. 157 pp.

World Wildlife Fund Italia (2007). "Per un piano di adattamento al cambiamento climatico in Italia. Prime Indicazioni."

<http://beta.wwf.it/UserFiles/File/News%20Dossier%20Appti/DOSSIER/dossier%20clima/Clima%20Piano%20Adattamento%20Italia.pdf>

Yohe, G. W., Neumann, J. E., Marshall, P., and Ameden, H. (1996). "The Economics Costs of Sea Level Rise on US Coastal Properties", *Climatic Change*, 32, 387-410.

Yohe, G.W., and Schlesinger, M.E, (1998). "Sea-level Change: The Expected Economic Cost of Protection or Abandonment in the United States." *Climatic Change*, 38, 447-472.

Appendice A: Proposte Metodologiche

A.1. Metodologia per stimare i costi dell'inazione dovuta all'aumento del rischio idrogeologico in Italia

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 elencati nella Sezione 3. L'approccio che proponiamo segue, entro certi limiti, la metodologia PESETA, ma la migliora in tre modi. Innanzitutto, usa una funzione per i danni più generale, stimata su vasti campioni di inondazioni e di frane registrate in Italia a partire dagli anni Cinquanta del secolo scorso. Secondo, anziché applicare un modello idrogeologico a due bacini specifici, 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. Terzo, tiene conto del *bias* indotto dal *downscaling* dei risultati dei GCM e usa uno strumento specifico del modello per correggerlo. Uno studio basato su questa metodologia potrà dunque costituire il primo tentativo di dare una piena copertura nazionale al rischio idrogeologico basato sui dati ad alta risoluzione.

La metodologia generale è riassunta nelle due figure sottostanti.

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 A1).

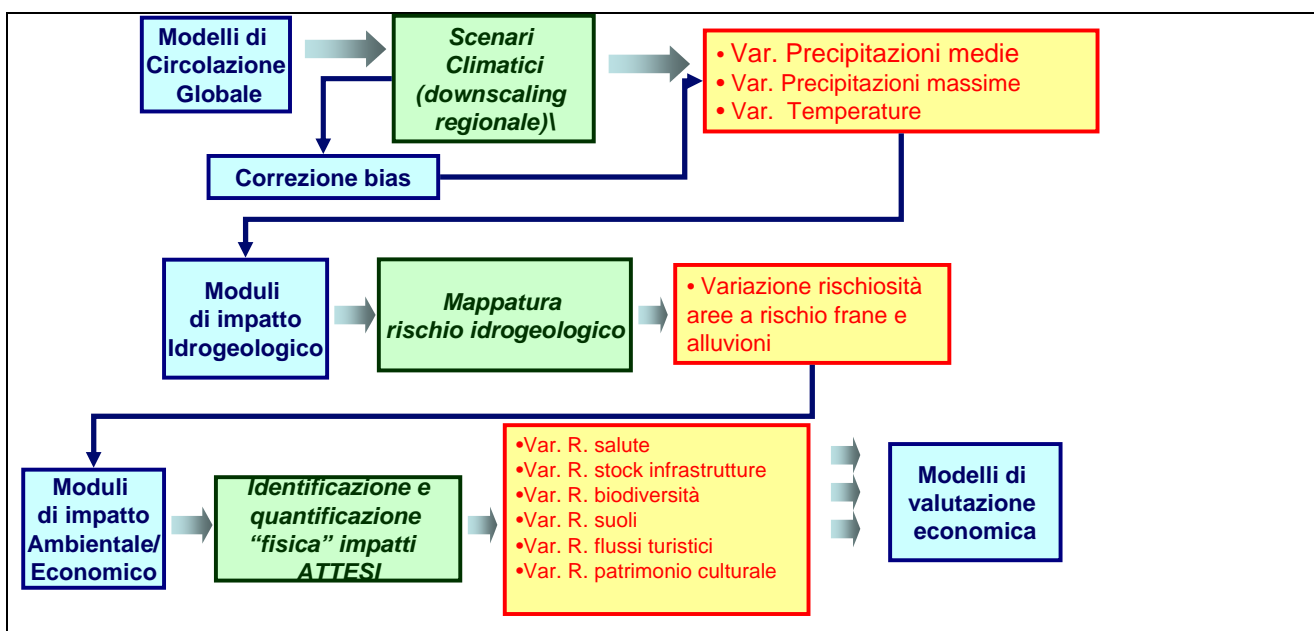


Figura A1. Metodologia generale per la valutazione dei costi di inazione

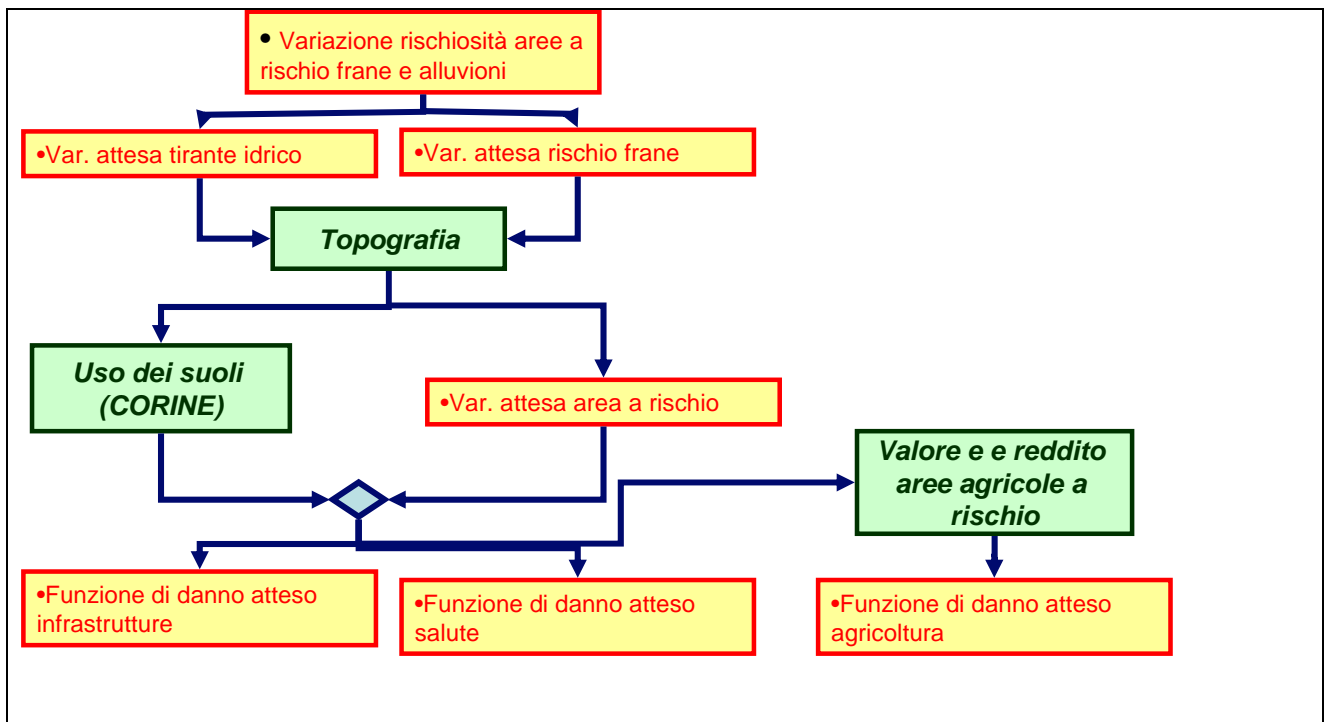


Figura A2. Metodologia specifica per la valutazione dei costi di inazione per infrastrutture, salute e agricoltura

La Figura A2 invece illustra i passaggi necessari alla valutazione di tre categorie di danni: infrastrutture, salute e agricoltura. I primi passaggi si riferiscono alla 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 sulle 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, gli scenari del clima basati sul modello RCM saranno combinati con un modello di rischio idrogeologico, e si useranno 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.

Nella parte seguente la discussione verterà sulle inondazioni. Le differenze nella metodologia da applicare alle frane saranno evidenziate al termine di questo paragrafo.

La metodologia da noi proposta si articolerà nelle seguenti fasi.

1. Per massimizzare il confronto con i risultati PESETA, si useranno gli stessi scenari SRES e il risultato degli stessi modelli RCM. Ci riferiremo quindi agli scenari delle precipitazioni per la risoluzione a griglia spaziale da 12 km e a quella a griglia spaziale da 50 km del modello HIRHAM. 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.
2. Gli scenari delle precipitazioni saranno sovrapposti alle mappe di rischio idrogeologico in Italia, per derivare la variazione del livello di rischio di queste zone.
3. La stima della funzione di danno sarà eseguita separatamente per i danni arrecati 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, delle aree urbane, delle infrastrutture, ecc.

4. Una volta identificate le zone esposte, useremo un approccio statistico basato probabilmente su due modelli, e quindi una previsione in due fasi. Per quanto riguarda i **danni infrastrutturali** e la **perdita di vite umane**, pensiamo 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 ci 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 .
5. Useremo poi il risultato del modello GCM (*downscaled*) 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 vittime²¹.
6. Per i **terreni adibiti 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 stimare le entrate perse sulla base dei dati agronomici, usando i database FADN e INEA).
7. 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.

²¹ 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.

Come illustrazione preliminare, almeno per quanto riguarda l'impatto sui terreni adibiti all'uso agricolo, presentiamo nella Tabella A.1 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 A.1. Valori dei terreni agricoli esposti ad alto rischio idrogeologico in Lombardia, Lazio e Calabria.

Fonti: elaborazione dei dati CORINE, APAT, INEA e EU-FEDN.

Questi calcoli sono basati sulle premesse seguenti.

I valori regionali medi per ettaro di terra sulla base dei dati INEA sono moltiplicati direttamente per la superficie delle aree a rischio usate come seminativi, prati, pascoli, frutteti, vigneti, uliveti secondo quanto stabilito da CORINE. Per le risaie in Lombardia, si utilizza il valore dei seminativi nella provincia di Pavia (dove il riso è il seminativo principale). Come prima approssimazione, per le "praterie naturali e i pascoli ad alta quota" usiamo il valore dei prati delle zone montane. Inoltre, approssimiamo il valore per i "raccolti misti complessi" con la media pesata dei seminativi e dei frutteti, dove i pesi sono costruiti usando l'area utilizzata da uno dei raccolti nella regione. Analogamente per i raccolti frammisti a zone naturali usiamo una media semplice di "raccolti misti complessi" e "praterie naturali e pascoli ad alta quota".

Le cifre nella Tabella A.1 rappresentano una prima valutazione del limite più alto dei danni che le catastrofi idrogeologiche possono causare in Italia, relativamente alle tre regioni. Sono necessarie analisi ulteriori per valutare in quale misura il danno può essere realisticamente attribuito al cambiamento climatico.

A.1.1 Linee guida metodologiche per includere altri impatti.

La metodologia proposta sopra riguarda specificatamente gli impatti per i quali sono almeno parzialmente disponibili i dati quantitativi. L'elenco della Sezione 3.1 include molti più impatti socioeconomici la cui valutazione necessita di uno sforzo più sostanziale in termini di raccolta dati e disegno metodologico. In molti casi l'impegno è interdisciplinare, in quanto richiede la collaborazione di specialisti in più discipline.

Per tutti quegli impatti la definizione del cambiamento del rischio idrogeologico a livello locale rimane una fase necessaria dell'analisi. Quindi, le fasi 1-3 e il *weather model* descritto nella fase 5 dovrebbero essere applicate anche alla valutazione di questi impatti. Nella parte seguente, queste fasi saranno citate come "valutazione di una variazione nel rischio idrogeologico indotta dal clima".

Per gli **impatti non letali sulla salute** l'approccio da seguire è quello 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**, valutate da 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 rischi per la salute alla variazione nel rischio idrogeologico. La variazione nel rischio idrogeologico è valutata usando la nostra valutazione del cambiamento del rischio idrogeologico indotto dal clima. 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 rischi per la salute; tuttavia, è difficile stabilire quali saranno i trattamenti rilevanti e i loro costi tra 70-100 anni.

Per valutare i danni al **settore turistico** è necessario operare un *downscaling* degli scenari disponibili sui cambiamenti nei flussi turistici e le spese dovute al cambiamento climatico (Bigano et al., 2006) a livello di province italiane esposte al rischio idrogeologico (modificato dal clima). Si otterrà così la *baseline* dei livelli di attività turistica nelle zone esaminate. I cambiamenti nell'esposizione al rischio devono essere determinati ancora una volta mediante la nostra valutazione della variazione del rischio idrogeologico indotta dal clima. Si dovrebbero poi costruire scenari alternativi in cui i flussi turistici sono temporaneamente interrotti in seguito alla catastrofe naturale. Sarà possibile valutare molti possibili scenari. Per esempio, si può pensare che l'attività turistica normale sia ripristinata dopo un anno, o dopo un periodo più lungo qualora il recupero dell'area colpita fosse più arduo. In alternativa, si può presumere che il disastro provochi uno *shock* permanente, e che le preferenze dei turisti per la zona colpita possano cambiare dopo una grave catastrofe idrogeologica. Si può anche presumere che i turisti spaventati da un evento di questo tipo possano decidere di trascorrere le vacanze in un'altra meta turistica italiana non colpita dalla catastrofe (in questo caso l'impatto economico sarebbe solo locale e si bilancerebbe a livello nazionale) o, alternativamente, che quella quota del flusso turistico sia persa per l'intero paese. Inoltre, non si deve supporre che l'intera popolazione turistica che si prevede visiterà le province esposte al rischio idrogeologico sia effettivamente e contemporaneamente colpita dall'evento catastrofico, non all'interno della stessa provincia e sicuramente non su tutto il territorio nazionale esposto al rischio idrogeologico. Per tutti gli scenari concepibili, gli impatti economici sul settore turistico possono essere valutati sulla base dei cambiamenti nelle previsioni delle spese turistiche.

È possibile inoltre valutare i danni economici alle **zone naturali** e alla **biodiversità**. La nostra valutazione della variazione nel rischio idrogeologico indotta dal clima, associata ai dati sull'uso della terra CORINE e l'*expertise* degli esperti in scienze naturali, può identificare le aree naturali rilevanti e gli ecosistemi esposti al rischio idrogeologico modificato. Quando queste aree saranno state identificate, si potrà lanciare una campagna di studi basati sul *Contingent Valuation Method* (CVM) per valutare il valore attribuito a queste aree dalla popolazione interessata. Un approccio particolarmente interessante sarebbe quello di valutare la Disponibilità a Pagare (WTP, *Willingness To Pay*) per la protezione di queste zone, perché questo fornirebbe anche un'indicazione di quale

livello di costi di adattamento la popolazione interessata considera accettabile per proteggere queste zone. Questi studi dovrebbero prevedere anche la valutazione dei danni provocati direttamente da una catastrofe idrogeologica così come i danni indiretti, come la contaminazione delle sostanze inquinanti provenienti dai sedimenti. Le indagini dovrebbero essere realizzate con particolare cura in modo da assicurarsi che l'oggetto della valutazione sia la protezione dal cambiamento nel rischio idrogeologico, non il rischio di per sé.

Il livello di copertura di una campagna CVM dipenderà dalle risorse disponibili e probabilmente non sarà né necessario né fattibile coprire tutto il territorio a rischio. Per ottimizzare le risorse che saranno rese disponibili, una strategia promettente sarebbe di selezionare, con l'aiuto degli esperti in scienze naturali, le zone naturali esposte al rischio modificato più rappresentativo dei diversi biotipi italiani. Gli studi CVM potrebbero essere limitati a queste aree e il resto del territorio italiano interessato potrebbe essere coperto usando le più avanzate tecniche di *benefit transfer*.

Gli studi CVM generalmente coprono la componente **non-uso** del valore di un'area naturale. Se queste aree hanno un valore d'**uso** (per esempio i parchi naturali che possono essere visitati da podisti e ciclisti) queste componenti possono essere valutate usando altri metodi di valutazione consolidati, come le tecniche di costo di viaggio.

Analogamente, la valutazione economica del cambiamento nell'esposizione al rischio idrogeologico del **patrimonio culturale** può essere fatta usando i metodi CVM, associati alla nostra valutazione delle variazioni nel rischio idrogeologico indotte dal clima. Il valore d'uso può essere stimato in parte usando i metodi dei costi del viaggio e in parte sulla base dei prezzi pagati per visitare i monumenti e i musei nelle zone esposte, se disponibili. Una rassegna dei metodi per la valutazione del patrimonio culturale, insieme a una selezione di casi studio, si trova in Navrud e Ready (2002). Ancora una volta, questo esercizio di valutazione probabilmente non comprenderebbe tutte le località caratterizzate da un patrimonio culturale nelle zone esposte al rischio idrogeologico (cambiato), ma deve essere limitato a una selezione di casi rilevanti da scegliere con l'aiuto di storici, architetti ed esperti di arte.

I danni in termini di **interruzione dei trasporti** possono essere valutati seguendo la procedura sviluppata da Metroeconomica (2006) che valuta questi costi in termini dell'incremento delle spese di trasporto per motivi di lavoro e di svago in caso di interruzione della linea ferroviaria in seguito a un'inondazione o a una frana. La metodologia prevede le fasi seguenti. È necessario innanzitutto identificare l'infrastruttura per i trasporti soggetta a una futura variazione del rischio idrogeologico, tenendo conto dei piani d'investimento. Il risultato deve essere inquadrato in termini di esposizione futura al rischio idrogeologico causato dal cambiamento climatico, sulla base della nostra valutazione della variazione del rischio idrogeologico indotta dal clima. È poi necessario identificare e quantificare il cambiamento nella disponibilità di tempo relativa al previsto impatto del cambiamento climatico. Per esempio, si può decidere che un'inondazione che colpisce una linea ferroviaria che collega due città provochi un (ulteriore) ritardo medio di x minuti per tutti i treni su quella linea fino al ripristino della normalità. Si calcoleranno valori ragionevoli per l'ulteriore ritardo con l'aiuto degli ingegneri esperti del trasporto. Nella fase successiva si identifica la categoria nella quale rientra la modifica della disponibilità di tempo. Nello studio Metroeconomica si identificano tre importanti categorie: uso delle ferrovie nell'orario lavorativo, uso nel tempo libero e uso serale. La definizione precisa di queste categorie, così come le variabili da utilizzarsi per misurare o approssimare l'uso del tempo per le tre finalità individuate dallo studio britannico, dovranno essere adattate alla situazione italiana. È poi necessario identificare l'unità economica appropriata per il cambiamento della disponibilità di tempo, moltiplicandola per la modifica quantificata di disponibilità di tempo. Come nel caso del turismo, si possono concepire scenari diversi in termini di modalità di trasporto o località colpite contemporaneamente da un evento.

In generale, poiché tutti gli impatti analizzati in questa sezione sono eventi futuri e incerti, devono essere considerati in termini attesi. Questi calcoli richiedono delle premesse ragionevoli in termini del grado rilevante di **avversione del rischio** e in termini di tasso di sconto da applicare a tutta la

valutazione. Non ci sono linee guida precise per entrambi questi aspetti, che sono ancora controversi e ampiamente dibattuti nella letteratura economica sul cambiamento climatico. I tassi di sconto devono essere mantenuti piuttosto bassi perché abbiano impatti socialmente significativi (vale a dire non trascurabili) alla fine di questo secolo. Nell'approccio CVM sono incluse generalmente le considerazioni di avversione del rischio, ma è necessario assicurarsi che riguardino tutte le valutazioni dirette dei costi (per esempio, gli impatti sulla salute) dove è in gioco il benessere dei singoli.

Nel seguito, si esplicitano i dettagli delle metodologie di valutazione degli impatti socio economici prescindendo dagli input climatologici e idrogeologici, in termini di variazione del rischio idrogeologico. La fase di determinazione di tali input, imprescindibile, viene indicata come fase 1 nella tabella A.2., ma non viene esplorata nel dettaglio. È importante notare in questa sede che tale fase dovrà fornire le variazioni di rischio per a) ogni unità territoriale minima a rischio (ad esempio per ogni km quadrato) del territorio italiano e b) ogni tempo di ritorno rilevante²².

Assumendo che gli specialisti delle discipline rilevanti possano fornire una mappatura con risoluzione spaziale adeguata della variazione del rischio idrogeologico sul territorio italiano al 2070-2100, e dopo aver stabilito la destinazione d'uso delle aree a rischio futuro (fase 2), potranno essere valutati i singoli impatti (fase 3) su: perdita di vite umane, altri effetti sulla salute derivati dagli infortuni causati dai detriti e dal materiale trasportati dalle acque o incidenti causati indirettamente dall'inondazione; malattie provocate dalle acque contaminate, in particolare nello straripamento delle fogne durante le inondazioni estreme; la contaminazione di sostanze inquinanti trasportate dall'acqua; danni agli edifici, alle installazioni industriali, alle attività commerciali e pubbliche; danni all'agricoltura; interruzioni dei trasporti, danni alle infrastrutture del trasporto; danni alle attività turistiche; danni alle zone naturali, agli ecosistemi e al patrimonio culturale. Le relative metodologie sono sintetizzate nella tabella seguente. A valle della valutazione degli impatti vi sarà la fase di aggregazione (spaziale e sui vari periodi di ritorno) e attualizzazione tramite applicazione di tassi di sconto adeguati²³. Si noti che la procedura sommariamente descritta in tabella è relativa solo agli impatti economici **diretti**; **l'impatto complessivo sull'economia** dovrà essere valutato tramite un modello di equilibrio economico generale.

²² L'unità territoriale minima rilevante e i tempi di ritorno rilevanti devono essere definiti di concerto con geologi ed ingegneri ambientali.

²³ È opportuna una analisi di sensitività al tasso di sconto che ne consideri vari valori e procedure di applicazione (costante, decrescente lineare, decrescente parabolico). Eventualmente è possibile anche tenere conto contestualmente dell'avversione al rischio.

Fase	Categoria d'impatto	Approccio metodologico	Dati (idealmente) necessari	Competenze necessarie
1- Determinazione variazione rischio idrogeologico a seguito cambiamento climatico.				
2- Determinazione dell'uso dei suoli futuro , tramite CORINE, piani di sviluppo territoriale, piani urbanistici, piani regolatori, piani industriali, progetti grandi opere, ecc. Per l'orizzonte temporale del 2070 -2100 sarà anche necessario immaginare scenari di sviluppo coerenti con le <i>storylines</i> degli scenari SRES IPCC che si vogliono prendere in considerazione.				
3- valutazione singoli impatti	perdita di vite umane	- stima di funzioni <i>dose-response</i> : mortalità per metro quadro inondato/colpito da frana - valutazione del valore della vita statistica per mortalità da incidente	- serie storiche del numero vittime frane e numero vittime alluvioni occorse in italia -stime del valore della vita statistica per mortalità da incidente	economiche statistiche
	altri effetti sulla salute derivati dagli infortuni causati dai detriti e dal materiale trasportati dalle acque o incidenti causati indirettamente dall'inondazione	- stima di funzioni <i>dose-response</i> : tasso incidenti con prognosi rilevante (superiore ad un congruo numero di giorni) per metro quadro inondato/colpito da frana/popolazione colpita - valutazione dei costi diretti per sistema economico ed individui	- serie storiche dei giorni di degenza a seguito di alluvioni occorse in Italia - valore delle ore di lavoro perse - spese mediche -altri danni risarcibili dalle compagnie di assicurazione	mediche economiche assicurative
	malattie provocate dalle acque contaminate	- modelli epidemiologici di diffusione di patologie rilevanti in presenza di inondazioni -stima di funzioni <i>dose-response</i> : tasso morbidity (superiore ad un congruo numero di giorni) per metro quadro inondato/ popolazione colpita - valutazione dei costi diretti per sistema economico ed individui	serie storiche dei giorni di degenza a seguito dell'esposizione alle malattie rilevanti - valore delle ore di lavoro perse - spese mediche	medico-epidemiologiche economiche

contaminazione di sostanze inquinanti trasportate dall'acqua	<ul style="list-style-type: none"> - catalogazione dei possibili inquinanti deposti nei sedimenti o in depositi localizzati in zone a rischio - studi dell'<i>environmental fate</i> degli inquinanti trasportati, con risoluzione spaziale adeguata - studi eco-tossicologici e tossicologici degli impatti sugli ecosistemi e sulla salute umana dell'incrementata esposizione agli inquinanti - valutazione costi diretti per sistema economico ed individui - valutazione CVM degli impatti sugli ecosistemi 	<ul style="list-style-type: none"> - mappatura degli inquinanti (localizzazione, tipo e quantità) presenti nei sedimenti dei bacini italiani. - mappatura dei depositi sostanze inquinanti (localizzazione, tipo e quantità) presenti nelle aree a rischio. - serie storiche dei giorni di degenza a seguito dell'esposizione agli inquinanti rilevanti - valore delle ore di lavoro perse - spese mediche -stime del valore della vita statistica per mortalità da esposizione ad inquinanti - localizzazione are di interesse naturalistico a rischio - valutazione monetaria dei valori d'uso e non uso delle possibili perdite di funzionalità degli ecosistemi coinvolti 	chimiche ecotossicologiche tossicologiche modellistica ecologica mediche economiche
danni agli edifici	<ul style="list-style-type: none"> -stima di funzioni <i>dose-response</i>: danni per metro quadro inondato/colpito da frana (in genere funzione dell'altezza del tirante idrico -costi diretti del ripristino degli edifici danneggiati - costi diretti della sistemazione provvisoria dei senzatetto -costi diretti degli edifici distrutti 	<ul style="list-style-type: none"> - serie storiche della popolazione colpita - altezza del tirante idrico per metro quadro inondato (altimetria locale) - spese di ripristino degli edifici danneggiati: prezzi materiali utilizzati, costo manodopera, costo arredi e beni mobili da sostituire, ecc; - valore di mercato dei beni immobili distrutti; - costi di trasposto e sistemazione temporanea degli sfollati 	economiche; di protezione civile, specialistiche del settore edile

danni alle installazioni industriali	<ul style="list-style-type: none"> - stima di funzioni <i>dose-response</i>: danni per metro quadro inondato/colpito da frana - costi diretti del ripristino delle installazioni industriali danneggiate - costi diretti in termini della produzione persa - costi diretti in termini di disoccupazione. 	<ul style="list-style-type: none"> - mappatura degli impianti industriali in aree a rischio (presente e futuro) - serie storiche dei giorni di sospensione attività di produzione nelle aree colpite da frane e alluvioni - spese di ripristino impianti industriali costi produzione persa - serie storiche della variazione dei redditi degli occupati colpiti da frane o alluvioni 	economiche; tecniche-industriali
danni alle attività commerciali	<ul style="list-style-type: none"> - stima di funzioni <i>dose-response</i>: danni per metro quadro inondato/colpito da frana - costi diretti del ripristino delle attività commerciali danneggiate -costi diretti in termini di fatturato perso - costi diretti in termini di disoccupazione. 	<ul style="list-style-type: none"> - mappatura delle attività commerciali in aree a rischio (presente e futuro) - serie storiche dei giorni di sospensione attività nelle aree colpite da frane e alluvioni - spese di ripristino attività commerciali - costi di fatturato perso - serie storiche variazione dei redditi degli occupati nel settore commerciale colpiti da frane o alluvioni 	economiche
danni all'agricoltura	<ul style="list-style-type: none"> - stima di funzioni <i>dose-response</i>: danni per metro quadro inondato/colpito da frana - costi diretti in termini di disoccupazione. 	<ul style="list-style-type: none"> - mappatura delle attività agricole in aree a rischio (presente e futuro) - valore fondiario delle aree a rischio redditi agricoli delle aree a rischio - serie storiche della variazione dei redditi degli occupati nel settore agricolo colpiti da frane o alluvioni 	economiche agronomiche

interruzioni dei trasporti	<ul style="list-style-type: none"> - per i trasporti di persone , vedi metodologia di Metroeconomica costo diretto del ritardo nella consegna delle merci - <i>value of loss of load</i> per l'interruzione di corrente elettrica 	<ul style="list-style-type: none"> - mappatura delle infrastrutture trasporti in aree a rischio (presente e futuro) - scenari di utilizzo dei trasporti futuro - scenari di interruzione di determinate linee di comunicazione - valore del tempo dei passeggeri (in genere ci si basa sul salario medio orario- anche per l'utilizzo nel tempo libero come costo opportunità) - valore della perdita netta di merci non consegnabili tramite percorsi alternativi (anche qui , approccio a scenari alternativi) 	economiche ingegneristiche dei trasporti
danni alle infrastrutture del trasporto	<ul style="list-style-type: none"> - stima funzioni <i>dose-response</i>: danni per metro lineare di linea di comunicazione/trasporto inondato/colpito da frana per tipo di infrastruttura (ferroviaria stradale, trasmissione elettrica, condutture) 	<ul style="list-style-type: none"> - mappatura delle infrastrutture trasporti in aree a rischio (presente e futuro) - costi di ripristino infrastrutture danneggiate 	economiche ingegneristiche dei trasporti economiche ingegneristiche civili
danni al turismo	<ul style="list-style-type: none"> - stima della variazione flussi turistici a seguito di scenari di dissesto idrogeologici - stima della variazione spesa turistica a seguito di scenari di dissesto idrogeologici 	<ul style="list-style-type: none"> - mappatura delle zone d'interesse turistico a rischio (presente e futuro) - <i>downscaling</i> dei modelli di previsione di flussi e spese turistici (es., HTM, Bigano et al. 2006) a livello significativo per le aree a rischio - costruzione di particolari scenari di eventi catastrofici che abbiano capacità di influire sulle scelte di destinazione dei turisti. 	economiche specialistiche del settore turistico

danni alle zone naturali e agli ecosistemi	<ul style="list-style-type: none"> - <i>CVM</i> aree di interesse naturalistico in zone a rischio - <i>CVM</i> valore di esistenza ecosistemi minacciabile dall'incremento del rischio idrogeologico - <i>travel cost method</i> per i valori d'uso delle aree in questione - <i>benefit transfer</i> per copertura nazionale 	<ul style="list-style-type: none"> - mappatura zone d'interesse naturalistico a rischio (presente e futuro) - raccolta diretta informazioni su disponibilità a pagare per la protezione delle aree naturalistiche a rischio e costi di viaggio tramite campagne di raccolta dati tramite questionari per la popolazione residente nelle vicinanze delle aree interessate e non residente 	economiche naturalistiche
danni al patrimonio culturale	<ul style="list-style-type: none"> - <i>CVM</i> valore di esistenza patrimonio culturale minacciabile dall'incremento del rischio idrogeologico - <i>travel cost method</i> per i valori d'uso delle aree in questione - Costi diretti per beni fruibili a pagamento. - <i>benefit transfer</i> per copertura nazionale 	<ul style="list-style-type: none"> - mappatura zone d'interesse culturale a rischio (presente e futuro) - raccolta diretta d'informazioni su disponibilità a pagare per la protezione delle aree naturalistiche a rischio e costi di viaggio tramite campagne di raccolta dati tramite questionari per la popolazione residente nelle vicinanze delle aree interessate e non residente - prezzi dei biglietti d'ingresso 	economiche culturali (storiche, a artistiche, archeologiche, architettoniche, ecc)
4. Aggregazione e Attualizzazione			

Tabella A.2. Fasi della metodologia della valutazione economica dei costi di inazione relativi all'impatto del cambiamento climatico sul rischio idrogeologico italiano.

A.2 Costi di adattamento per il Settore Pubblico. Una possibile metodologia di valutazione.

Come accennato nel paragrafo 3.3.2, i finanziamenti relativi alla legge Sarno non possono costituire in alcun modo un indicatore affidabile del costo della protezione del territorio in considerazione dell'*aumento* di questi rischi in seguito al cambiamento climatico. Le ragioni sono sostanzialmente tre. Innanzitutto, parte della protezione pagata da queste cifre sarà in ogni caso messa in atto, in quanto già approvata e finanziata. In secondo luogo, è concepibile che almeno una parte delle infrastrutture rimanenti sarà realizzata, per ragioni puramente idrogeologiche, molto prima dell'orizzonte temporale considerato abitualmente nei modelli di cambiamento climatico. Ne deriva che qualsiasi scenario di impatto di cambiamento climatico dovrebbe prevedere anche gli sviluppi delle misure preventive che potrebbero verificarsi durante il periodo di simulazione. Questo non è stato fatto nello studio PESETA. Terzo, è in ogni caso difficile stabilire quali ruoli avranno l'adattamento al cambiamento climatico e la riduzione del rischio idrogeologico ordinario nel processo decisionale per l'approvazione di qualsiasi infrastruttura per la protezione da realizzarsi in futuro. Quindi, per quanto riguarda il rischio idrogeologico, i costi di adattamento possono essere valutati solo in funzione di alcune ipotesi inevitabili ma arbitrarie sullo sviluppo futuro della prevenzione del rischio idrogeologico. In prima approssimazione, proponiamo di considerare tre scenari alternativi: un caso pessimista nel quale nessuno degli interventi già identificati come necessari venga realizzato; un caso ottimista nel quale saranno tutti realizzati prima che sia risolta l'incertezza degli effetti del cambiamento climatico sulle precipitazioni, e infine uno intermedio nel quale una parte di questi interventi venga realizzata a determinate scadenze all'interno dell'orizzonte temporale considerato (per esempio quelli considerati più urgenti dalle autorità competenti, oppure una serie di interventi scelti a caso che possano corrispondere a una quota realistica degli interventi fattibili entro una determinata data).

Per ognuno di questi scenari, proponiamo di applicare una metodologia simile a quella indicata nel paragrafo precedente di questa Appendice per la valutazione del costo dell'inazione, sia per le inondazioni che per le frane. Usando il *weather model* là descritto e i dati raccolti dall'APAT sui costi di protezione per le aree a rischio, proponiamo di derivare una stima approssimativa di quanto costerà proteggere un metro quadrato extra di territorio di una determinata area esposta al rischio idrogeologico. La risoluzione geografica di questa procedura dipenderà dai dati disponibili. Siamo inoltre consapevoli che l'implicita premessa di linearità delle funzioni che collegano i costi di protezione e la terra a rischio è una semplificazione esagerata della realtà; con l'aiuto degli esperti APAT sarà possibile rendere più realistiche le previsioni.

Come nel caso dei costi di inazione, l'abbinamento del *weather model* con le mappe di rischio idrogeologico ci fornirà l'aumento del rischio idrogeologico dovuto al cambiamento climatico. Usando queste informazioni e le premesse sul livello di protezione già previsto in ognuno dei tre scenari di protezione descritti sopra, è possibile derivare l'esposizione incrementale di ogni area al rischio idrogeologico negli scenari di cambiamento climatico in termini di metri quadrati e di terra non protetta. Naturalmente, questa esposizione sarà massima nell'ipotesi che non sia stato realizzato alcun intervento indipendentemente dal cambiamento climatico e minima (ma riteniamo superiore allo zero) nell'ipotesi che tutti gli interventi siano realizzati molto prima degli orizzonti temporali degli scenari di cambiamento climatico. Usando la stima approssimativa dei costi per unità descritti sopra, è poi possibile valutare i costi extra di protezione attribuibili al cambiamento climatico per ogni scenario.

Appendice B: Misure di prevenzione delle inondazioni suggerite da Munich Re

Checklist of flood precautions for commercial and industrial businesses

The list below comprises a number of precautions that should be included in a detailed checklist on which the loss prevention and loss minimization measures in commercial and industrial businesses must be based. The time required to carry them out (in hours or days) must be tested in a proper exercise so that the correct steps can be taken at the correct time in the event of an emergency.

- Shut down running processes safely, remove inflammable or combustible liquids from open tanks.
- Turn off the electricity at the mains if there is a chance of short circuits on the premises.
- Close all pipes carrying inflammable or combustible liquids in order to prevent large amounts of liquid or gas escaping from damaged pipes; protect all exposed pipes.
- Make sure that tanks, whether above the ground or below, are anchored against floating and cannot be carried away; fill empty tanks with water or other suitable liquids; extend tank ventilation pipes until they are above the maximum water level expected.
- Tie down mobile containers of inflammable or combustible liquids.
- Move vital machinery, supplies, and reports to a higher position that – on the strength of experience – can be regarded safe; grease the sensitive surfaces of large machines that cannot be moved.
- Check the brakes on mobile cranes and bridges and fasten them in accordance with the manufacturer's instructions for downtimes.
- Secure all objects on construction sites that can be carried away by flood water (e.g. trailers, wooden planks, objects in storage); move stored materials to a place with a roof; use sandbags to barricade delicate construction equipment that is left in the open so that it cannot be damaged by any debris that may float by.
- Support any structural elements on construction sites that have not yet been supported.
- Have the following equipment ready at a safe and central place:
 - mobile pumps and hoses
 - flashlights
 - electrical and manual tools and appliances
 - spades, shovels, and axes
 - mops and rubber scrubbers
 - sandbags
 - covers
 - wooden planks and nails
- Have the following equipment and materials ready for the emergency team staying on the premises:
 - two-way radios
 - first-aid equipment
 - non-perishable food
 - drinking water
- Check the entire fire protection equipment for its operability.
- Put sandbags by threatened openings (doors, windows, hatches, shafts).
- Fill emergency generator and fire-water pump tanks.
- Copy important documents and put them in a place that will be safe in a flood.

Checklist of flood precautions for private persons

The following precautions should be taken in the event of an imminent flood:

- Turn off the gas and electricity.
- Pull out the plugs on electrical appliances.
- Put dangerous liquids, especially combustible ones, in a safe place and close containers securely.
- Tie down mobile containers containing inflammable or combustible liquids.
- Take important supplies, documents, and valuables to a higher place.
- Take furniture and mobile objects to upper floors; drive vehicles to places that will not be flooded.
- Have the following important supplies ready at a safe place:
 - food, drinking water
 - first-aid equipment, medicines
 - bucket, cloths, scrubbers
 - spades, shovels, tools
 - flashlights
 - covers and blankets
 - wooden planks, nails
 - sandbags, if available
- Put sandbags by exposed openings (basement windows, doors); secure objects that are in the open.
- Anchor tanks in the house or cellar properly to prevent them from floating or being carried away; extend tank ventilation pipes until they are above the maximum water level expected.

The following points should be noted during a flood

- In a flood emergency, turn on a (battery-driven) radio in order to be able to better assess the situation (information or warnings from the civil defence can save lives).
- Avoid areas that can be flooded suddenly.
- Leave areas immediately that are exposed to flooding (i.e. dips, low-lying areas, eroded areas, etc.).
- Avoid areas that are already flooded and fast-flowing sections; do not try to cross water courses on foot if the water is more than knee-deep.
- Check the depth of water in depressions and underpasses before driving through them in your car (the road bed under the water may be eroded); if your car gets stuck, abandon it immediately.
- Take additional care at night as dangers are often more difficult to recognize.

Instructions on hazards and measures following floods

- Gas and fuel pipes may have been damaged; do not use open flames to investigate buildings; use flashlights instead.
- Power lines and electrical appliances can cause short circuits and power surges; do not touch leads or live electrical equipment in wet areas; dry them and examine them before using them again.
- Report broken utility lines to the appropriate authorities.
- Take care when walking in water; hidden objects or broken glass may be lying on the ground; stairwells and floors may be slippery.
- Seek medical assistance at the nearest hospital; food, communication facilities, and first-aid equipment are available from relief organizations.
- Do not use food that has come in contact with flood waters.
- Boil drinking water; pump out wells and check the water for purity.
- Do not visit disaster areas if your presence might hamper rescue work and other emergency operations.