



for a living planet®

Cambiamenti climatici, ambiente ed energia

**Linee guida per una strategia
nazionale di mitigazione e
adattamento**





for a living planet®

Cambiamenti climatici, ambiente ed energia

**Linee guida per una strategia nazionale di
adattamento e mitigazione**



Cambiamenti climatici, ambiente ed energia

Coordinamento progettuale e scientifico

Gianfranco Bologna* e Andrea Masullo*

Supervisione scientifica

Vincenzo Balzani¹, Federico Butera², Sergio Castellari³, Marino Gatto⁴, Sergio Ulgiati⁵

Testi

Gianfranco Bologna*, Roberto Danovaro⁶, Ireneo Ferrari⁷, Marino Gatto⁴, Andrea Masullo*, Riccardo Valentini⁸

Contributi

Andrea Agapito Ludovici*, Matteo Leonardi*, Sergio Malcevschi⁹, Luca Mercalli¹⁰, Maria Grazia Midulla*, Leonardo Setti¹¹, Ezio Todini¹², Nicoletta Toniutti*, Massimiliano Rocco*, Massimiliano Varriale*

Editing e Impaginazione

Eva Alessi* e Massimiliano Varriale*

¹ Dipartimento di Chimica, Gruppo di Fotochimica e Chimica sopramolecolare, Università di Bologna; ² Dipartimento di Scienza e Tecnologie dell'Ambiente costruito (BEST), Politecnico di Milano; ³ Focal Point IPCC Italia, Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (INGV), Centro Euromediterraneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC), Bologna; ⁴ Dipartimento di Elettronica ed Informazione, Politecnico di Milano; ⁵ Dipartimento di Scienze Ambientali, Università Parthenope, Napoli; ⁶ Dipartimento di Scienze del Mare, Università Politecnica delle Marche, Ancona; ⁷ Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Parma; ⁸ Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue risorse, Università della Tuscia, Viterbo; ⁹ Dipartimento di Ecologia del Territorio, Università di Pavia; ¹⁰ Società Meteorologica Italiana; ¹¹ Dipartimento di Chimica Industriale e dei Materiali, Gruppo di Biochimica Industriale e di Gestione Energetica, Università di Bologna; ¹² Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico Ambientali, Università di Bologna; * WWF Italia.

Foto copertina: Stagno prosciugato: © Michèle DÉPRAZ / WWF-Canon

WWF Italia Ong-Onlus
Via Po, 25/c - 00198 Roma - Tel. 06/844971
e-mail: www.wwf.it - wwf@wwf.it

È vietata qualsiasi riproduzione, anche parziale, senza autorizzazione
© Copyright marzo 2009 WWF - Italia Onlus

INDICE

INTRODUZIONE	8
MITIGAZIONE: LINEE GUIDA PER UNA STRATEGIA ENERGETICA SOSTENIBILE	10
SOMMARIO	10
Analisi.....	10
Proposte	12
MITIGAZIONE: LINEE GUIDA PER UNA STRATEGIA ENERGETICA SOSTENIBILE	14
1. Le strategie economiche a basse emissioni	14
1.1 La visione strategica del WWF.....	14
2. Il quadro energetico internazionale	17
2.1 Domanda energetica mondiale attuale ed equità	17
2.2 Disponibilità delle fonti convenzionali	19
3. Il quadro energetico nazionale	21
3.1 La domanda.....	21
3.2 Le reti energetiche	23
3.3 Usi finali.....	24
3.4 Le fonti utilizzate	24
3.5 La congruenza con le politiche europee e gli impegni internazionali sul clima.....	25
3.6 Mancanza di congruenza con gli impegni europei sull'efficienza.....	26
4. La proposta del WWF	28
4.1 Gli obiettivi di fondo.....	28
4.2 La strategia	29
4.2.1 <i>Approccio orientato al miglioramento dell'offerta</i>	29
4.2.2 <i>L'approccio orientato all'ottimizzazione degli usi finali</i>	31
4.2.3 <i>L'approccio di sistema</i>	31
4.3. Obiettivi di riduzione dei consumi.....	33
4.3.1 <i>L'elettricità</i>	33
4.3.2 <i>I trasporti</i>	33
4.4 Le fonti.....	34
4.4.1 <i>L'energia solare fotovoltaica</i>	34
4.4.2 <i>L'energia solare termica</i>	37
4.4.3 <i>L'energia geotermica</i>	38
4.4.4 <i>L'energia eolica</i>	39
4.4.5 <i>L'energia idroelettrica</i>	40
4.4.6 <i>Le biomasse</i>	40

4.5. L'ipotesi del ritorno al nucleare	43
4.6. Gli strumenti finanziari per la transizione.....	46
4.6.1 <i>Efficienza energetica</i>	46
4.6.2 <i>Emission trading</i>	48
4.7 CCS: tecnologie per la cattura e il sequestro del carbonio	49
4.8 CDM: il trasferimento di tecnologie pulite nei Paesi in via di sviluppo per soddisfare quote degli obiettivi nazionali	50
5. Scenario energetico proposto dal WWF	51
LINEE GUIDA PER UNA STRATEGIA DI ADATTAMENTO AGLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUGLI ECOSISTEMI IN ITALIA	53
SOMMARIO	53
Analisi.....	53
Proposte	55
LINEE GUIDA PER UNA STRATEGIA DI ADATTAMENTO AGLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUGLI ECOSISTEMI IN ITALIA	59
1. Premessa.....	59
2. Cos'è l'adattamento al cambiamento climatico.....	60
3. Le problematiche dell'adattamento in Europa e in Italia	61
4. Stato della conoscenza scientifica sul cambiamento climatico	62
4.1. <i>Tipping Points</i> : i punti critici.....	63
4.2. Accelerazione delle concentrazioni di gas serra nell'atmosfera.....	63
4.3. Criosfera	65
4.4. Livello dei mari.....	66
4.5. Cibo, agricoltura e pesca	66
4.6. Ecosistemi	67
4.7. Salute	68
4.8. Acqua	69
5. Gli impatti del cambiamento climatico sugli ecosistemi	70
5.1. Gli impatti sulla vegetazione e sugli ecosistemi forestali	71
5.1.1. <i>Disgregazione delle biocenosi, potenziale migrazione delle specie e spostamento dei loro areali di distribuzione</i>	72
5.1.2. <i>Impatti sullo stato di salute delle foreste: alterazione dell'equilibrio con gli agenti patogeni</i>	73
5.2. Impatto sugli ecosistemi marini	76
5.2.1. <i>Cambiamento climatico e biodiversità in ambienti costieri e profondi del Mar Mediterraneo</i>	76
5.2.2. <i>Impatto su ambienti marini costieri e del largo</i>	77

5.3. Impatto sulle acque interne	80
5.3.1. <i>Impatto sugli ecosistemi fluviali</i>	80
5.3.2. <i>Gli impatti sugli ecosistemi lacustri</i>	82
5.3.3. <i>Gli impatti sugli ecosistemi di piccole acque (pozze, stagni, acquitrini, ecc.)</i>	83
5.4. L'impatto futuro del cambiamento climatico sulla biodiversità	83
6. Sinergie con altri impatti dell'azione umana	85
6.1. La frammentazione ambientale	85
7. Conclusioni e proposte.....	87
7.1. Proposte per l'adattamento della vegetazione e degli ecosistemi forestali	87
7.1.1 <i>Foreste</i>	87
7.1.2 <i>Agroecosistemi</i>	88
7.2. Proposte per l'adattamento degli ecosistemi marini	89
7.3. Proposte per l'adattamento degli ecosistemi di acqua dolce	91
7.4. Un'importante priorità: connessione e ripristino ecologico.....	94

INTRODUZIONE

La *United Nations Framework Convention on Climate Change* (Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sul Cambiamento Climatico, UNFCCC), entrata in vigore il 21 marzo del 1994, ha come obiettivo “la stabilizzazione delle concentrazioni atmosferiche dei gas serra ad un livello tale da prevenire pericolose interferenze delle attività umane con il sistema climatico” e questo livello di stabilizzazione deve essere raggiunto “in un periodo di tempo da permettere agli ecosistemi di adattarsi in modo naturale ai cambiamenti del clima, tale da assicurare che la produzione alimentare per la popolazione mondiale non venga minacciata e tale, infine, da consentire che lo sviluppo socio-economico mondiale possa procedere in modo sostenibile¹.”

I rischi derivanti dal mutamento climatico in atto devono quindi essere affrontati su due piani fondamentali:

- azioni che affrontano la questione attraverso una strategia di mitigazione con l’obiettivo globale di un’eliminazione o riduzione progressiva delle emissioni dei gas climalteranti mediante la predisposizione e l’attuazione di piani, azioni e misure nazionali;
- azioni che affrontano la questione attraverso una strategia di adattamento al cambiamento climatico con l’obiettivo di predisporre piani, programmi, azioni e misure che minimizzino le conseguenze negative e i danni causati dal possibile cambiamento climatico sia agli ecosistemi sia ai sistemi sociali.

Riteniamo sia molto urgente intervenire. Pensiamo che non sia più ammissibile attendere ancora. Il costo dell’inazione dal punto di vista ambientale, sociale ed economico potrebbe essere veramente ingente e difficilmente riparabile. Inoltre, riteniamo pericolosa per il Paese la mancanza di un approccio strategico che consenta di trasformare i rischi in opportunità e doti il Paese della capacità di prevedere e anticipare il cambiamento cogliendone anche l’aspetto positivo.

Anche il IV e ultimo Rapporto dell’*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), con analisi sistematica dei dati sino ad oggi disponibili, documenta chiaramente l’importanza di un’azione urgente e immediata².

È perciò fondamentale avviare tutte le azioni necessarie per una seria politica di mitigazione. Più si ritarda la stabilizzazione delle concentrazioni atmosferiche di gas che incrementano l’effetto serra naturale, maggiori sono i rischi del cambiamento climatico e dei conseguenti possibili danni.

In questo contesto, il 2009 si presenta come un anno cruciale. Un vero e proprio “Anno del clima”. La 15° Conferenza delle Parti della Convenzione Quadro sui cambiamenti climatici, che avrà luogo a Copenaghen il prossimo dicembre, deve approvare il *Climate Deal*, il nuovo Protocollo che

¹ Vedasi il sito della Convenzione <http://www.unfccc.org>.

² Vedasi il sito dell’*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) dove è scaricabile l’intero IV Rapporto, <http://www.ipcc.ch>.

implementa in maniera consistente e significativa la riduzione delle emissioni di gas climalteranti, rispetto agli obiettivi fissati dal Protocollo di Kyoto, individuando target di riduzione dell'ordine del 30-40% al 2020 e dell'80% al 2050³.

Contestualmente è fondamentale impostare, da subito, una strategia di adattamento al cambiamento climatico che prenda le mosse dalle analisi degli impatti e dei futuri scenari degli impatti stessi. Crediamo sia giunto il momento per l'Italia di dotarsi di una strategia complessiva nei confronti del cambiamento climatico, un vero e proprio piano climatico energetico che affronti, in una dimensione integrata e sistemica, i complessi aspetti della mitigazione e dell'adattamento al cambiamento climatico. A questo scopo, il Comitato Scientifico del WWF si è già fatto promotore, nel 2007, di un percorso che potesse condurre all'elaborazione di Linee Guida per una Strategia nazionale di adattamento al cambiamento climatico coinvolgendo le migliori competenze esistenti nel nostro Paese. Nello stesso anno, ha quindi presentato un primo documento intitolato "Per un piano di adattamento al cambiamento climatico in Italia. Prime indicazioni"⁴ particolarmente importante per caratterizzare, sul versante delle problematiche dell'adattamento, la Conferenza Nazionale sui cambiamenti climatici che l'allora Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi tecnici (APAT, oggi Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ISPRA) ha organizzato per conto del Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare, nel settembre del 2007.

Questo nuovo documento vuole costituire un'introduzione alle Linee Strategiche per un piano energetico e alle Linee Guida per una strategia dell'adattamento agli impatti del cambiamento climatico sugli ecosistemi in Italia. Mira, quindi, a porsi come una prima indicazione, di taglio molto generale, degli argomenti e dei temi che un Piano nazionale e una Strategia di questo tipo dovrebbero trattare e cerca di fornire un contributo e uno stimolo affinché tali strumenti vengano presto realizzati.

³ Vedasi IV Rapporto dell'IPCC scaricabile dal sito <http://www.ipcc.ch>; IPCC 2007, Climate Change 2007, tre volumi, Cambridge University Press; vedasi anche Parry M. *et al.*, Squaring up to reality. *Nature*, 2008, 2, 68-70.

⁴ WWF Italia, 2007, Per un piano di adattamento al cambiamento climatico in Italia, WWF Italia.

MITIGAZIONE: LINEE GUIDA PER UNA STRATEGIA ENERGETICA SOSTENIBILE

SOMMARIO

Analisi

- Negli ultimi 150 anni, la rivoluzione industriale ha trasformato completamente il modo di utilizzare l'energia da parte dell'uomo; infatti, l'estrazione su vasta scala di combustibili ad alta densità di energia e a basso costo, come il petrolio e solo successivamente il gas, facili entrambi da essere veicolati, ha permesso l'accesso a un enorme quantità di energia potenziale ad appannaggio però di minoranza della popolazione mondiale. La trasformazione di queste fonti in elettricità ha prodotto lo schema energetico dominante, rappresentato da poli di potenza che alimentano una rete capillare di distribuzione di elettricità e combustibili. La domanda energetica mondiale si presenta, tuttavia, molto difforme per area geografica, rispetto al peso demografico di ciascuna area stessa; gli abitanti dei Paesi OCSE, che costituiscono il 18% della popolazione mondiale, nel 2006 hanno avuto un consumo medio pro capite di 4,7 tep, a fronte di circa 1 tep consumato da ciascun individuo del restante 82% della popolazione mondiale. Questo costituisce un primo elemento di criticità per il futuro.
- L'economia mondiale è oggi alimentata fundamentalmente da combustibili fossili che, nel 2006, coprivano l'80,9% dell'energia primaria utilizzata. Piuttosto modesto risulta il contributo del nucleare (pari al 6,2% espresso in calore di cui, però, i 2/3 vengono dispersi, ne consegue che il contributo effettivo al soddisfacimento dei consumi energetici mondiali sia, in realtà, pari ad appena il 2%). L'andamento storico dei consumi mostra una crescita media annua, negli ultimi 30 anni, di circa il 2%, coperta prevalentemente con il ricorso a carbone, petrolio e gas naturale. Continuando con lo scenario di crescita dei consumi degli ultimi 30 anni, prima del 2050 tutte le risorse energetiche non rinnovabili attualmente accertate, uranio compreso, saranno esaurite. Questo è il secondo elemento di criticità.
- Si ritiene sia estremamente imprudente affidare la vita dei 9 miliardi di esseri umani, che probabilmente abiteranno il pianeta nel 2050, alla sola capacità della tecnologia di risolvere problemi e moltiplicare risorse. L'esperienza del passato ha dimostrato come la tecnologia abbia risolto molti problemi ma molti altri ne abbia creati; tra questi, il più grave è

sicuramente rappresentato dalla minaccia del cambiamento climatico in atto che costituisce uno dei tanti problemi scaturiti dall'imponente cambiamento ambientale globale, indotto dall'intervento umano sui sistemi naturali.

- Per il contenimento entro livelli gestibili, con apposite misure di adattamento dei danni peggiori derivanti dal cambiamento climatico, secondo il IV Rapporto dell'IPCC, sarebbe necessario che le emissioni di gas serra, prodotte dalle attività umane, venissero ridotte di almeno l'80% entro il 2050. L'Unione Europea si è data come tappa intermedia, il raggiungimento entro il 2020 di una riduzione delle emissioni di gas serra del 20%, portato al 30% in caso di accordo internazionale. Si è prefissata, al contempo, come obiettivi strategici di accompagnamento, la riduzione dei consumi energetici del 20% (rispetto al 2005), attraverso il miglioramento dell'efficienza e una quota di produzione da fonti rinnovabili del 20%. Si ritiene che, per raggiungere l'obiettivo del 2050, si debba decisamente puntare ad una riduzione delle emissioni di gas-serra almeno del 30% entro il 2020.
- Per uscire dal percorso energetico attuale, ormai privo di prospettive, è necessario percorrere strade alternative rispetto a quella sin qui seguita basata sulla crescita illimitata dei consumi in un pianeta con evidenti limiti biofisici, ben chiari a tutta la comunità scientifica. È necessario, invece, riorientare il sistema produttivo e gli stili di vita delle società umane al fine di ottenere il massimo benessere possibile con le risorse a disposizione, operando quindi con concrete azioni basate sull'efficienza, la sufficienza e l'efficacia dei modelli di produzione e consumo.
- Le forniture di energia in Italia si basano quasi esclusivamente su fonti fossili e non mostrano uno scenario in grande evoluzione. Proseguendo su questa strada, i consumi energetici cresceranno e continueranno a basarsi, eccetto che per una modesta quota di rinnovabili, su fonti importate, soggette quindi alle turbolenze nei prezzi che, un quadro internazionale critico, rende sempre più probabili e difficilmente controllabili. Mancando di significative risorse energetiche non rinnovabili interne, il nostro è il Paese maggiormente esposto ai rischi insiti nel proseguire sulla strada delle fonti non rinnovabili. È chiaro come le poche grandi imprese, che controllano il mercato delle risorse fossili e nucleari, e i paesi che ne detengono le riserve, pur consapevoli dei limiti fisici inequivocabili delle loro strategie, intendono tuttavia trarre tutti i vantaggi economici ancora possibili.
- Al contrario, il nostro Paese è particolarmente avvantaggiato quanto a disponibilità di fonti rinnovabili. È sorprendente il fatto che l'Italia, nell'utilizzo delle fonti rinnovabili, sia preceduta da paesi sicuramente meno avvantaggiati per quanto riguarda la loro disponibilità. Ciò è vero per quanto riguarda gli usi sia elettrici sia termici. La geomorfologia del nostro territorio consente un'invidiabile disponibilità di potenziale idroelettrico, già ampiamente sfruttato ma ancora in grado di fornire ulteriori contributi. La cospicua copertura forestale e la buona produttività agricola garantiscono, inoltre, un'importante disponibilità potenziale di biomasse di scarto e sottoprodotti delle attività primarie.

- L'Italia è, infine, fra i paesi europei più favoriti quanto a ore di soleggiamento e fra i paesi al mondo con la maggiore disponibilità di risorse geotermiche economicamente utilizzabili. Il nostro è, anche, fra i paesi industrializzati che hanno i più bassi consumi pro capite, 3,13 tep, al di sotto della media dei Paesi OCSE (4,7 tep/ pro capite anno), pur avendo un potenziale di miglioramento dell'efficienza molto elevato. Tutte queste opportunità che, fino ad oggi, sono state solo in minima parte sfruttate, costituiscono le basi certe, affidabili e durature sulle quali è indispensabile fondare una strategia energetica realistica e a basso rischio, che avvicini il nostro Paese all'autosufficienza energetica.
- La strada fin qui seguita, essendo fondata su fonti non rinnovabili, non può che evolvere verso crescenti difficoltà economiche e ambientali; il costo delle fonti primarie utilizzate (petrolio, gas, carbone, uranio) non può che continuare ad aumentare a causa del persistente incremento della domanda e del progressivo esaurimento delle risorse più accessibili. I costi ambientali connessi all'utilizzo delle fonti energetiche non rinnovabili (a iniziare da quelli degli impatti del cambiamento climatico), se internalizzati, vedrebbero alcune di queste fonti già oggi fuori mercato.
- Viceversa la strategia che si ritiene proponibile si basa sull'efficienza e sull'integrazione delle diverse fonti endogene e rinnovabili, non soggette a turbolenze di mercato e speculazioni, ma solo a fattori positivi dettati dall'innovazione tecnologica e delle reti di infrastrutture, aspetti con grandi margini di miglioramento connessi allo sviluppo su larga scala. Il costo attualmente superiore di alcune fonti rinnovabili (rispetto a quelle fossili) sta in realtà scendendo rapidamente e si prevede come tali riduzioni di prezzo proseguiranno in maniera significativa nel prossimo futuro.

Proposte

- La strada della sostenibilità, proposta in questo documento, può certamente evolvere verso un continuo miglioramento sociale, economico e ambientale proprio grazie all'integrazione delle attività umane con le risorse disponibili, le caratteristiche ambientali e gli obiettivi sociali; si tratta in pratica di pianificare queste attività in funzione delle risorse rinnovabili utilizzabili localmente, scegliendo le tecnologie più appropriate in tal senso.
- Il primo obiettivo è stabilizzare i consumi, operando sull'efficienza non solo degli usi finali, ma anche dell'intero tessuto economico e produttivo, ridefinendone coerentemente obiettivi, strategie e strumenti. Il secondo obiettivo è ridurre i consumi all'interno di uno schema energetico che deve essere dotato di elevata resilienza, ovvero capace di adattarsi in tempo reale alle variazioni del contesto economico e sociale nazionale e internazionale. Ciò porterebbe alla riduzione del 20% dei consumi al 2020, in linea con gli impegni europei, e del 50% al 2030.

- Le fonti rinnovabili dovrebbero triplicare rispetto a oggi entro il 2020, coprendo circa il 30% dei consumi, e crescere di un altro 25% fino a soddisfare il 50% della domanda di energia nel 2030. Il ricorso alle fonti fossili, ridotto rispetto a oggi del 50%, andrebbe a coprire il restante 50% dei consumi del 2030.
- Se, rispetto alla necessità e alla convenienza di questa trasformazione, è difficile nutrire dubbi, diversi e opinabili potrebbero essere i percorsi di transizione. L'utilizzo di fonti convenzionali, come il carbone o il nucleare, appare problematico sotto tutti gli aspetti, sia economici sia ambientali, e rischia di ingessare il sistema di produzione centralizzata, impedendone una sufficientemente rapida evoluzione verso uno schema di produzione distribuita dell'energia, come quella necessaria all'espansione delle fonti rinnovabili, spesso caratterizzate da bassa intensità e discontinuità.
- Particolarmente rischiosa, anche sul piano economico, appare la scelta di un ritorno all'energia nucleare, fonte che, se correttamente si comprendessero anche i futuri costi di smantellamento delle centrali e di gestione finale delle scorie, nonché gli elevati investimenti pubblici già ricevuti (per la ricerca, la gestione della sicurezza esterna e lo sviluppo di infrastrutture) sarebbe già oggi non competitiva. Gli analisti internazionali (per es., Moody's) prevedono inoltre come il costo del kWh prodotto sia destinato a raddoppiare entro il 2022, data in cui dovrebbero entrare in funzione le prime centrali italiane ipotizzate dal governo.
- Sebbene lo stato attuale di estrema marginalità del contributo delle fonti rinnovabili (fatta eccezione per l'energia idroelettrica) possa rendere difficoltoso un cambiamento radicale del sistema nei tempi necessari per rispondere sia ai limiti fisici delle risorse non rinnovabili, sia all'esigenza di mitigazione del cambiamento climatico, l'impegno economico inizialmente richiesto dalla strategia proposta presenta tuttavia una convenienza di medio termine tale da motivarne l'attuazione anche e soprattutto nell'attuale situazione di crisi economica.

MITIGAZIONE: LINEE GUIDA PER UNA STRATEGIA ENERGETICA SOSTENIBILE

1. Le strategie economiche a basse emissioni

1.1 La visione strategica del WWF

Ogni volta che si produce un manufatto (per es., un'automobile) o si mette in opera un servizio (per es., una piscina) si consumano risorse e si producono rifiuti che spesso occupano un volume maggiore di quello delle risorse utilizzate. A seconda del loro stato di aggregazione, i rifiuti si accumulano come escrescenze sulla superficie della Terra, si uniscono alle acque superficiali e/o profonde, oppure si diffondono nell'atmosfera. Al termine dei processi che generano merci e servizi, l'ambiente naturale risulta, quindi, impoverito del suo contenuto originale e addizionato di una certa quantità di sostanze estranee che modificano il suolo, le acque e l'atmosfera, rendendoli sempre meno idonei a svolgere successive funzioni vitali e anche a sostenere la stessa economia che, in ultima analisi, si basa sulle risorse naturali stesse.

Il ruolo fondamentale nella produzione di merci e servizi è ovviamente quello dell'energia, oggi in massima parte ottenuta dai combustibili fossili il cui uso comporta l'emissione nell'atmosfera di enormi quantità di anidride carbonica, un gas serra che minaccia gravemente la stabilità del clima. Ogni piano che abbia l'ambizione di preparare un futuro migliore per noi e, soprattutto, per i nostri figli, non può ignorare tre problemi: 1) le risorse della Terra, anzitutto quelle energetiche, sono limitate; 2) le risorse devono essere distribuite più equamente fra tutti gli abitanti della Terra; 3) l'uso che oggi si fa delle risorse, e soprattutto dei combustibili fossili, è spesso dissennato.

Accanto a questi problemi, va ricordata anche la via attraverso la quale essi possono essere risolti e sulla quale è possibile poggiare con fiducia il nostro futuro: la Terra, nel suo vagare nell'universo, è sempre accompagnata dal Sole, che ci rifornisce di energia. L'energia solare è inesauribile, perché il Sole brillerà ancora per miliardi di anni; è abbondante, perché in un'ora ne arriva una quantità pari a quella che l'umanità consuma in un anno; possiede, infine, il grande pregio di essere diffusa abbastanza equamente su tutta la Terra. L'uso dell'energia solare permetterà di ridurre, fino a eliminare completamente, il consumo di combustibili fossili, di riciclare le risorse che si vanno esaurendo (per es., i metalli) e, forse, di creare un mondo più giusto e più pacifico.

La transizione dall'uso dei combustibili fossili a quello dell'energia solare e delle altre energie rinnovabili richiederà però molto tempo per motivi tecnici, sociali, economici e politici. In questo

lungo periodo di transizione è necessario limitare i danni che l'uso dei combustibili fossili causa all'ambiente e, in particolare, al clima del nostro pianeta. È necessario, quindi, ridurre drasticamente gli sprechi e aumentare l'efficienza nell'uso dell'energia e delle altre risorse non rinnovabili.

Il nostro modello di sviluppo, il consumismo, è fondato sulla circolarità forzata produzione-consumo: si producono merci per soddisfare bisogni, ma si producono anche bisogni per garantire la continuità della produzione delle merci. Queste devono essere rapidamente consumate per essere sostituite e, non potendo essere troppo fragili, altrimenti nessuno le comprerebbe, è sufficiente che sia fragile una loro parte. Così il "pezzo di ricambio" non esiste o viene venduto a un prezzo talmente alto da non rendere conveniente la riparazione. Qualora non si senta il bisogno di sostituire un prodotto, questo "bisogno" viene indotto dalla pubblicità che, sostanzialmente, è un appello alla distruzione delle cose che abbiamo per far posto a quelle di nuova produzione. Dove non arriva la pubblicità soccorre la moda, strategia alternativa per vincere la resistenza degli oggetti alla distruzione. La moda rende, infatti, socialmente inaccettabile ciò che è ancora materialmente utilizzabile.

Purtroppo ogni richiamo a minori sprechi e consumi, cominciando da quelli energetici, contrasta con l'idea oggi dominante, portata avanti da molti economisti e fatta propria dalla maggior parte dei politici, secondo la quale è necessario produrre sempre di più, non importa se si tratta di cose utili, inutili o addirittura dannose. Prima o poi, però, tutti dovranno rassegnarsi all'idea che esiste il Secondo Principio della termodinamica. Quindi, così come è impossibile creare il moto perpetuo, è anche impossibile avere una continua crescita dei consumi in un mondo che ha risorse limitate. Finché non sarà vinta questa battaglia contro l'ignoranza, continuerà lo spreco delle risorse e il disprezzo dei limiti della biosfera.

Il nostro modello, fondato su risorse non rinnovabili, ha funzionato dall'introduzione della macchina a vapore, con la conseguente rivoluzione tecnologica e industriale, fino a oggi, ma non ha futuro, o meglio, ha un futuro limitato a pochi decenni per alcune risorse, a qualche decennio in più per altre. Si tratta di un modello che sta correndo spedito verso la sua fine; dal momento che il suo obiettivo è la crescita quantitativa dei consumi e della produzione, più realizza i suoi obiettivi e più accorcia il suo tempo di vita.

Nel 2006 è stato pubblicato un aggiornamento dello storico rapporto sui limiti dello sviluppo, redatto dal *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) per il Club di Roma, che conferma quanto sostanzialmente già previsto nel primo studio del '72⁵. Il rapporto rivela che nei prossimi anni - in mancanza di un'adeguata inversione di rotta - l'aumento dell'inquinamento, l'eccessivo sfruttamento dei suoli agricoli e delle risorse idriche, la contaminazione chimica e la crisi climatica porteranno in pochissimi anni, prima al declino e poi al crollo della produzione alimentare. Si prevede che, entro il 2020, avvenga anche un crollo della produzione industriale, dovuto principalmente al costo crescente di risorse sempre più scarse. Lo scenario entro la metà del secolo è quello di una crisi globale

⁵ Meadows D., Meadows D., Randers J., *I nuovi limiti dello sviluppo*, Mondadori, 2006.

drammatica che porterà anche al crollo della popolazione mondiale (dopo che avrà comunque superato i 9 miliardi nel 2050) e al declino della civiltà industriale. Oggi sembra di assistere già ai primi segnali dell'avverarsi di questa previsione ed è, dunque, indispensabile adoperarsi al più presto per prevenire tale disastro. Già nel 2001, l'ecologo Howard Odum scriveva che: "Politiche basate sulla comprensione (*di tali dinamiche*) potrebbero fare la differenza tra un atterraggio senza scosse e un collasso rovinoso⁶".

Tutti i parametri rappresentativi del tenore materiale di vita rischiano di subire una crisi entro il 2020. Dopo un aumento rapido ed evidente nel corso del '900, la speranza di vita potrebbe rapidamente scendere fino a stabilizzarsi entro la fine del secolo riportandosi ai valori caratteristici dei primi del '900.

Il crescente benessere, che ha caratterizzato il secolo appena trascorso, verrebbe in tal modo a sparire nel secolo successivo, chiudendo in drammaticamente la parentesi del consumismo e dell'opulenza. La risposta del modello consumistico dipinge scenari di sostenibilità solo se qualora si verificano le seguenti condizioni:

- stabilizzazione demografica;
- limitazione del prodotto industriale a un valore prefissato;
- disponibilità doppia di risorse rispetto a quelle oggi stimate e utilizzo di percentuali crescenti di risorse rinnovabili;
- attuazione di programmi di lotta all'erosione e al degrado dei suoli capaci di accrescere la resa della produzione agricola;
- adozione di nuove tecnologie per abbattere l'inquinamento e proteggere il clima.

È più che evidente come nessuna delle precedenti condizioni sia di facile attuazione, soprattutto nel breve periodo. Il pianeta si trova a dover affrontare una crisi ambientale senza precedenti. La risposta è resa ancora più difficile dalla presente crisi finanziaria che spinge a meccanismi di difesa dell'esistente ma che potrebbe anche offrire opportunità di innovazione socio-economica, finanziaria e tecnologica tali da consentire soluzioni oggi inimmaginabili.

Secondo il IV Rapporto dell'IPCC7, per evitare che l'aumento delle temperature medie terrestri, rispetto al periodo pre-industriale, raggiunga i 2°C, livello in cui principali impatti entrerebbero in una fase di rischio elevato, per estensione e intensità, e alcuni cambiamenti negli schemi di circolazione oceanica e atmosferica rischierebbero di divenire irreversibili⁸, sarebbe necessario che le emissioni di gas serra, prodotte dalle attività umane, venissero ridotte di almeno l'80% entro il 2050.

L'Unione Europea si è data come tappa intermedia il raggiungimento, entro il 2020, di una riduzione delle emissioni di gas serra del 20%, portato al 30% in caso di accordo internazionale. Si è prefissata, al contempo, come obiettivi strategici di accompagnamento, la riduzione dei consumi energetici del

⁶ Odum H.T. e Odum E.C., 2001, A prosperous way down. University Press of Colorado.

⁷ Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Paris, February 2

20% (rispetto al 2005), attraverso il miglioramento dell'efficienza, e una quota di produzione da fonti rinnovabili del 20%.

Il WWF ritiene che, per raggiungere l'obiettivo del 2050, si debba decisamente puntare a una riduzione delle emissioni di gas serra almeno del 30% entro il 2020⁹.

L'obiettivo al 2050 appare pressoché impossibile da raggiungere all'interno dell'attuale struttura economica e tecnologica, fondata sulla disponibilità di energia ad alta temperatura (fonti fossili e nucleare) e su un elevato e crescente utilizzo di materie prime non energetiche. Una riduzione dell'80% delle emissioni presuppone una ridefinizione del benessere, degli stili di vite e degli obiettivi economici e sociali, secondo i principi della sostenibilità. In questa prospettiva vanno, dunque, pensati gli interventi relativi agli obiettivi al 2020, che non devono essere semplici aggiustamenti per far tornare gli impegni su un piano strettamente contabile, strategia difficile, onerosa e senza ricadute positive per il futuro, ma devono costituire i primi passi di quella trasformazione in grado di portarci al 2050 con una organizzazione economica sostenibile, in grado di produrre benessere, utilizzando la minor quantità possibile di energia e materia, e basata su risorse rinnovabili.

2. Il quadro energetico internazionale

2.1 Domanda energetica mondiale attuale ed equità

Negli ultimi 150 anni, la rivoluzione industriale ha trasformato completamente il modo di utilizzare l'energia da parte della specie umana; infatti, l'estrazione su vasta scala di combustibili ad alta densità di energia e a basso costo, come il petrolio e solo successivamente il gas, facili entrambi da essere veicolati, ha permesso l'accesso a un enorme quantità di energia potenziale a appannaggio però di minoranza della popolazione mondiale.

Ne risulta un quadro globale estremamente complesso, basato su impianti di trasformazione energetica di grande potenza a servizio di un capillare "micro-consumo distribuito" che, sul piano strettamente razionale, richiederebbe invece una rapida diffusione di una capillare "micro-generazione distribuita" dell'energia.

La domanda energetica mondiale si presenta geograficamente molto difforme, rispetto al peso demografico di ciascuna area, e ciò rappresenta un primo elemento di criticità per il futuro. Secondo quanto riportato dall'*International Energy Agency*¹⁰, degli 11.741 Mtep¹¹ di energia utilizzati nel mondo nel 2006, oltre 5.537 sono andati ai 1.175 milioni di abitanti dell'area OCSE e appena 1.897 ai 1.321 milioni di abitanti della Cina. È evidente come tale squilibrio sia destinato a ridursi per la

⁸ Si veda la Parte 2 del presente documento.

⁹ Da "Climate solutions: WWF's vision for 2050", <http://assets.panda.org/downloads/climatesolutionweb.pdf>

¹⁰ IEA Key World Energy Statistics 2008

¹¹ La "tonnellata equivalente petrolio", abbreviata in tep, è una unità di misura dell'energia comunemente utilizzata in documenti politici o commerciali; essa rappresenta la quantità di energia prodotta da una tonnellata

crescita dell'economia e delle aspirazioni di larga parte della popolazione mondiale verso un più elevato standard di vita, ma è anche evidente come tale riduzione non possa che passare attraverso una maggiore equità di distribuzione delle risorse esistenti, senza l'illusione di poterle accrescere all'infinito. Un'idea chiara della situazione e delle prospettive future è data dalla distribuzione dei consumi *pro capite* illustrata nella figura 1.

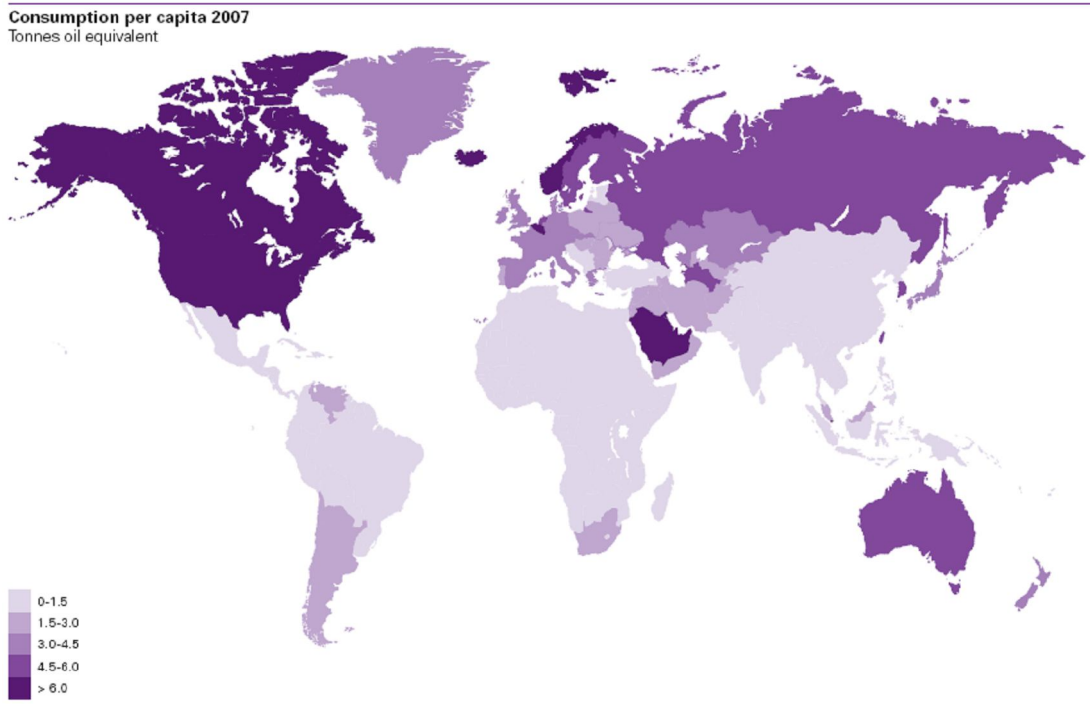


Figura 1. Consumi energetici pro capite (fonte: BP Statistical Review of World Energy, June 2008).

Gli abitanti dell'area OCSE, che costituiscono il 18% della popolazione mondiale, sempre nel 2006, hanno avuto un consumo medio pro capite di 4,7 tep, mentre ciascun individuo del restante 82% della popolazione mondiale ha avuto a disposizione circa 1 tep. Seppure si riuscisse, grazie all'efficienza energetica e ad altri interventi strutturali, a stabilizzare ai livelli attuali i consumi dei Paesi sviluppati e si generalizzasse su scala mondiale questo modello di benessere, entro il 2050 si dovrebbe disporre annualmente di circa 45.000 Mtep per poter garantire 5 tep a ciascuno dei 9 miliardi di individui che, probabilmente, popoleranno la Terra; e ciò dovrebbe essere garantito ogni anno.

È evidente come si tratti di un percorso estremamente improbabile ed enormemente difficoltoso, indipendentemente da quali fonte e tecnologie si renderanno disponibili nel futuro.

Una strategia energetica sostenibile non può prescindere dall'abbandono della logica del consumismo, come unico strumento di sviluppo economico, e del consumo, come indicatore principale della qualità

di petrolio. In realtà il petrolio può avere grande variabilità qualitativa. Per convenzione 1tep corrisponde a 10 miliardi di calorie. 1Mtep=1 milione di tep

della vita, per arrivare a una limitazione dei consumi di materie prime ed energia concordata su scala mondiale.

2.2 Disponibilità delle fonti convenzionali

L'economia mondiale è oggi alimentata fundamentalmente da combustibili fossili che, nel 2006, coprivano l'80,9% dell'energia primaria utilizzata (figura 2). Piuttosto modesto risulta il contributo del nucleare pari al 6,2%, valore, in realtà, sovrastimato perché considera come recuperabile l'intero calore prodotto nel processo di fissione; è in realtà ben noto come le centrali nucleari siano in grado di utilizzare solo circa 1/3 del calore generato, vale a dire quello che riescono a convertire in elettricità: una più corretta analisi mostra come il contributo effettivo del nucleare al soddisfacimento dei consumi energetici mondiali sia di circa il 2%, di fatto inferiore a quello fornito dall'idroelettrico. L'andamento storico dei consumi negli ultimi 30 anni mostra una crescita media annua di circa il 2%, coperta prevalentemente con il ricorso a carbone, petrolio e gas naturale.

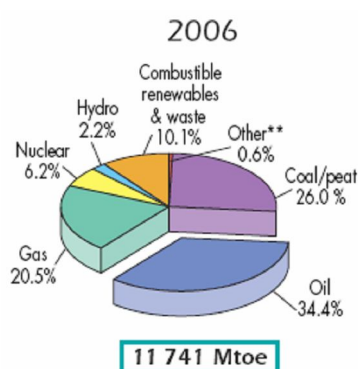


Figura 2. Ripartizione dei consumi energetici per fonte nel 2006 (IEA Key World Energy Statistics 2008).

Continuando con questo tasso di aumento si dovrebbe quindi fronteggiare una domanda di 15.500 Mtep nel 2020 e di ben 28.000 Mtep nel 2050¹². Immaginare una crescita dei consumi costante pari al 2% comporta la necessità di reperire 168.500 Mtep per alimentare l'economia mondiale fino al 2020, e ben 856.000 Mtep fino al 2050. L'utilizzo di queste quantità di energia provocherebbe sugli ecosistemi planetari una trasformazione globale insostenibile a prescindere da qualsiasi altra considerazione in merito alle emissioni di gas serra. Tale prospettiva deve fare, inoltre, i conti con la disponibilità delle fonti non rinnovabili che hanno fino a oggi alimentato il sistema economico mondiale.

Carbone: alla fine del 2007, le riserve mondiali accertate di antracite ammontavano a 430.896 milioni di tonnellate, mentre quelle di lignite a 416.592 milioni di tonnellate, corrispondenti complessivamente a circa 457 Gtep^{13 14}.

Petrolio: alla fine del 2007, le riserve accertate di petrolio ammontavano a 168,6 Gtep¹⁵.

Energia idroelettrica: nel 2007, la produzione di energia idroelettrica è stata di 0,7 Gtep¹⁶ che, trattandosi di fonte rinnovabile, è quindi disponibile annualmente. Il potenziale oggi tecnicamente sfruttabile ammonta a 1,23 Gtep/anno (su un potenziale lordo di 3,5 Gtep/anno¹⁷).

¹² In realtà la situazione è molto più problematica se consideriamo il fatto che ci sono più di 1.320 cinesi che hanno accresciuto i loro consumi energetici fra il 2006 e il 2007 di ben il 7,7%, ed inoltre questo aumento è andato in massima parte a vantaggio del 20% più ricco della popolazione.

¹³ 1Gtep (gigatep) = 1000 Mtep, cioè un miliardo di tep (tonnellate equivalenti petrolio).

¹⁴ Dati tratti da BP Statistical Review of World Energy, June 2008 Considerando per l'antracite un potere calorifico inferiore medio pari a 30Gj/t, corrispondente a 0,7 tep e per la lignite un potere calorifico inferiore pari a 15 GJ/t, corrispondente a 0.36 tep, le riserve accertate di carbone corrispondono complessivamente a 457 Gtep.

Gas naturale: alla fine del 2007, le riserve accertate risultavano pari a 177.360¹⁸ miliardi di metri cubi, equivalenti a 146,3 Gtep.

Nucleare: le riserve di Uranio accertate ammontano a circa 5,5 milioni di tonnellate¹⁹, corrispondenti a 18-29 Gtep elettrici (dal momento che l'unica energia utilizzabile di una centrale nucleare è quella elettrica). Nel caso si potesse ipotizzare in futuro un uso termico dell'energia nucleare, le riserve corrisponderebbero a 55-88 Gtep.²⁰

Tabella 1. Risorse energetiche accertate

<i>Fonte energetica</i>	<i>Risorse accertate (Gtep)</i>
Carbone	457
Petrolio	168,6
Idroelettricità	Rinnovabile
Gas Naturale	146,3
Uranio	18-29
Totale	789,9-800,9

Quanto detto e riassunto nella tabella 1²¹ significa che, se continueremo con lo scenario di crescita dei consumi degli ultimi 30 anni, prima del 2050 avremo esaurito tutte le risorse energetiche non rinnovabili attualmente accertate. Gli economisti e i politici obiettano come nel frattempo si saranno sviluppate nuove tecnologie e nuove risorse saranno rese sfruttabili, cosa che è possibile almeno in parte accada. A fronte di queste cifre sorge tuttavia tutta una serie di interrogativi: È giusto e responsabile legare il futuro dell'umanità ad auspici, promesse e speranze, di nuove scoperte? Siamo così sicuri che il ritmo delle scoperte e invenzioni continuerà in questo secolo a essere veloce quanto quello eccezionale del secolo scorso? Quanto sono consapevoli i politici di stare guidando il mondo sul filo del rasoio? Quanto sono consapevoli i cittadini che chi decide le sorti del mondo stia scommettendo in modo così spericolato sul loro futuro?

¹⁵ Dati tratti da BP Statistical Review of World Energy, June 2008

¹⁶ Idem

¹⁷ Fonte: Prof. Raymond Lafitte, International Hydropower Association – IHA, <http://www.uniseo.org/hydropower.html>

¹⁸ Dati tratti da BP Statistical Review of World Energy, June 2008

¹⁹ Fonte: IAEA (*International Atomic Energy Agency*) Annual Report-2007 e si riferisce alla quantità di “combustibile nucleare” producibile con l'uranio estraibile a un costo inferiore ai 130 \$/kg.

²⁰ Il fattore di conversione in energia termica utilizzato nel Red Book della OECD NEA/IAEA è 10.000-16.000 tep per tonnellata di ossido di uranio; la variabilità così ampia dipende dalle diverse tecnologie adottate nei reattori nucleari. Dal momento che l'energia utile prodotta dai reattori nucleari è solo quella elettrica, viene considerato il 33% che è un rendimento medio/alto di una centrale nucleare. In definitiva il fattore di conversione utilizzato è 3.300-5.280 tep/tonnellata di Uranio.

²¹ Essendo l'energia idroelettrica considerata rinnovabile, anche se potenzialmente esposta alla variazione dei cicli idrologici a causa dei cambiamenti climatici, la sua disponibilità va calcolata moltiplicando il potenziale lordo per il numero di anni in cui si suppone di utilizzarlo.

3. Il quadro energetico nazionale

3.1 La domanda

In Italia, nel 2006 si sono utilizzati 184,17 Mtep, con un consumo *pro capite* di 3,13 tep,²² al di sotto della media dei Paesi OCSE, pari a 4,7 tep/pro capite anno. Il dato italiano, nella logica del consumismo, viene utilizzato per motivare scenari di ulteriore crescita dei consumi, dimenticando

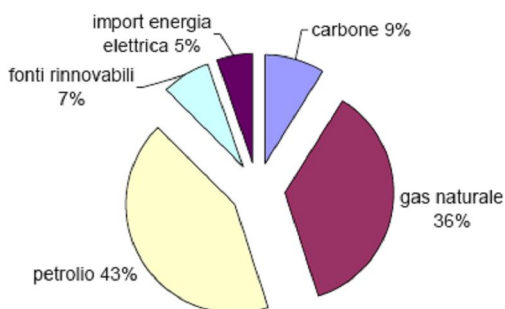


Figura 3. Consumi di energia per fonte in Italia nel 2007 (Fonte: elaborazione Enea su dati del Bilancio Energetico Nazionale).

come si tratti però di un consumo 3 volte superiore a quello del restante 82% dell'umanità.

Le forniture di energia in Italia si basano quasi esclusivamente su fonti fossili e lo studio del Ministero delle Attività Produttive²³ sugli scenari di consumo (figura 4) non mostra un quadro in grande movimento fino al 2020²⁴, anno in cui il

contributo delle fonti rinnovabili coprirebbe appena il 9,9% del fabbisogno energetico, quello del carbone resterebbe sostanzialmente stabile sui

livelli attuali, mentre il gas naturale sostituirebbe solo in parte il petrolio, il cui consumo continuerebbe a essere sostenuto prevalentemente dal settore dei trasporti.

Secondo questo scenario, i consumi energetici cresceranno dell'1,38% l'anno fino al 2020 e continueranno a basarsi, eccetto che per la modesta quota di rinnovabili, su fonti importate soggette quindi alle tempeste nei prezzi che, un quadro internazionale come quello descritto nel capitolo precedente, rende sempre più probabili.

La figura 5 mostra una previsione di definitiva scomparsa del petrolio dal settore della produzione di energia elettrica; quest'ultima verrebbe sostenuta da un imponente aumento dei consumi di gas naturale e, in misura minore, dal carbone e dalle fonti rinnovabili.

Se l'Italia seguisse questo scenario si auto-condannerebbe a un futuro energetico ed economico estremamente vulnerabile e difficoltoso.

²² Fonte IEA- Key World Energy Statistics 2008

²³ Oggi denominato Ministero per lo Sviluppo Economico

²⁴ Ministero delle Attività Produttive: Scenario tendenziale dei consumi e del fabbisogno al 2020, maggio 2005

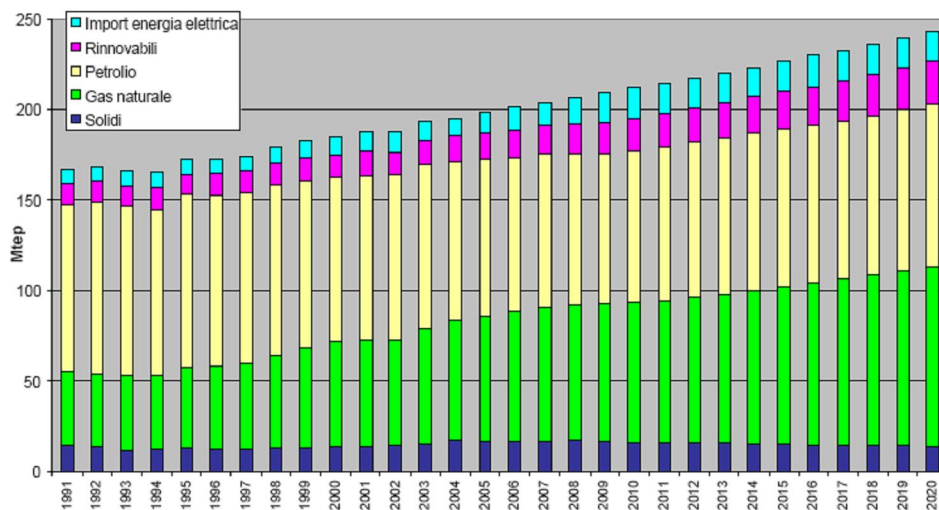


Figura 4. Evoluzione del fabbisogno energetico per fonte (Ministero Attività Produttive).

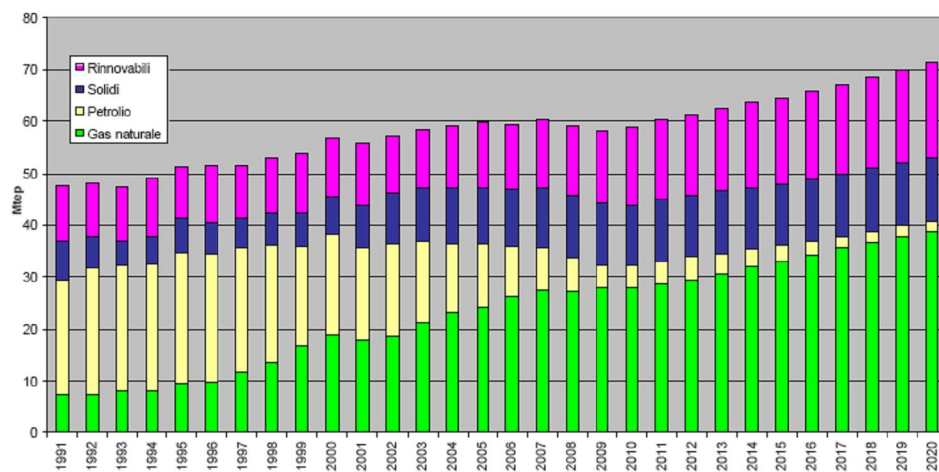


Figura 5. Evoluzione della produzione di elettricità per fonte (Ministero Attività Produttive).

3.2 Le reti energetiche

Lo schema energetico attuale, imperniato su fonti energetiche ad alta intensità, si basa: 1) per quanto riguarda l'elettricità, su una rete di trasmissione ad alta tensione, adatta al trasporto su lunghe distanze (figura 6); 2) per quanto riguarda la domanda di calore, su una rete capillare di gasdotti e 3) per quanto riguarda i carburanti su una rete di oleodotti e una distribuzione al dettaglio per mezzo di autocisterne.

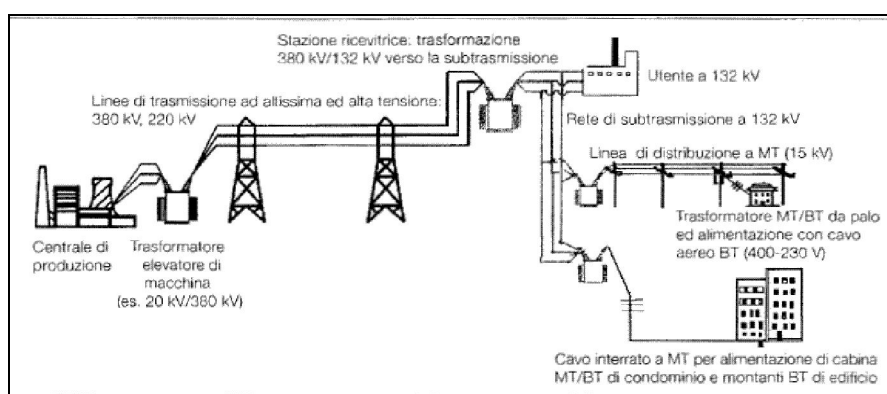


Figura 6. Schema di rete elettrica per una produzione di energia centralizzata.

Tale rete di distribuzione è stata sviluppata contestualmente alla realizzazione delle grandi centrali di trasformazione termo-elettrica, dei terminali dei gasdotti internazionali, integrati nel prossimo futuro dai centri di rigassificazione del gas liquefatto trasportato con navi, e dei poli di raffinazione petrolifera. È chiaro come si tratti di uno schema totalmente inadatto all'allacciamento di fonti energetiche di bassa intensità e carattere discontinuo come quella solare e quella eolica.

Questo schema è costruito in base alla logica domanda/offerta (figura 7) dove gli attori sono i clienti e i fornitori. L'unico interesse del cliente è ottenere l'energia richiesta al più basso costo possibile, mentre per il fornitore è produrla nelle forme richieste al più basso costo possibile. Il fornitore è, in

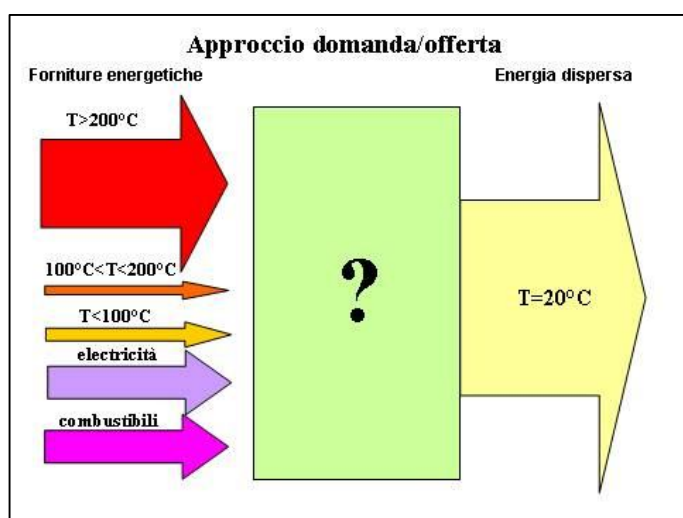


Figura 7. Approccio domanda/offerta.

questo caso, interessato a ottenere le risorse energetiche primarie (gas, petrolio, carbone...) al minor prezzo possibile e a migliorare l'efficienza dei suoi impianti di trasformazione e della rete di distribuzione. Il fornitore non è però interessato a un uso efficiente dell'energia da parte del cliente, anzi più il cliente è inefficiente, più il fornitore può vendere la sua energia. La struttura del sistema che richiede energia viene tenuta in scarsa considerazione, per questo in figura 7 è

indicata con un punto interrogativo. Il sistema riceve energia nelle varie forme richieste (freccie in entrata) e la disperde nell'ambiente degradata dopo l'uso, sotto forma di calore (freccia in uscita). Gli unici effetti che possiamo osservare dall'esterno sono: il degrado dell'energia verso uno stato di minor utilizzabilità, un impatto ambientale e un certo livello di soddisfazione del cliente.

3.3 Usi finali

In un approccio domanda/offerta anche il concetto di "uso finale" dell'energia assume un significato commerciale e non fisico. Gli operatori del sistema energetico sono interessati esclusivamente a conoscere i settori economici di appartenenza dei loro clienti-consumatori al fine di valutare l'opportunità di espansione o l'evoluzione del mercato della merce-energia. Gli operatori sono poco interessati a quale sia l'applicazione finale dell'energia venduta, cioè al lavoro o al servizio che l'utente finale intende ottenere dal suo utilizzo; per loro l'energia viene "consumata", secondo la logica del mercato, e non "utilizzata", secondo i principi della fisica.

Il mercato mostra, quindi, come dal 2000 a oggi (figura 8) mentre l'utilizzo di energia nel settore industriale è stato pressoché stabile, esso sia fortemente aumentato nei trasporti e nel settore civile (residenziale e terziario), seppur con andamento altalenante. Questi dati destano notevole

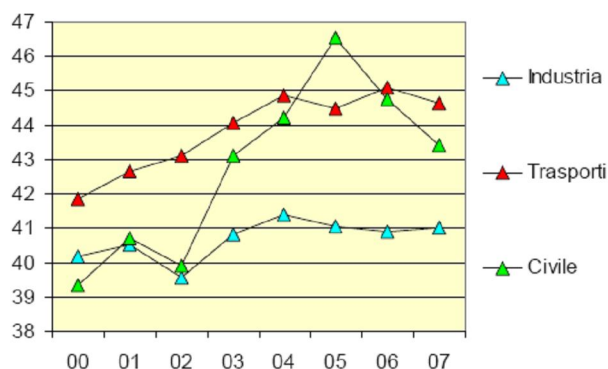


Figura 8. Usi finali di energia per settore (Mtep)
(Fonte: Elaborazione ENEA su dati del Bilancio Energetico Nazionale).

preoccupazione e nulla dicono sull'efficienza con cui l'energia è stata utilizzata, lasciando aperti molti interrogativi del tipo: L'aumento nel settore civile è dovuto a una accresciuta esigenza di confort o a una perdita di efficienza degli edifici e delle apparecchiature domestiche? L'aumento nei trasporti è dovuto a una crescita dei chilometri percorsi o all'utilizzo di mezzi meno efficienti (più automobili, meno treni e navi)? L'aumento dei chilometri percorsi è

dovuto a un peggioramento dell'organizzazione del mercato delle merci o a un aumento dei consumi?

La stabilità dei consumi nell'industria è dovuta a un miglioramento delle tecniche di produzione o a un calo di certe produzioni energivore dovuto alle difficoltà economiche?

Un governo dell'energia fondato prevalentemente su fattori quantitativi di tipo commerciale nelle scelte strategiche non presta molta attenzione a tutte queste domande qualitative.

3.4 Le fonti utilizzate

Di questa logica mercantile soffre ovviamente anche la scelta delle fonti utilizzate, effettuata in base alle opportunità di approvvigionamento da parte delle imprese energetiche. Vengono, infatti, privilegiate le fonti trasportabili e utilizzabili in pochi impianti tecnologici, che consentono alle

imprese energetiche un elevato livello di controllo del mercato interno dell'energia. Come si vede dalla figura 9, il gas naturale e il petrolio sono le fonti trainanti. Le fonti rinnovabili sono del tutto

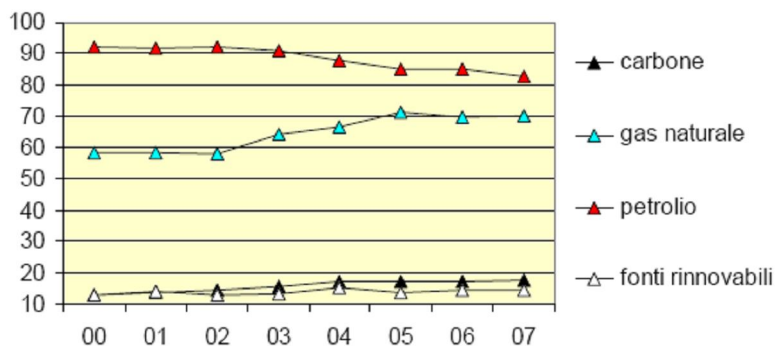


Figura 9. Disponibilità di energia per fonte in Italia (Mtep) (Fonte: Elaborazione ENEA su dati del Bilancio Energetico Nazionale).

marginalizzate.

La marginalità delle fonti rinnovabili dipende dal fatto che la gratuità della fonte e la necessità di una diffusione degli impianti di trasformazione ne rende difficile il controllo commerciale, spostando l'attenzione dalla fonte alle apparecchiature di utilizzo; la

merce non è più l'energia, che è gratuita, ma la tecnologia di utilizzo.

È sorprendente il fatto che l'Italia, nell'utilizzo delle fonti rinnovabili, sia preceduta da paesi sicuramente meno avvantaggiati per quanto riguarda la disponibilità di energia solare, geotermica e idroelettrica. Ciò è vero per quanto riguarda gli usi sia elettrici sia termici. L'Italia è, infatti preceduta non solo dalla Spagna, ma anche da paesi nordici come Austria, Germania, Danimarca, Svezia...

Per sottolineare quanto lo schema del sistema energetico e le fonti utilizzate si influenzino reciprocamente, si fa notare come la Francia sia molto più indietro nell'utilizzo delle fonti rinnovabili per produzione elettrica, rispetto alla sua posizione relativa alle rinnovabili per uso termico, in quanto questo Paese basa il proprio sistema elettrico sulla produzione di energia nucleare e, quindi, risulta scarsamente interessato ad altre fonti per il settore elettrico.

L'aver scelto a priori un sistema energetico centralizzato rappresenta un vincolo anche per le scelte future, come dimostra la ripartizione degli investimenti in ricerca e sviluppo che vede l'Italia destinare al nucleare il doppio delle risorse destinate alle fonti rinnovabili. Ciò avviene sebbene non si possieda uranio per la fissione e non sia prevedibile, per quanto riguarda la fusione, una sua applicazione pratica prima del 2050 (anche se non vi è attualmente alcuna certezza che questa possa effettivamente mai realizzarsi). Al contrario, le fonti rinnovabili vedono l'Italia fra i paesi più favoriti al mondo per quanto riguarda il solare e la geotermia, in particolare quella di bassa e media temperatura, il cui utilizzo è a oggi praticamente irrilevante.

3.5 La congruenza con le politiche europee e gli impegni internazionali sul clima

L'attuale schema energetico non può che vedere, negli obiettivi di limitazione delle emissioni, un costoso ostacolo da evitare; di qui ha origine una lunga storia d'intralci, ritardi e posizioni ostili dell'Italia nelle trattative internazionali, volte a ridurre al minimo gli obiettivi e a ricorrere il più

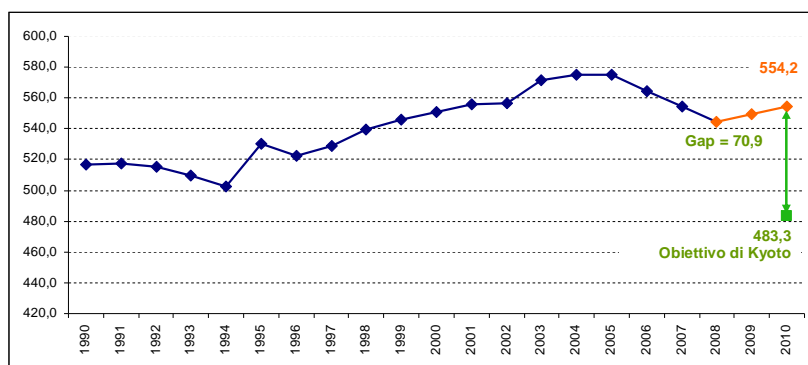


Figura 10. Distanza dell'Italia dagli obiettivi del Protocollo di Kyoto, in Mt di CO₂eq (Fonte: Elaborazione ENEA-ISPRA).

possibile a meccanismi indiretti, come lo sviluppo di fonti rinnovabili all'estero e non all'interno del nostro stesso Paese. L'Italia non ha saputo in alcun modo cogliere l'occasione di tali impegni per rinnovare il sistema energetico con il risultato di

accumulare una crescente distanza dagli obiettivi del Protocollo di Kyoto (figura 10), il che non solo espone il nostro Paese a pesanti penalità economiche, ma accresce anche le difficoltà nel seguire le politiche europee con i ben più incisivi obiettivi per il 2020.

3.6 Mancanza di congruenza con gli impegni europei sull'efficienza

Per molti anni, in Italia, al fine di motivare il modesto impegno profuso nell'efficienza energetica, si è preferito far riferimento a un indicatore economico come l'*intensità energetica del PIL*, piuttosto che a un indicatore fisico come l'*efficienza energetica*. Un simile atteggiamento è fuorviante. Infatti, mentre il primo indicatore dipende in gran parte dal tipo di attività produttive prevalenti nel paese, piuttosto che dall'efficienza dei cicli produttivi, o in ambito domestico dal tipo di clima, piuttosto che dall'efficienza degli impianti di climatizzazione, il secondo si riferisce all'efficienza delle trasformazioni energetiche, delle strutture e dei sistemi.

I paesi che hanno una forte presenza di industria pesante (per es., la Germania con le sue acciaierie) hanno anche una maggiore intensità energetica. Altri che, come l'Italia, hanno invece una struttura

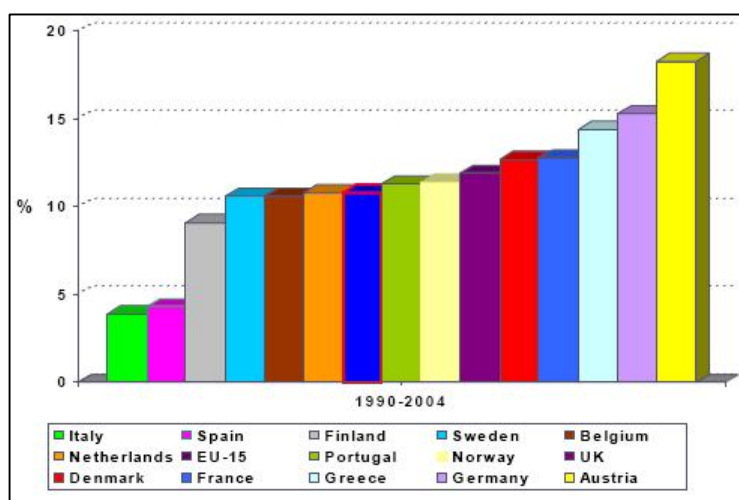


Figura 11. Variazione 1990-2004 nell'efficienza energetica nei Paesi UE15²⁵

produttiva basata prevalentemente su industrie manifatturiere, hanno strutturalmente un'intensità energetica minore, ma non è affatto detto che abbiano anche una maggiore efficienza.

Nella figura 11 si vede come l'Italia, facendosi scudo della "pseudo-virtù" di una bassa intensità energetica, abbia profuso modesti impegni per migliorare la sua efficienza,

²⁵ ADEME, Evaluation of Energy Efficiency in the EU-15: Indicators and Measures, Paris 2007.

risultando il paese che ha compiuto i minori progressi nel periodo 1990-2004.

L'atto più significativo del Governo Italiano in materia di efficienza energetica è senza dubbio il Piano Nazionale, NEEP, del luglio 2007, che contiene tutta una serie di interessanti interventi illustrati in schede di sintesi.

Purtroppo, tra gli aspetti negativi, bisogna anche registrare l'annullamento, da parte del Governo (legge 133/08), dell'obbligo di allegare agli atti di compravendita degli immobili la certificazione energetica, obbligo introdotto con Decreto legislativo 192/2005 di attuazione della la Direttiva europea 2002/91/CE.

Già dal 2004, l'Italia ha introdotto un sistema per promuovere e monitorare i progressi nell'efficienza energetica secondo obiettivi obbligatori fissati per le imprese distributrici di energia. Il sistema ruota intorno all'introduzione di *titoli di efficienza energetica* (TEE), detti *certificati bianchi*. Ogni titolo corrisponde a un risparmio energetico pari a una tonnellata equivalente petrolio (1 TEE ==> 1 tep) I titoli sono emessi dal Gestore del Mercato Elettrico (GME) a favore dei soggetti (per esempio le ESCO²⁶ o le stesse imprese energetiche) che abbiano effettuato interventi di miglioramento

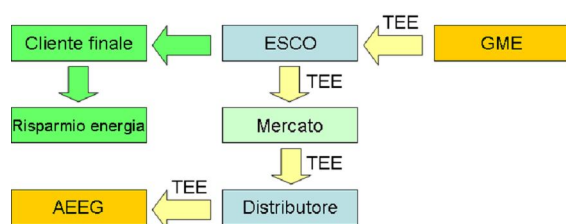


Figura 12. Il meccanismo dei titoli di efficienza energetica.

dell'efficienza energetica secondo i criteri definiti dall'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG) e da essa certificati. I titoli sono negoziabili su un mercato appositamente istituito e organizzato dal GME, o anche su un mercato libero attraverso contratti bilaterali, per garantire che le imprese obbligate al raggiungimento di obiettivi di efficienza possano farlo ai più bassi

costi, acquistando i certificati da soggetti terzi.

L'Autorità eroga i contributi pubblici previsti per i distributori, che oggi ammontano a 100 €/TEE. Il sistema ha, però, un importante difetto che costituisce un freno alle iniziative: mentre i distributori percepiscono un contributo garantito di 100 €/TEE, chi realizza in concreto gli interventi (ESCO) ottiene sul mercato ricavi spesso molto modesti; è evidente che in tale meccanismo, se le ESCO producono interventi ai quali viene riconosciuto un numero di TEE eccedenti la domanda, da parte dei distributori, questi ultimi hanno buon gioco ad abbassarne il prezzo nelle trattative.

Gli obiettivi del Piano Nazionale di Efficienza Energetica (NEEP) italiano sono coerenti con quanto prescritto dalla Direttiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo, che prevede un risparmio energetico del 9% al 2016 rispetto ai consumi medi degli ultimi 5 anni. Essi risultano tuttavia del tutto superati, anche come passaggi intermedi, dalla decisione del Consiglio Europeo di fissare l'obiettivo del 20% al 2020. L'Unione Europea prevede a tal proposito di aggiornare le sue politiche energetiche per renderle coerenti ai nuovi obiettivi.

²⁶ ESCO = Energy Service Company.

4. La proposta del WWF

4.1 Gli obiettivi di fondo

L'Italia, non disponendo di significative risorse energetiche fossili (e tanto meno fissili), è il Paese maggiormente esposto ai rischi insiti nel proseguire la strada delle fonti non rinnovabili.

È chiaro come le poche grandi imprese che controllano il mercato delle risorse fossili e nucleari e i paesi che ne detengono le riserve, pur consapevoli dei limiti fisici inequivocabili delle loro strategie, intendano tuttavia trarre i massimi vantaggi economici ancora possibili.

Viceversa, il nostro Paese è particolarmente avvantaggiato quanto a disponibilità di fonti rinnovabili. La geomorfologia del nostro territorio consente un'invidiabile disponibilità di potenziale idroelettrico, già ampiamente sfruttato ma ancora in grado di fornire ulteriori contributi. La cospicua copertura forestale e la buona produttività agricola garantiscono, inoltre, un'importante disponibilità potenziale di biomasse di scarto e sottoprodotti delle attività primarie.

Siamo, infine, fra i paesi europei più favoriti in quanto a ore di soleggiamento e fra i paesi al mondo con la maggiore disponibilità di risorse geotermiche economicamente utilizzabili. Siamo anche fra i paesi industrializzati che hanno i più bassi consumi pro capite, 3,13 tep, al di sotto della media dei Paesi OCSE (4,7 tep/pro capite anno), pur avendo un potenziale di miglioramento dell'efficienza molto elevato. Tutte queste opportunità che, fino ad oggi, sono state solo in minima parte sfruttate, costituiscono le basi certe, affidabili e durature sulle quali è indispensabile fondare una strategia energetica realistica e a basso rischio, che avvicini il nostro Paese all'autosufficienza energetica. Il primo obiettivo è stabilizzare i consumi, operando sull'efficienza, non solo degli usi finali, ma dell'intero tessuto economico e produttivo, ridefinendone coerentemente obiettivi, strategie e strumenti.

Il secondo obiettivo è ridurre i consumi all'interno di uno schema energetico dotato di elevata resilienza, ovvero capace di adattarsi in tempo reale alle variazioni del contesto economico e sociale nazionale ed internazionale. Un tale sistema deve basarsi sull'integrazione delle diverse fonti endogene e rinnovabili, non soggette a turbolenze di mercato e speculazioni, ma solo a fattori positivi dettati dall'innovazione tecnologica.

La strada fin qui seguita, essendo fondata su fonti non rinnovabili, non può che evolvere verso crescenti difficoltà economiche e ambientali; il costo delle fonti primarie utilizzate (petrolio, gas, carbone, uranio) non può che continuare ad aumentare a causa del persistente incremento della domanda e del progressivo esaurimento delle risorse più accessibili. I costi ambientali connessi

all'utilizzo delle fonti energetiche non rinnovabili (a iniziare da quelli degli impatti del cambiamento climatico), qualora internalizzati²⁷, porrebbero alcune di queste fonti, già oggi, fuori mercato.

Al contrario, il percorso dell'efficienza e delle energie rinnovabili, basandosi su risorse energetiche a costo zero (sole, vento, calore geotermico, maree, ecc.), dipende esclusivamente dalle tecnologie necessarie al loro utilizzo e dall'innovazione delle reti di infrastrutture, fattori caratterizzati da ampi margini di miglioramento connessi allo sviluppo su larga scala. Il costo attualmente superiore di alcune fonti rinnovabili (rispetto a quelle fossili) sta in realtà scendendo rapidamente e si prevede come tali riduzioni di prezzo proseguiranno in maniera significativa nel prossimo futuro.

La strada della sostenibilità, proposta in questo documento, può certamente evolvere verso un continuo miglioramento sociale, economico e ambientale proprio grazie all'integrazione delle attività umane con le risorse disponibili, le caratteristiche ambientali e gli obiettivi sociali, basandosi sul caposaldo delle strategie proattive proposte dal *Millennium Ecosystem Assessment*, ossia il cosiddetto "*regional mosaic approach*". Si tratta, in pratica, di pianificare le attività umane in funzione delle risorse rinnovabili utilizzabili localmente, scegliendo le tecnologie più appropriate in tal senso.

Per uscire dal percorso energetico attuale, ormai privo di prospettive, è necessario smettere di inseguire l'illusione di una crescita illimitata dei consumi, che contrasta con la limitatezza delle risorse del pianeta. Tale illusione è portatrice più di problemi che di benessere. È necessario, invece, ri-orientare il sistema produttivo e gli stili di vita al fine di ottenere il massimo benessere possibile con le risorse a disposizione.

4.2 La strategia

4.2.1 Approccio orientato al miglioramento dell'offerta

Il superamento della logica consumista domanda/offerta passa attraverso fasi progressive di avvicinamento. Il primo passaggio è quello dell'*approccio orientato al miglioramento dell'offerta*, ossia la scelta di fonti primarie di qualità, il più possibile prossima a quella richiesta negli usi finali, evitando, in tal modo, dispersioni e perdite di trasformazione. Si tratta di effettuare interventi che possano integrarsi nell'attuale sistema senza eccessive perturbazioni, costituendone i primi passi di una sua progressiva evoluzione.

Guardare al problema energetico dal punto di vista dell'efficienza ci porta a considerare con attenzione anche la terminologia utilizzata. La termodinamica ci insegna che l'energia non viene mai *prodotta* né *consumata*, bensì può essere solo *trasformata*. Ci dice anche che esiste una gerarchia fra le varie forme di energia: tutte le energie possono essere trasformate completamente in energia termica (calore), ma è impossibile trasformare completamente energia termica in altre forme di energia. Inoltre, in ogni trasformazione da una forma di energia a un'altra, una parte viene dissipata in calore. Ogni volta che

²⁷ Per internalizzazione dei costi ambientali e sociali si intende la loro attribuzione alla causa che li ha prodotti, in questo caso l'energia prodotta. Si veda sull'argomento Nicholas Stern, *The economics of climate change*, Cambridge University Press, 2006.

utilizziamo una forma energia per fornire un lavoro (o un servizio), la parte dissipata come calore non è più utilizzabile per altri scopi.

Non è mai la quantità di energia che diminuisce, ma la possibilità di trasformarla in lavoro.

Per ridurre l'impatto ambientale del sistema un primo passo è, quindi, acquisire energia nella forma più prossima a ciascun uso finale.

Se, per esempio, occorre produrre acqua calda è conveniente utilizzare il calore raccolto da un pannello solare o proveniente da un impianto termico centralizzato (di un edificio o distretto) oppure, se necessario, impiegare direttamente un combustibile; non è mai, però, conveniente utilizzare l'energia elettrica. Infatti, adoperare uno scaldabagno elettrico per produrre acqua calda significa: 1) convertire l'energia chimica di un combustibile in calore ad alta temperatura in una centrale termoelettrica; 2) usare questo calore per produrre energia elettrica tramite la trasformazione intermedia in energia meccanica (turbine), con un rendimento del 35-40%, mentre il restante 60-65% dell'energia termica prodotta va dissipata come calore a bassa temperatura; 3) trasportare l'energia elettrica dalla centrale alla nostra casa, lungo elettrodotti con ulteriori perdite che possono giungere al 10%; 4) riconvertire l'energia elettrica in calore.

Il risultato di tutte le ottimizzazioni sul lato delle forniture sarà una stessa quantità di energia dispersa in uscita ma un minore impiego di fonti primarie per produrre l'input di forniture: ne consegue quindi minori spese e minor impatto ambientale.

Andando a vedere, per esempio, l'incidenza di ciascuna forma di energia negli usi finali domestici, (figura 13) notiamo come l'elettricità incida solo per circa il 15%; il resto degli usi finali è costituito da calore prevalentemente a bassa temperatura, cioè quello più facilmente ottenibile da fonti rinnovabili. In contrasto con la grande enfasi solitamente posta nella produzione di elettricità, anche negli usi finali dell'industria la forma energetica principale è il calore di processo, con una prevalenza delle basse temperature ma con una maggiore esigenza di medie e alte temperature, rispetto agli usi domestici. Il problema energetico, contrariamente a quanto solitamente si creda, non è un problema di

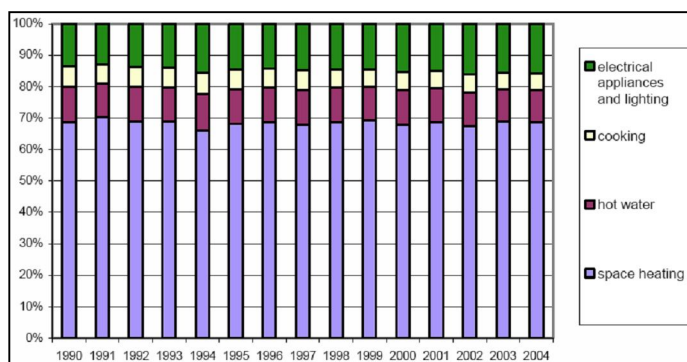


Figura 13. Ripartizione degli usi finali nel settore domestico (Fonte: ENEA: Energy efficiency policies and measures in Italy 2006, EU Project ODYSSEE-MURE).

produzione di elettricità bensì di fornitura di calore, e questa considerazione cambia molto il quadro strategico. All'atto pratico si tratta di diffondere in alcuni casi, accanto alle reti di distribuzione esistenti di elettricità e gas, reti locali di distribuzione del calore prodotto da impianti di cogenerazione ad alimentazione mista gas-biomasse-geotermia e, in

molti altri casi, di permettere al singolo utente di attingere direttamente a fonti di calore rinnovabile come quello solare e geotermico.

Questi sistemi, entro il 2020, devono portare al soddisfacimento di almeno il 20% del fabbisogno nazionale di calore a bassa temperatura. Tale intervento produrrebbe un primo affiancamento di reti locali di distribuzione dell'energia alla rete nazionale. Il finanziamento di tali reti dovrebbe essere pubblico, come è sempre avvenuto per tutte le infrastrutture a rete, sia nel settore energetico sia nei trasporti. Si consideri che l'assenza di tali reti costituisce l'unico freno per l'applicazione di queste soluzioni efficienti e già economicamente competitive.

4.2.2 L'approccio orientato all'ottimizzazione degli usi finali

Una volta create le infrastrutture, cioè le reti locali, nasce spontaneo l'interesse generale e individuale a ottimizzarle grazie alle grandi opportunità di miglioramento che scaturiscono dalla cosiddetta "filiera corta dell'energia", basata sulle trasformazioni energetiche di prossimità. La prossimità con l'utenza finale consente la reciproca "specializzazione" in termini di tempi e qualità di forniture e usi finali. Il sistema acquisisce una capacità co-evolutiva verso traguardi sempre più alti d'integrazione ed efficienza.

Quando ci si comincia a occupare dell'efficienza degli usi finali, spostando l'attenzione dall'energia in quanto bene commerciale ai servizi energetici che si vogliono ottenere, le prospettive di miglioramento crescono notevolmente. Un ulteriore significativo contributo può, inoltre, derivare dal miglioramento dell'efficienza delle apparecchiature utilizzate. L'interesse non è più stabilire di quanto calore o elettricità abbiamo bisogno, ma decidere quali sono i servizi che si vogliono ottenere, usando questa energia²⁸, e individuare la soluzione migliore per fornire o acquisire tali servizi.

Sostituendo le apparecchiature elettriche attualmente in funzione con quelle più efficienti esistenti sul mercato, nei settori domestico, industriale e terziario, entro il 2020, in Italia si potrebbero risparmiare ben 138 miliardi di chilowattora (kWh) l'anno, pari al 40,7% dei consumi totali di elettricità nel 2006²⁹.

4.2.3 L'approccio di sistema

Nel 2020 la generazione distribuita, basata prevalentemente su fonti rinnovabili, attraverso le *smart grid*³⁰, dovrà coprire almeno il 50% del fabbisogno energetico nazionale. Sarà allora possibile passare alla fase definitiva di realizzazione di un sistema economico sostenibile da completarsi entro il 2050,

²⁸ In casa per esempio c'è bisogno di luce, vogliamo ascoltare musica, usare il computer, conservare il cibo, avere piatti e vestiti puliti, una temperatura gradevole sia in estate che in inverno, e poi abbiamo bisogno di spostarci, ecc. In un distretto industriale serve elettricità per i macchinari, luce, trasporto di merci, calore di processo, ecc. Possiamo allora risparmiare energia usando le apparecchiature più efficienti per ottenere questi servizi

²⁹ "La rivoluzione dell'efficienza", Greenpeace ed Energy Research Group del Politecnico di Milano, febbraio 2007

³⁰ Reti di distribuzione dell'energia ad alta efficienza, dette "intelligenti" nel senso che sono in grado di distribuire con continuità agli utenti energia da fonti discontinue proveniente da una molteplicità di piccoli e medi impianti.

che dovrà consentire, all'intera popolazione italiana, un elevato livello di benessere attraverso l'utilizzo di non più di 2 tep/anno pro capite di energia. Tale fase comporta l'integrazione su scala locale dei flussi di materiali e energia con le attività economiche e i servizi richiesti. Si tratta in altri termini di passare a una pianificazione iterativa, per affinamenti successivi, su scala locale, capace di modulare domanda e offerta in modo coerente con la disponibilità di risorse e servizi ecosistemici. Si tratta di passare definitivamente a un approccio di sistema (figura 14) che somma al vantaggio dell'efficienza delle apparecchiature (linea tratteggiata), quello dell'integrazione (freccia gialla). In questo modo è possibile ottenere risultati significativi e stabili in termini di risparmio energetico e riduzione delle emissioni di CO₂ in quanto, come avviene per i sistemi biologici, si ottiene il prolungamento della circolazione dell'energia e dei materiali all'interno del sistema stesso, prima che essi ne escano come scarti. Per esempio, nel caso di un distretto industriale, l'energia in uscita da un'apparecchiatura, che usa calore ad alta temperatura, può facilmente essere utilizzata per alimentare un processo che richiede calore a bassa temperatura. Attraverso un'accurata revisione dei processi applicati nel distretto industriale, è possibile attuare il riciclaggio di materiali fra le diverse attività, riducendo la produzione di rifiuti. I processi industriali possono essere rimodulati per ottimizzare gli scambi di materiali e di energia all'interno del sistema, ancora una volta in modo analogo a quanto accade negli ecosistemi. Questo genere di ottimizzazione può essere fatta in qualsiasi ambito, dalle abitazioni ai trasporti.

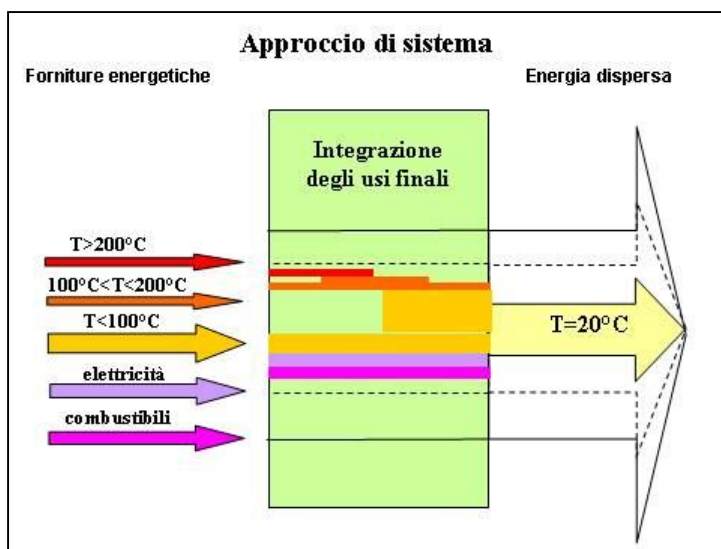


Figura 14. Approccio di sistema.

Attraverso un coordinamento continuo fra domanda e offerta, il sistema deve riuscire a modulare l'apporto delle singole fonti in maniera ottimizzata rispetto all'energia richiesta e a integrare le diverse richieste di energia per evitare picchi di carico che costringerebbero a un sovradimensionamento degli impianti di accumulo.

Un sistema integrato come quello descritto può fornire

contemporaneamente una molteplicità di servizi energetici. Inoltre, l'integrazione di diverse fonti rinnovabili offre all'utente: a) garanzia di flessibilità alle variazioni della domanda; b) affidabilità, in quanto le diverse fonti si compensano reciprocamente in caso di situazioni di criticità per qualcuna di esse; c) economicità, soprattutto per l'indipendenza da fattori di carattere geopolitico; d) resilienza, cioè minore vulnerabilità sia tecnologica sia economica, attraverso una capacità di reazione e adattamento molto elevata a fattori esterni di criticità improvvisa.

4.3. Obiettivi di riduzione dei consumi

4.3.1 L'elettricità

Nel gennaio 2009 i consumi elettrici sono calati dell'8,5%, rispetto al gennaio 2008. Si tratta di una situazione assolutamente eccezionale che rende difficile qualsiasi previsione sull'andamento futuro dei consumi, facendo risultare piuttosto aleatori anche gli scenari consolidati su cui lavorano le istituzioni energetiche nazionali e internazionali. Un trend che si può ipotizzare fino al 2020 è quello di una sostanziale stabilità della richiesta³¹ di elettricità ai livelli del 2006, cioè circa 339 TWh³². Dal momento che tale stabilizzazione non è legata a un miglioramento dell'efficienza, ma alla crisi economica, si può ipotizzare di poter ridurre i consumi energetici al 2020 utilizzando il potenziale di 138 TWh (vedasi nota 26). Si tratta di un potenziale realizzabile attraverso interventi di efficienza degli usi finali, e non sul sistema energetico produttivo, quindi facilmente attuabili nell'immediato. Supponendo di risparmiare il 50% di questo potenziale entro il 2020, si arriverebbe a un consumo di 270 TWh, ossia una riduzione del 20%, perfettamente in linea con gli obiettivi UE. Ipotizzando di utilizzare il resto del potenziale di risparmio nel decennio successivo, al 2030 si avrebbe un consumo di elettricità di 201 TWh. Nel frattempo il superamento della crisi economica potrebbe portare a una ripresa dei consumi che dovrebbe essere compensata in via definitiva da interventi di efficienza di sistema, riguardanti cioè la diffusione di sistemi energetici integrati di alta efficienza, su scala locale.

4.3.2 I trasporti

I trasporti assorbono circa il 31% dei consumi energetici nazionali.

Il trasporto merci in Italia³³ si svolge (dato del 2007) per il 65% su strada, il 19% via mare, l'11% su ferrovie e lo 0,5% per via aerea, oltre a un 4,5% in oleodotti.

Le persone si muovono per il 92,2% su strada, per il 5,8% su ferro, per l'1,6% in aereo e per lo 0,4% in nave.

Si vede come su entrambi i fronti sia largamente prevalente il trasporto su strada, sebbene spostare una merce o una persona richieda su ferrovia la metà dell'energia e via mare circa 1/5.

Se l'Italia, che gode geograficamente da nord a sud di due grandi percorsi marittimi, l'Adriatico e il Tirreno, spostasse, entro il 2020, il 10% delle merci dalla strada al mare e il 10% fra merci e persone dalla strada alla ferrovia, potrebbe risparmiare circa 7 Mtep. Se, entro il 2030, il 50% delle merci e delle persone viaggiassero su mare e su rotaia il risparmio arriverebbe a circa 16 Mtep.

Approssimativamente l'82% degli spostamenti di persone avviene su mezzi privati, a fronte di un modestissimo 1,8% coperto dal trasporto collettivo urbano. Una fonte di risparmio, raramente presa in considerazione, è il trasferimento di una percentuale significativa del traffico urbano dalla modalità

³¹ La richiesta tiene conto dei consumi più le perdite di rete.

³² 1 TWh=1 miliardo di kWh.

³³ Tutti i dati di questo paragrafo sono tratti da: Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti: Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti - Anni 2006-2007 Roma - Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

dell'auto individuale, a quella del trasporto collettivo (autobus e metropolitane). Ulteriori benefici potrebbero derivare dal ricorso al “car-sharing³⁴”, al “car-pooling³⁵” e dalla restrizione della circolazione urbana alle auto elettriche, alle auto ibride (in modalità solo elettrica) e alle biciclette. Tale trasferimento, con percentuali pianificabili e quantificabili annualmente, comporterebbe non solo un risparmio notevole di combustibile, ma apporterebbe anche vantaggi ambientali quanto mai importanti. Annualmente in Italia circa 5.000 persone muoiono per incidenti stradali e ancor più per malattie causate o aggravate dall'esposizione ai gas di scarico degli autoveicoli.

Prima ancora dei suddetti provvedimenti sarebbe necessario ridurre l'enorme numero di spostamenti non necessari e resi obbligati da una cattiva organizzazione dei servizi sociali, sanitari, burocratici e amministrativi, oltre che da un'irrazionale distribuzione urbana di servizi commerciali e ricreativi. In definitiva, si propone la diffusione di una “urbanistica sostenibile” in cui le città, oggi ridotte a spazio/ostacolo da attraversare il più in fretta possibile, tornino ad assolvere la loro funzione storica di luoghi di socializzazione.

4.4 Le fonti

4.4.1 L'energia solare fotovoltaica

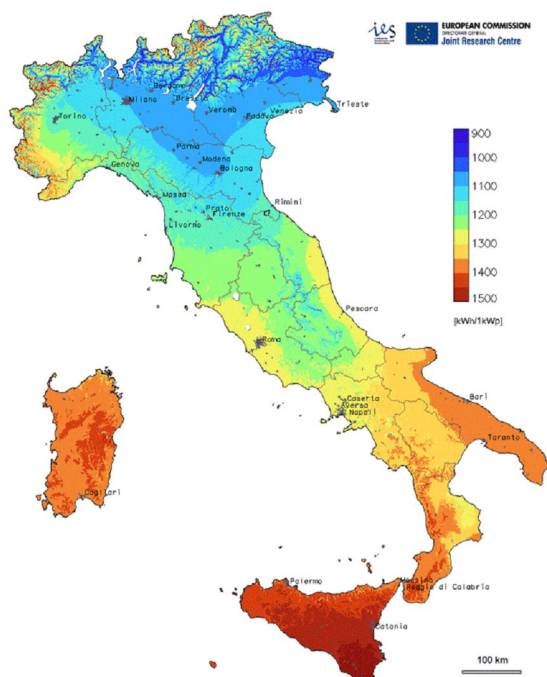


Figura 15. Energia producibile in un anno da un modulo fotovoltaico di 1kWp (chilowatt di picco).

Dalle mappe delle figure 15 e 18 si vede come l'Italia abbia il potenziale fotovoltaico più alto fra i paesi UE, confrontabile solo con quello di Grecia, Portogallo e Spagna. Basterebbe coprire di pannelli fotovoltaici lo 0,8% del territorio italiano per soddisfare il 100% dei consumi nazionali di elettricità³⁶ e per farlo sarebbe sufficiente occupare le superfici già costruite o cementate. In termini di produzione, al contrario, l'Italia, con i suoi 320 MW è assai lontana dagli oltre 5.300 MW installati nella poco soleggiata Germania. Il nostro Paese possiede, quindi, un potenziale di sviluppo e diffusione di questa tecnologia molto elevato, a fronte di un ruolo

³⁴ Auto pubbliche a disposizione dei cittadini in parcheggi di scambio, dietro il pagamento di un abbonamento

³⁵ Condivisione dello stesso veicolo privato da parte di cittadini che quotidianamente compiono lo stesso percorso casa/lavoro

³⁶ Il dato è estratto da Armaroli N., Balzani V., Energia per l'astronave Terra, Zanichelli, 2008, pag 159, (fonte citata Solar Energy, 2007, 81, 1295-1305).

assolutamente irrilevante in un mercato di produzione di pannelli che, per oltre il 70%, è coperto da soli tre Paesi: Cina, Giappone e Germania.

A livello mondiale, le previsioni di crescita del settore sono estremamente promettenti. È possibile attendersi un incremento della potenza installata con tasso annuo fra il 20 e il 30% nel periodo 2010-2020 e fra il 10 e il 20% nel decennio 2020-2030, con il dato più alto relativo all'ipotesi che vengano mantenuti i sistemi di incentivazione attualmente in vigore. In uno scenario di consumi contenuti grazie a un forte impegno sul fronte dell'efficienza energetica e al mantenimento delle sovvenzioni pubbliche, il fotovoltaico arriverebbe a coprire circa il 14% del fabbisogno mondiale di elettricità, che corrisponde quasi al contributo offerto oggi dall'energia elettrica prodotta dal nucleare, attivando un mercato che potenzialmente può raggiungere nel 2030 un valore di oltre 450 miliardi di euro e produrre occupazione per circa 10 milioni di persone³⁷.

L'Italia, con il suo elevato potenziale di ore di sole sfruttabili, dovrebbe cogliere questa grande opportunità e assumere un ruolo importante in questo scenario, sia come utilizzatore sia come produttore di celle fotovoltaiche.

Si tratta inoltre di una fonte energetica il cui costo di utilizzo dipende esclusivamente da tecnologie che hanno un enorme potenziale d'innovazione e che si basano su materie prime abbondanti.

L'introduzione di nuove tecniche di produzione delle celle fotovoltaiche e di nuovi materiali utilizzabili per la loro realizzazione, in parte già a uno stadio avanzato di sperimentazione, fanno supporre un aumento del potenziale di sfruttamento, sia per il miglioramento del fattore di conversione della luce solare in elettricità, sia per la possibilità che i nuovi materiali hanno di rendere disponibili più ampie superfici di edifici e manufatti. Mentre le fonti non rinnovabili hanno solo prospettive di aumento dei costi, l'elettricità prodotta dal

fotovoltaico non può che continuare a diminuire rapidamente grazie all'avvento delle nuove tecnologie in corso di sperimentazione.

Ovviamente, il costo del kWh prodotto non dipende solo dalla tecnologia, ma anche dalle ore di sole del luogo in cui il pannello è installato. Come si vede in figura 15, gran parte dell'Italia centro meridionale ha una situazione di soleggiamento che la pone verso il limite inferiore dei costi indicati dalla fascia verde di figura 16; il kWh prodotto da fotovoltaico, in ampie zone della Sicilia e della Sardegna, risulta già competitivo con le centrali turbogas usate per far fronte ai picchi di domanda (fascia rossa). La

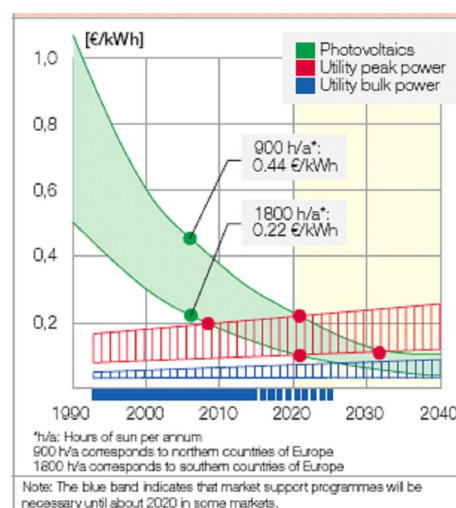


Figura 16. Andamento del costo del kWh fotovoltaico (Fonte: EPIA cit.)

³⁷ Fonte: EPIA, European Photovoltaic Industry association: Solar Generation V – 2008

competitività piena con le centrali convenzionali avverrà per l'Italia fra il 2025 (nelle aree del centro sud) e il 2035 (nel nord).

Nel 2005 il fotovoltaico in Europa è cresciuto con un tasso medio del 50%; in Italia nel 2008 la potenza installata è cresciuta del 215% rispetto all'anno precedente, raggiungendo i 260 MWp³⁸. Nel periodo 2010-2020, il nostro Paese potrebbe raggiungere una potenza installata di almeno 16.000 MWp³⁹, oltre 4 volte superiore alla potenza installata in Germania al 2007, in grado di coprire circa l'8% dei consumi previsti nel nostro scenario di efficienza. Questo rappresenta un obiettivo minimale che l'Italia deve perseguire, investendo nella ricerca e avviando progressivamente una filiera nazionale di produzione delle celle. Una crescita di appena il 10% annuo nel decennio 2020-2030, ci porterebbe nel 2030 a una potenza installata di oltre 40.000 MWp, in grado di produrre circa 50 TWh pari al 25% dei consumi previsti nel nostro scenario di efficienza. L'obiettivo del decennio 2020-2030 è basato sul fatto che, a partire dal 2025, le condizioni di soleggiamento renderanno progressivamente il fotovoltaico competitivo con le fonti convenzionali su tutto il territorio italiano, con circa 10 anni di anticipo rispetto alla Germania e agli altri Paesi nord europei. Ciò porta a supporre come molte imprese europee troveranno conveniente realizzare i loro impianti in Italia. Si noti anche che un simile risultato (50 TWh) corrisponde all'energia prodotta da 7 centrali nucleari del tipo di quelle che il Governo vorrebbe acquistare dalla Francia! Questo dato conferma l'inutilità di ricorrere al nucleare.

³⁸ Fonte GSE, Gestore dei Servizi Elettrici, risultati conto energia al 31 dicembre 2008.

MWp, Megawatt di picco, viene usato per indicare la potenza erogata da un modulo o da una cella fotovoltaica se sottoposti alle condizioni standard di irraggiamento di 1000 W/m², temperatura di cella di 25°C

³⁹ Fonte CNES, Rapporto preliminare sullo stato attuale del solare fotovoltaico nazionale.

4.4.2 L'energia solare termica

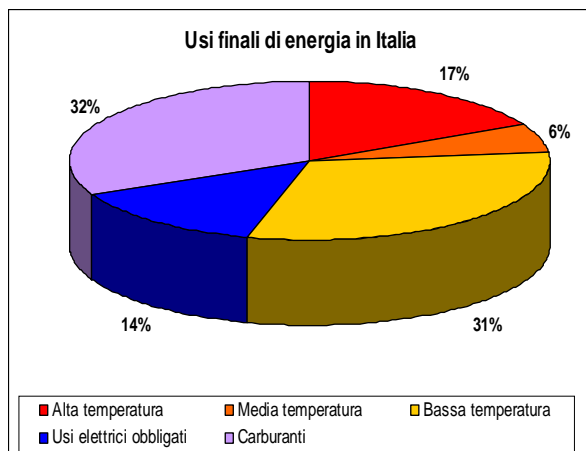


Figura 17. Ripartizione degli usi finali complessivi di energia

Fra gli usi finali di energia ben il 54% è calore, di cui il 31% è a bassa temperatura, agevolmente producibile grazie all'energia solare; quest'ultima, con le opportune tecnologie, può soddisfare anche quel 6% costituito da calore a media temperatura. Si tratta di 68 Mtep che rappresentano il ricco bacino potenziale che l'energia solare può erodere sottraendolo alle fonti fossili. Il solare termico in Italia, negli ultimi 10 anni, ha avuto una crescita molto modesta, di circa il 15%/anno⁴⁰ addirittura minore della media mondiale (20%). Nel 2005, erano installati in

Italia impianti termici solari con una potenza complessiva di 406,7 MWth⁴¹ e nel 2020, secondo il già citato studio della CNES, si potrebbe raggiungere una potenza di 39.551 MWth. L'energia solare termica potrebbe, inoltre, soddisfare una quota di domanda di raffrescamento, attraverso sistemi frigoriferi ad assorbimento, contribuendo a ridurre anche la relativa quota di elettricità che oggi viene spesa per questo scopo.

Un contributo al soddisfacimento dei consumi elettrici potrebbe venire dal solare termodinamico, efficacemente sfruttabile in alcune regioni meridionali dotate di adeguati livelli di soleggiamento.

Nello scenario di riduzione dei consumi, proposto nei precedenti paragrafi, si potrebbe ottenere, entro il 2030, una riduzione loro pari al 35%, rispetto a quelli attuali, portando i consumi nazionali complessivi a 120

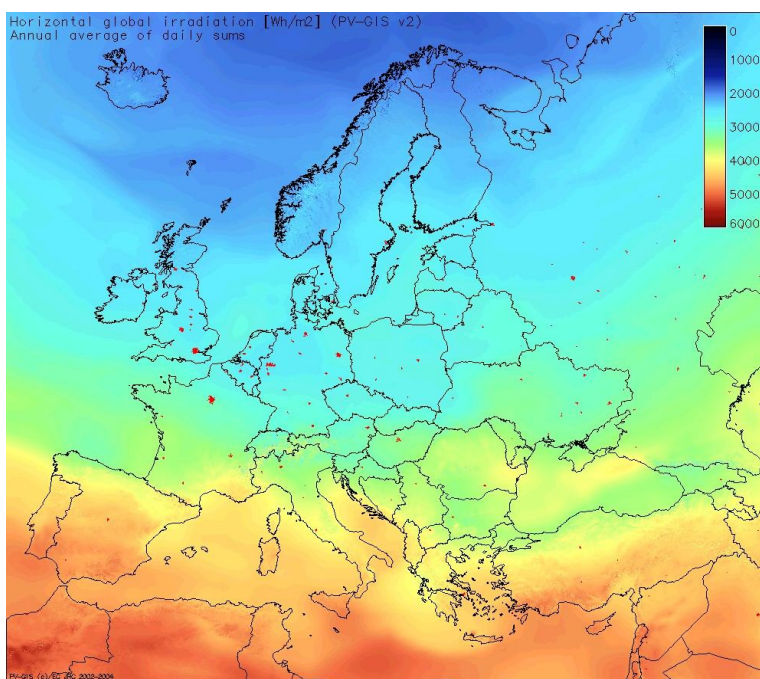


Figura 18. Carta del soleggiamento

⁴⁰ CNES, Commissione Nazionale per l'Energia Solare, Rapporto preliminare sullo stato attuale del solare termico nazionale, anno 2007 (? non riportato sul documento).

⁴¹ MW_{th} (megawatt termico) = 1000 chilowatt termici.

Mtep. Considerando accanto alla produzione solare termica anche il contributo al raffrescamento e alla produzione di elettricità tramite il solare termodinamico, è possibile ipotizzare che il fabbisogno energetico nazionale, nel 2030, per almeno il 30% potrebbe essere soddisfatto con energia solare termica.

4.4.3 L'energia geotermica

L'impiego a scopi energetici del calore geotermico si è sviluppato in Italia fin dai primi anni del '900, sfruttando i giacimenti di vapore ad alta temperatura per produrre elettricità. Tuttavia, nel nostro Paese, è stata totalmente trascurata la parte maggiore del potenziale geotermico, quella del calore a temperature inferiori ai 100°C, utile per tutti quegli usi termici che costituiscono, fra industria, commercio, agricoltura e settore domestico, quasi il 60% degli usi finali di energia. La geotermia è un'altra fonte di cui il nostro Paese è eccezionalmente dotato, come si vede dalla cartina di figura 19.

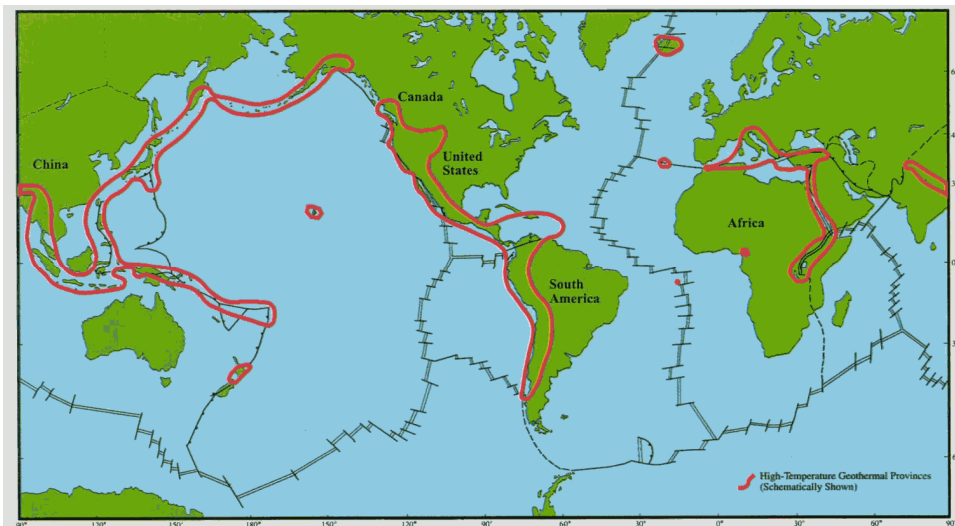


Figura 19. Aree di particolare interesse geotermico.

Proprio sotto la città di Roma, a una profondità di appena 40-50 m, si trova acqua fra i 18 e i 20°C, con punte di calore che, in alcune zone, sono superiori ai 45°C. Con un modesto impiego di elettricità, attraverso una “pompa di calore” (o con un minimo ausilio di un combustibile), questa fonte rinnovabile potrebbe essere utilizzata per fornire acqua calda per il riscaldamento invernale, per gli usi sanitari, per alimentare sistemi di condizionamento estivo ad assorbimento e per fornire calore di processo per le attività produttive.

Nel mondo, le pompe di calore sono la tecnologia più utilizzata tra gli usi non elettrici della geotermia (56%). Esistono ormai decine di migliaia di applicazioni di questo genere coronate da successo, sia sul piano economico sia ambientale.

Il calore viene estratto da acquiferi poco profondi, terreno e masse d'acqua superficiali. La temperatura necessaria è notevolmente inferiore a quella degli usi diretti della geotermia: sono, infatti, sufficienti i 10-15°C presenti costantemente durante l'anno. L'applicazione più diffusa delle pompe

geotermiche ad acqua prevede una perforazione nel terreno per una profondità variabile fino a 100 m. In Svizzera, in diverse città, questi sistemi utilizzano addirittura il calore presente nelle reti fognarie (15°C in media).

Per funzionare la pompa di calore utilizza modeste quantità di energia elettrica che, dove possibile, potrebbe essere fornita da pannelli solari fotovoltaici. Il rendimento energetico, tra l'energia elettrica utilizzata e l'energia termica fornita, è elevatissimo: si ottiene, sotto forma di calore, circa 4-5 volte l'energia assorbita sotto forma di elettricità.

Il sistema è costituito da: uno scambiatore di calore (immerso nel pozzo), la pompa di calore, un serbatoio d'acqua calda e un sistema di distribuzione (solitamente a pannelli radianti). Questo funziona sulla base dello stesso principio di tutti i sistemi di refrigerazione che estraggono calore da uno spazio a temperatura minore e lo scaricano in un altro a temperatura maggiore. La differenza sta solo nell'effetto cercato: invece che per abbassare la temperatura dell'ambiente di partenza, la pompa di calore, in inverno, lavora per innalzare la temperatura dell'ambiente di arrivo. La potenza tipo di un'unità adatta al riscaldamento di un'abitazione è di 10-12 kW. Attualmente in Italia sono installate circa 6.000 unità e il loro numero aumenta a un ritmo di 500 unità l'anno.

Gli abbondanti giacimenti di calore a bassa temperatura potrebbero soddisfare gran parte del fabbisogno termico nazionale, andando a integrare il solare termico in una gran quantità di applicazioni. In Italia, per il riscaldamento degli ambienti, nel 2005, si sono impiegati 33 Mtep, ottenuti per il 74,58% dal gas naturale, per il 20,67% da gasolio, per il 4,73% da fonti rinnovabili e per lo 0,2% da carbone. Questa energia può essere in gran parte soddisfatta con il ricorso a pompe di calore geotermiche.

Oggi in Italia (dato del 2005) si utilizzano appena 104,4 ktep (migliaia di tep) di energia geotermica di bassa temperatura. Nel 2020 questo contributo potrebbe salire a 1,8 Mtep e nel 2030 a 20 Mtep. Quindi, entro il 2030, il 50% del fabbisogno energetico potrebbe essere coperto dalla geotermia e dal solare termico.

4.4.4 L'energia eolica

L'energia eolica sfruttabile in centrali di grande potenza, è disponibile solo in limitate aree del territorio; in Italia, i campi eolici di maggiore interesse sono stati identificati sulla dorsale appenninica; attualmente scarsa considerazione è stata data alle potenzialità *off-shore* a causa dei costi più elevati di installazione. In entrambi i casi, l'impatto ambientale e paesaggistico non può essere trascurato. Tuttavia l'energia eolica costituisce una opportunità irrinunciabile per fronteggiare i cambiamenti climatici.

Nel 2008, l'Italia ha prodotto oltre 6 TWh di elettricità da fonte eolica in grandi impianti e potrebbe arrivare, entro il 2020, a 27,2 TWh (circa 2,3 Mtep). Fra il 2020 e il 2030 si potrebbe cominciare a esplorare il grande potenziale dei venti di media e bassa intensità con piccoli impianti integrati con altre rinnovabili nelle *smart grid* previste.

4.4.5 L'energia idroelettrica

L'energia idroelettrica nel 2007 ha coperto in Italia circa il 10% della domanda di elettricità, con oltre 17.000 MW installati, che hanno prodotto circa 32,8 TWh. Mentre non è auspicabile, per motivi ambientali, la realizzazione di altre grandi dighe, lo sfruttamento ambientalmente sostenibile di piccoli salti idraulici potrebbe portare, entro il 2020, a una crescita della potenza installata. Il cambiamento climatico tuttavia potrebbe causare variazioni importanti nei regimi idraulici di molti bacini nazionali, con effetti ancora non stimati sul potenziale idroelettrico. D'altro canto, per far fronte all'estremizzazione prevista delle precipitazioni stagionali, si può pensare come, fra le iniziative di adattamento, vi sia anche la realizzazione di bacini di accumulo delle acque a fini potabili o irrigui, che creerebbero anche nuove opportunità di sfruttamento energetico. Iniziative del genere sono attualmente non quantificabili e, comunque, relative al decennio 2020-2030.

4.4.6 Le biomasse

Per biomasse s'intendono tutte le sostanze di origine biologica (vegetali e animali) utilizzabili a fini energetici. La Direttiva 2001/77/CE del Parlamento e del Consiglio sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità, all'Art. 2, lettera b) definisce le biomasse come: "La parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani".

A seconda di come il combustibile viene convertito in energia, le biomasse possono essere usate per produrre direttamente calore o convertite in elettricità, gas o combustibili liquidi per trasporto. La bioenergia ha un ruolo importante nel bilancio energetico mondiale: secondo il *Key World Energy Statistics 2008* dell'*International Energy Agency* questa contribuisce per circa il 10% (quota in cui sono però compresi, in modo improprio, anche tutti i rifiuti) dell'energia primaria totale. Questa è impiegata principalmente nei Paesi in via di sviluppo, mentre in quelli industrializzati il contributo delle biomasse alla domanda energetica mediamente non arriva al 3%.

Le foreste italiane presenterebbero un volume complessivo di legname stimabile in 1,5 miliardi di m³, con un accrescimento annuo di circa 30 milioni di m³ (UN-ECE/FAO, 2000). In media nel nostro Paese si stima si utilizzino circa 9 milioni di m³ di legname, pari a circa il 30% dell'accrescimento forestale annuo (fonte CFS 2000). Di questi 5,4 milioni di m³ sono costituiti da legna da ardere e 3,6 milioni di m³ di legname per opera. Secondo alcune stime ITABIA (Rapporto 2003), la quantità di legname potenzialmente estraibile annualmente in Italia ammonterebbe a 25 milioni di m³. Escludendo la frazione da destinare ad altri impieghi, resterebbero circa 18 milioni di m³/annui, l'equivalente energetico di 4 Mtep/anno. A questi, sempre secondo ITABIA, si potrebbero aggiungere 4 milioni da coltivazioni dedicate, 7 milioni da residui agricoli e industriali e 8 milioni di biogas da discarica e da zootecnia per complessivi 23 Mtep. Negli scenari conclusivi di ITABIA, viene proposto un possibile

impiego della biomassa per meno del 50% del potenziale identificato⁴². Tale stima decuplica l'attuale generazione da impianti a biomassa in Italia assestandosi tra i 40 e i 50 TWh.

Secondo il WWF la capacità produttiva di risorsa legnosa da destinare a usi energetici deve essere strettamente connessa alla corretta gestione delle foreste italiane, in considerazione degli aspetti di conservazione del patrimonio boschivo e di biodiversità esistenti e del mantenimento delle funzionalità degli ecosistemi direttamente o indirettamente coinvolti.

L'Italia ha un consumo energetico specifico di circa 7 kWh/anno per metro quadrato di territorio, incompatibile con l'energia recuperabile da un metro quadrato di terreno coltivato a biomassa, che potrebbe rendere annualmente mediamente 2 kWh elettrici e 4 kWh termici, cioè meno del fabbisogno necessario.

Le biomasse, per il fatto di poter essere immagazzinate, possono diventare strategiche per compensare parte della discontinuità intrinseca dell'energia solare ed eolica, piuttosto che per produrre energia di base.

Solo nelle situazioni in cui vi sia una potenzialità di produzione locale adeguata a quote significative di domanda energetica, le biomasse potrebbero essere usate per la produzione combinata di calore ed elettricità (co-tri-generazione) in moderni impianti di piccole dimensioni, secondo un concetto di filiera corta: la movimentazione eccessiva delle biomasse non solo ne aumenta i costi ma, soprattutto, ne rende negativi i bilanci energetici e ambientali.

In un quadro generale che tenga conto anche della limitatezza delle risorse e della disponibilità di terra, il WWF ritiene che le bioenergie dovrebbero svilupparsi nel rispetto dei seguenti punti:

- ogni singola iniziativa deve essere sottoposta preventivamente a un accurato bilancio energetico (conteggio dell'energia spesa e ricavata) e di emissioni relativo all'intera filiera (coltivazione, lavorazione dei prodotti, trasporto, uso finale);
- la comunità locale dovrà essere coinvolta nei processi decisionali;
- nessun progetto può essere accettato se genera rischi per la biodiversità, precisando che la salvaguardia delle specie animali e vegetali è un valore primario; a tal fine devono essere escluse da ogni progetto le attuali aree coperte da foreste primarie e quelle a più elevato valore di biodiversità;
- il prelievo dei residui forestali a scopo energetico deve garantire il mantenimento delle funzionalità essenziali degli ecosistemi interessati (stabilità dei versanti, caratteristiche pedologiche, cicli idrologici, ecc.);
- per quanto riguarda le biomasse legnose va garantito un approvvigionamento sostenibile e da aree prossime a quelle di utilizzo, affinché il trasporto non comprometta il bilancio energetico; ciò comporta anche l'eliminazione del rischio d'importazione di risorse legnose di

⁴² Ministero dell'Ambiente e ITABIA, 2003 - Le biomasse per l'energia e l'ambiente - Rapporto 2003

provenienza illegale o frutto di processi di deforestazione; le colture devono dimostrare inoltre di essere gestite in maniera sostenibile attraverso la certificazione FSC;

- andrà limitata al massimo la competizione tra colture alimentari e energetiche. In ogni caso andranno privilegiate le prime rispetto alle seconde, essendo il diritto all'alimentazione elemento imprescindibile per uno sviluppo sostenibile;
- piante geneticamente modificate non devono essere utilizzate a scopi energetici;
- deve essere posto un limite superiore alla fertilizzazione chimica;
- devono essere privilegiate le colture energetiche a più alta resa (tonn/ha/anno) e a più basso impatto ambientale; a tale riguardo è noto come i biocarburanti (per es., il biodiesel) abbiano una bassa resa per ettaro (per es., la colza ha circa 0,7-1 tonn/ha/anno). In Italia solo per i trasporti si consumano 45 Mtep l'anno di carburante;
- per ogni progetto per bioenergie su estensioni superiori a 100 ettari (ossia circa 100 mila kg di biodiesel, circa 100 Tep annui) deve essere preventivamente effettuata una valutazione di impatto ambientale da parte di esperti indipendenti, per valutare i rischi ecosistemici (in particolare: erosione, riduzione della biodiversità, aumento della diffusione di malattie delle piante a causa della semplificazione operata, inquinamento delle acque superficiali e profonde a causa della coltivazione e delle operazioni di trasformazione della biomassa in combustibile);
- si deve limitare il commercio mondiale di biomasse a uso energetico e di biocarburanti per evitare che alcuni paesi diventino produttori/esportatori di energia per paesi ad alto consumo, accollandosi i pesanti bilanci ambientali e sociali; in ogni caso, l'importazione di bioenergie deve essere preventivamente sottoposta a un bilancio energetico comprensivo del trasporto;
- nessun programma di importazione di biocarburanti deve essere accettato se genera un aumento dell'erosione del suolo (per es., aumento della superficie a canna da zucchero al posto di quella della foresta, come sta avvenendo in Brasile o della palma da olio nel sud est asiatico);
- gli aspetti paesaggistici dovranno essere attentamente considerati.

In ogni caso, deve essere posta particolare attenzione alle fonti di approvvigionamento attraverso una chiara certificazione di provenienza, escludendo dal mercato quei paesi o quelle aree geografiche dove si siano evidenziati crescenti fenomeni di commercio illegale e dove studi abbiano verificato la crescente avanzata di processi di deforestazione che rischiano di compromettere ulteriormente il mantenimento di interi ecosistemi forestali.

Discorso a parte va fatto per il biogas. Negli ultimi dieci anni la digestione anaerobica di scarti organici si è diffusa in molti Paesi europei, tra i quali l'Italia, allo scopo di recuperare energia. Il recupero di biogas dalle discariche per rifiuti urbani rappresenta in Europa, e in particolare in Gran Bretagna, la più importante fonte di energia alternativa da biomasse, con oltre 450 impianti operativi.

Il biogas può essere generato anche da quelle biomasse di scarto che comunque sarebbero prodotte dalla filiera agro-alimentare: liquami prodotti negli allevamenti zootecnici, residui colturali, scarti organici e acque reflue dell'agro-industria, fanghi di depurazione delle acque reflue urbane e industriali e frazioni organiche di rifiuti urbani. I rifiuti organici prodotti annualmente nei Paesi dell'Unione Europea ammontano a circa 2.500 milioni di tonnellate, di cui circa il 60% è costituito da effluenti zootecnici e residui agroforestali mentre il resto da rifiuti organici urbani e industriali e fanghi di depurazione (fonte IEA Bioenergy task 37, www.iea-biogas.net). Parte di questi scarti, in particolare quelli a elevato contenuto di zuccheri o amidi, possono essere inoltre trasformati in bio-alcol.

La piattaforma energetica nazionale necessita di volumi di gas metano pari a 85,10 miliardi di metri cubi, con un incremento tendenziale di 4 miliardi di metri cubi, pari a 5,3%. La produzione di biogas da scarti agro-alimentari e liquami zootecnici rappresenta una filiera promettente e strategica a livello nazionale, in quanto si andrebbe a innestare su infrastrutture già esistenti. Una volta purificato, infatti, il biogas può essere integrato nella rete di distribuzione del gas naturale o essere distribuito e utilizzato come combustibile nei veicoli a gas. Lo sviluppo e l'ottimizzazione di una strategia concertata tra operatori della filiera agro-alimentare, fornitori di tecnologie e distributori di vettori energetici porterebbero a una produzione annuale di biogas pari almeno a quella tedesca, oggi di 19,3 tep per 1.000 abitanti contro i 6,5 tep per 1.000 abitanti di quella italiana. Questo rappresenterebbe circa 1,4 miliardi di metri cubi di gas capace di coprire 1/4 dell'incremento annuale tendenziale.

4.5. L'ipotesi del ritorno al nucleare

In Italia in questi ultimi anni si è iniziato a parlare insistentemente di energia nucleare. Tale ipotesi, anche a prescindere dai rischi ambientali e politici connessi a questa tecnologia, guardando la

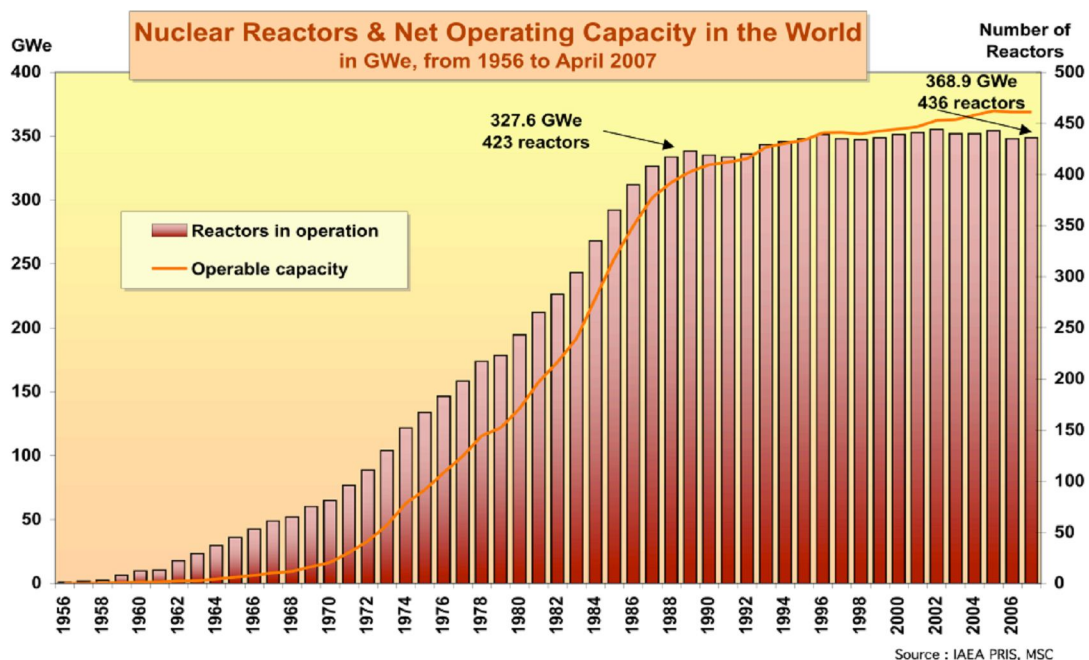


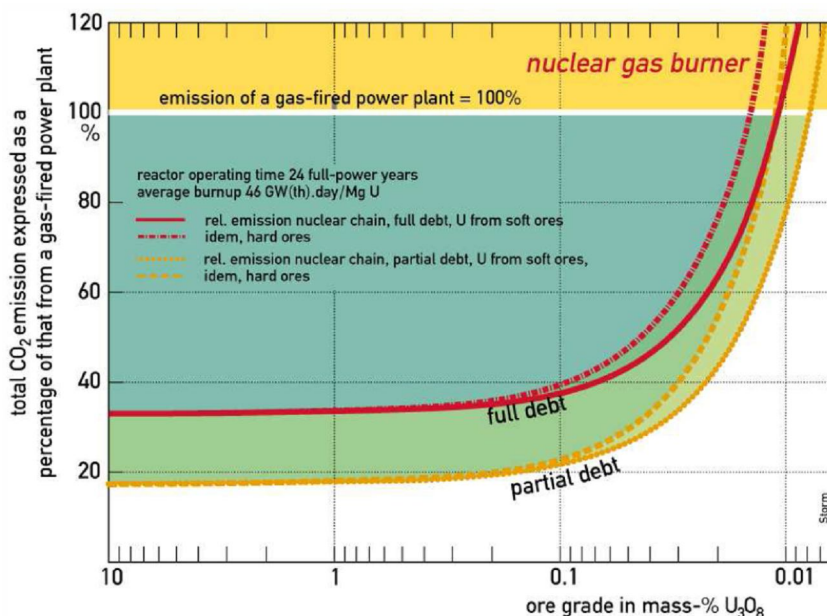
Figura 20. Capacità mondiale delle centrali nucleari dal 1956 al 2007. Fonte: WISE-PARIS www.wise-paris.org.

situazione mondiale non appare né conveniente, né realistica, per quegli stessi motivi economici che ne hanno limitato lo sviluppo ben al di sotto delle aspettative concretizzatesi nei più massicci investimenti di capitali pubblici che una tecnologia abbia mai ricevuto; infatti l'energia nucleare nel 2006 contribuiva per un modesto 6,2% ai consumi mondiali di energia primaria (figura 3).

Ma, dal momento che l'unica energia utilizzabile prodotta in un centrale nucleare è quella elettrica, il contributo reale alla domanda mondiale di energia primaria è assai più modesto e stimabile in circa il 2%. A dimostrazione di ciò nel 2006 la produzione idroelettrica ammontava a 3.121 TWh contro i 2.793 TWh del nucleare⁴³.

Osservando la figura 20, è facile constatare come circa il 70% dei reattori nucleari, oggi in funzione, siano stati realizzati fra il 1975 e il 1985: questi impianti verranno chiusi entro il 2030. Ciò significa che per mantenere l'attuale potenza nucleare, che nello scenario inerziale considerato rappresenterà nel 2020 appena il 4% del fabbisogno mondiale di energia primaria, sarà necessario sostituire i circa 250 GW che saranno chiusi. Questa operazione, considerando costi di realizzazione stimati in oltre 7 \$/W, pari a 5,46 €/W (stima di Moody's Investors-2008)⁴⁴, comporteranno una spesa di circa 1.365 miliardi di euro. Bastano solo questi dati per comprendere come il nucleare rivesta un ruolo marginale nel futuro energetico mondiale.

A questo aggiungiamo le permanenti incertezze su costi e affidabilità per la gestione finale delle scorie⁴⁵ e il fatto che il costo dell'uranio è aumentato di 10 volte fra il 2003 e il 2007.



Bisogna anche notare che nessuna nazione europea, e tanto meno l'Italia, dispone di riserve di Uranio, per cui non sarà certo lo sviluppo del nucleare che potrà aiutarci ad avere maggior indipendenza energetica. Il costo dell'uranio, poi, è destinato a crescere poiché dopo il 2030 saranno esaurite le miniere ad alta concentrazione in giacimenti sabbiosi e quindi

Figura 21. Emissioni di CO₂ da nucleare in funzione del grado del minerale, riferito a una centrale a gas⁴⁶.

⁴³ Fonte IEA, già citata

⁴⁴ Moody's Corporate Finance, "New Nuclear Generating Capacity", May 2008

⁴⁵ Anche nel paese tecnologicamente più avanzato, gli USA, il problema di un deposito sicuro per le scorie ad alta radioattività non ha ancora trovato soluzione. Secondo Chemistry and Engineering News del 5 maggio 2008, le scorie rimarranno sui piazzali delle centrali per un tempo indeterminato

facili da trattare (soft ore), si dovrà quindi ricorrere all'estrazione di uranio da graniti (hard ore) e a una concentrazione di uranio decine di volte inferiore.

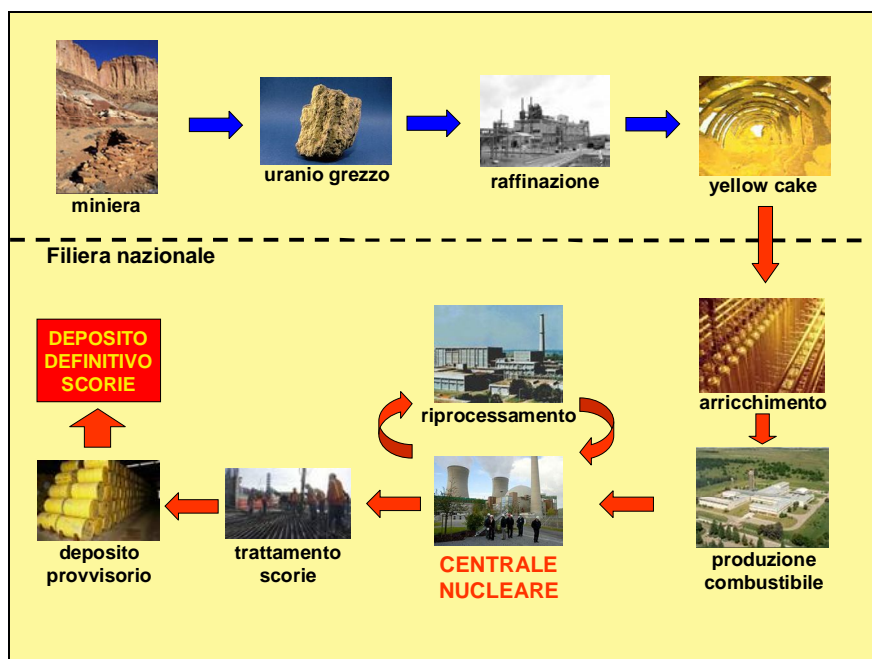


Figura 22. Filiera nucleare.

Ciò implicherà costi molto più elevati e più alti consumi di combustibili fossili per la sua estrazione. Si prevede che i crescenti consumi delle attività di estrazione porteranno rapidamente le emissioni di CO₂ del kWh nucleare a superare quelle delle centrali a gas, smentendo anche il presunto ruolo dell'energia nucleare in uno scenario di riduzione delle emissioni (si veda figura 21).

La filiera nucleare richiede, infatti, tutta una serie di attività e impianti costosi e per certi versi più pericolosi del reattore stesso (figura 22). Tutti i paesi che utilizzano in modo significativo questa fonte energetica si sono dotati di



Figura 23. Previsioni di costo del kWh nucleare (Fonte Moody's, rapporto già citato)

⁴⁶ Fonte: "Energy from Uranium", Jan Willem Storm van Leeuwen, Oxford Research Group, Energy Bulletin, July 2006. Nella figura la curva "partial debt" non tiene conto della sistemazione definitiva delle scorie, mentre la curva "full debt" ne tiene conto; le differenze sono consistenti in quanto le soluzioni tecniche ipotizzate per questa attività richiedono comunque un considerevole impiego di energia.

⁴⁸ Per emission trading si intende il commercio di quote e permessi di emissione in un mercato di certificati organizzato dalle autorità governative. Un sistema di emission trading (ETS) è già stato istituito dai paesi dell'Unione Europea.

una propria filiera, che al più esclude solo la fase mineraria fino alla produzione del cosiddetto “yellow cake”. Non sviluppare una filiera nazionale significa far dipendere la produzione di energia elettronucleare in tutto e per tutto dal paese d’appoggio.

Per quanto riguarda l’Italia dove il governo prevede di allacciare le centrali, che intende realizzare, alla filiera francese, sarà come offrire alla Francia dei siti sul nostro territorio per realizzare impianti dei quali avrà il pieno controllo.

Inoltre, sempre secondo il già citato rapporto di Moody’s, il costo del kWh nucleare sta aumentando del 7% all’anno, e quindi nel 2020 sarà raddoppiato passando dagli attuali 0,07 € a 0,14 €. Ciò comporta che se per quella data il 25% dell’elettricità sarà prodotta dal nucleare, come nei piani del nostro governo, la bolletta elettrica degli italiani sarà più pesante del 25%; cioè su una bolletta annua di 500 € il cittadino si troverebbe a pagare ben 125 € in più.

4.6. Gli strumenti finanziari per la transizione

Lo scenario proposto ha un obiettivo di piena competitività economica da raggiungere nell’arco di 20 anni, tuttavia inizialmente comporterà impegni finanziari per il sostegno allo sviluppo delle nuove tecnologie energetiche e per l’efficienza, soprattutto nei primi 10 anni. Per quanto tale impegno finanziario possa sembrare oneroso, sarà sempre inferiore a quello per la costruzione d’impianti nucleari e per la continuazione della filiera dei combustibili fossili.

4.6.1 Efficienza energetica

Quote d’obbligo

La stabilizzazione della domanda energetica nazionale, primo passo della strategia proposta, deve essere affidata a uno strumento specifico, capace di dare le stesse garanzie di soddisfacimento della domanda di un’ipotetica nuova infrastruttura energetica progettata per una domanda crescente.

Lo strumento più adatto a un tale obiettivo è un meccanismo di mercato a quota d’obbligo sull’esempio di quello dei certificati bianchi. In tale ottica, la quota annuale d’obbligo dovrebbe corrispondere all’incremento tendenziale della domanda energetica. In sostanza, lo strumento “efficienza energetica”, in una prima fase, andrebbe a sostituirsi alla necessità di incrementare l’offerta di energia per soddisfare una domanda in crescita; in un secondo tempo, nel passaggio a una efficienza di sistema, diverrà lo strumento per la riduzione dei consumi pro capite al di sotto dei 2 tep/anno.

Incentivazione

Allo strumento “a obbligo di mercato” deve corrispondere un pari processo di riordino e messa in coerenza del sistema energetico nazionale, con la finalità di:

- eliminare gli aspetti contraddittori che nei fatti ostacolano l’efficienza energetica in molte situazioni. Tutto il sistema d’incentivazione sui prezzi finali dell’energia deve essere rivisto nell’ottica di abolire gli attuali sgravi o incentivi ai consumi energetici. Gli incentivi e le

esenzioni, dirette o indirette, vanno progressivamente cancellate rendendole condizionali al raggiungimento di determinati standard di efficienza energetica;

- affiancare un efficiente sistema d'incentivazione diretta, sia attraverso agevolazioni al credito per il settore civile e industriale (finanziamenti agevolati, fondi rotativi), sia attraverso incentivi fiscali diretti.

Standard minimi di efficienza

È importante che lo strumento dell'incentivazione sia percepito come "opportunità transitoria", scaduta la quale si dovrà ottemperare a standard minimi di efficienza senza la possibilità di accedere a ulteriori agevolazioni. Questo implica da subito la necessità di identificare in maniera chiara gli standard minimi di efficienza da introdurre alla scadenza dei periodi d'incentivazione.

Fiscalità energetica

È indispensabile mettere ordine alla fiscalità energetica. È necessario condurre un'analisi delle voci di fiscalità che, in maniera diretta o indiretta, influiscono sui consumi energetici. Il sistema nazionale di promozione dell'efficienza energetica non deve poggiarsi unicamente sulle incentivazioni, ma fondarsi su solide basi in cui vengano identificate e progressivamente eliminate tutte le voci che forniscono segnali contrastanti rispetto alla priorità dell'efficienza energetica.

Anziché destinare risorse pubbliche, tramite incentivo per l'impresa e l'occupazione, sarebbe più efficace, per aumentare la competitività, trasferire la fiscalità dal lavoro ai consumi energetici

Tariffe progressive

Il principio di progressività della tariffa energetica deve essere mantenuto in base al principio di danno ambientale. Le tariffe devono internalizzare i costi ambientali associati al consumo dei beni energetici. Per esempio, sopra la soglia di 500 kWh/anno di consumo pro capite, le tariffe elettriche devono includere il costo ambientale di emissione. In tale maniera è garantito l'accesso al bene energia ma s'interviene sugli sprechi.

Tariffa sociale

Oggi le priorità della politica energetica devono necessariamente essere aggiornate rispetto ai problemi legati agli elevati costi dei beni energetici e all'emergenza ambientale. Mentre in passato le classi meno abbienti erano associate a un basso livello di consumo, nel prossimo futuro i ceti disagiati rischiano di avere accesso a tecnologia scadente a elevato consumo. L'attuale tariffa sociale copre parte dei costi della bolletta energetica della cosiddetta "fascia protetta". In tal modo, i soldi pubblici impiegati vanno spesso a coprire consumi inefficienti derivanti dalla poca disponibilità di capitale dei consumatori da destinare alla dotazione di apparecchiature efficienti. Sostituire questa agevolazione con l'incentivo per interventi di efficienza porterebbe al consumatore un beneficio durevole e non "una tantum" e alla collettività il beneficio ambientale connesso alla riduzione dei consumi.

Premi all'innovazione

Agli strumenti tradizionali (strumenti di mercato a quota d'obbligo, incentivi fiscali diretti, standard minimi), è opportuno aggiungere sistemi di promozione specifica per l'innovazione nel settore dell'efficienza energetica.

Obiettivi di sviluppo e sistema d'incentivazione nel settore elettrico

Anche nell'incentivazione delle fonti rinnovabili si andrebbe pertanto a configurare una strategia nazionale poggiata su tre diversi meccanismi:

- a. meccanismo a quota d'obbligo (certificati verdi);
- b. meccanismo d'incentivazione diretta (conto energia sulle piccole taglie e fotovoltaico);
- c. meccanismo a obbligo.

Come per l'efficienza energetica, ciascuno di tali meccanismi va tarato in maniera tale da essere coerente con l'obiettivo nazionale di sviluppo delle fonti rinnovabili.

Obiettivi di sviluppo e sistema d'incentivazione di altri settori

Occorre definire una strategia di promozione delle fonti rinnovabili nei settori non elettrici. Come noto, l'obiettivo europeo di sviluppo delle fonti rinnovabili sarà posto sul totale dei consumi, inclusi i trasporti. La promozione delle fonti rinnovabili nei settori non elettrici è limitata a minimi incentivi per le tecnologie, per lo più nel settore residenziale.

Anche in questo caso, è fondamentale che le misure di promozione siano corrispondenti a obiettivi quantitativi di sviluppo e le misure messe in campo siano dotate di un sistema trasparente di monitoraggio dei risultati e valutazione dell'efficacia.

Un altro settore cruciale è il riscaldamento (e raffrescamento) solare. In coerenza con il programma sull'efficienza energetica, la promozione del solare termico e della geotermia di bassa temperatura deve passare attraverso un mix di incentivi e obblighi, per le nuove abitazioni in particolare, ma anche per il settore commerciale e industriale.

4.6.2 Emission trading⁴⁸

Il parco di generazione termoelettrico ricade nella direttiva sull'*Emission Trading Scheme* (ETS).

- Per il periodo 2008-2012, il WWF richiama l'attenzione sull'incertezza della riserva di quote assegnabili ai nuovi impianti. Tale riserva sembra, secondo la legislazione corrente, illimitata e a carico dello Stato (dunque, del contribuente). Sarebbe opportuno limitare questa assegnazione quantomeno a un coefficiente unico per tutti i nuovi impianti. Tale coefficiente dovrebbe corrispondere a non più di 350 g CO₂/kWh prodotto, ovvero al coefficiente di una centrale a ciclo combinato a gas. In caso contrario, questo costituirebbe un evidente aiuto di stato alla promozione di fonti non compatibili con gli obiettivi di riduzione delle emissioni climalteranti.
- Per il periodo 2013-2020, è fondamentale che le quote di ETS siano assegnate il più possibile con criterio d'asta. Ovvero che i gestori d'impianti termoelettrici debbano acquistare le quote

di emissione necessarie a coprirne l'attività. L'assegnazione a titolo gratuito ha, infatti, provato l'esistenza di rendite "inframarginali" crescenti per i produttori elettrici a spese dei consumatori, senza corrispondenti benefici in termini ambientali.

- L'assegnazione tramite asta dei permessi di emissione determina un consistente gettito per lo Stato, stimabile in circa 2 Mld di €/anno. Tale cifra andrebbe direttamente dirottata come contributo per le incentivazioni all'efficienza energetica (incentivi diretti) e alle fonti rinnovabili (incentivi in conto energia), e per una consistente quota parte dovrebbe finanziare la mitigazione delle economie emergenti e dei Paesi in via di sviluppo, nonché l'adattamento dei paesi più vulnerabili. In tal modo, la Direttiva ETS, oltre a fungere come meccanismo di riduzione delle emissioni climalteranti nel settore termoelettrico, si traduce in un beneficio diretto per i consumatori, maggiori risorse per efficienza energetica e rinnovabile di piccola taglia e riduzione dei costi del sistema d'incentivazione; inoltre, assicura la disponibilità di risorse che possono consentire il raggiungimento di un accordo globale sul clima.

4.6.3 Standard di emissione nuovi impianti

È opportuno rafforzare la direttiva dell'ETS con la regolazione dei nuovi impianti di generazione termoelettrica. Così come per gli altri inquinanti, è opportuno inserire dei livelli massimi di emissione di CO₂ per le nuove installazioni. Tale livello deve corrispondere alle BAT (*Best Available Techniques*) del settore termoelettrico e, dunque, a non oltre 350 g CO₂/kWh. Non possono essere autorizzati nuovi impianti di generazione che non sappiano garantire tali *performance*, anche eventualmente ricorrendo a pratiche di *Carbon Capture and Storage (CCS)*⁴⁹.

4.7 CCS: tecnologie per la cattura e il sequestro del carbonio

L'opzione CCS è ancora totalmente in fase sperimentale e, per rappresentare un'opzione valida ad affrontare l'emergenza delle attuali e future concentrazioni di CO₂ in atmosfera, dovrebbe dimostrare di poter risolvere le seguenti gravi criticità:

- convenienza in termini di costi economici ed energetici;
- sicurezza assoluta nel trasporto e nello stoccaggio della CO₂ estratta⁵¹;
- stabilità perenne dei depositi.

È, comunque, opportuno che i progetti sperimentali di CCS e le prime eventuali applicazioni siano focalizzati sugli attuali impianti di generazione termoelettrica alimentati a carbone.

⁴⁹ CCS, *Carbon Capture and Storage*: sistemi tecnologici per la cattura del carbonio prodotto dalla combustione e per il suo immagazzinamento

⁵¹ Si ricorda che la CO₂, pur non essendo tossica, essendo più pesante dell'aria, tende, in caso di perdite, ad accumularsi in avvallamenti portando in poche decine di secondi alla morte per asfissia di qualsiasi animale, uomo compreso.

In prospettiva, anche in conseguenza dell'applicazione di standard massimi di emissione per i nuovi impianti, spetta agli operatori dimostrare la fattibilità e la sostenibilità dei progetti di CCS in fase di autorizzazione di nuovi impianti.

Devono essere esclusi i contributi pubblici al CCS che non siano specificatamente diretti alla sperimentazione e alla ricerca. Queste spese devono essere corrispondenti al valore strategico di tale opzione.

4.8 CDM⁵²: il trasferimento di tecnologie pulite nei Paesi in via di sviluppo per soddisfare quote degli obiettivi nazionali

L'impiego di CDM può rappresentare un'importante strumento per le politiche internazionali di riduzione delle emissioni climalteranti, sebbene vada radicalmente rivisto alla luce degli obiettivi ambientali addizionali che devono essere prioritari e rappresentare un criterio irrinunciabile. I CDM, infatti, possono costituire un'opportunità di trasferimento tecnologico dalle nostre economie ai Paesi in via di sviluppo per realizzare infrastrutture compatibili con l'emergenza climatica globale.

È tuttavia fondamentale che i CDM:

- non vengano impiegati come alternativa agli obiettivi nazionali; pertanto il loro ruolo deve essere addizionale, e non sostitutivo, agli obiettivi nazionali;
- provino non solo la propria addizionalità finanziaria, ma anche l'addizionalità ambientale e sociale del progetto. A tale proposito, il WWF si fa promotore dei progetti CDM che soddisfino i requisiti del *Gold Standard*⁵³.

È fondamentale che l'amministrazione pubblica ragioni nell'ottica di promuovere all'estero la tecnologia italiana innovativa e non, come fatto sino a ora, di aiutare le imprese italiane a recuperare crediti all'estero per evitare gli obiettivi nazionali di riduzione delle emissioni. Tale cambio di prospettiva rappresenta il volano necessario per rendere gli impegni di Kyoto anziché un costo, un'opportunità.

⁵² CDM, *Clean Development Mechanism*, indica quelle iniziative di trasferimento di tecnologie pulite verso Paesi in via di sviluppo, che i Paesi industrializzati possono utilizzare ai fini del raggiungimento dei rispettivi impegni come se si trattasse di una effettiva riduzione delle proprie emissioni nazionali.

⁵³ Il *Gold Standard* è uno standard che si applica a progetti CDM e assicura che questi rispondano a criteri di riduzione effettiva dei gas climalteranti e allo sviluppo sostenibile nei paesi interessati.

5. Scenario energetico proposto dal WWF

Lo scenario proposto dal WWF prevede una riduzione del 20% dei consumi energetici entro il 2020, in linea con gli obiettivi europei, e di circa il 50% entro il 2030, attraverso interventi di efficienza da attuare a tutti i livelli: dagli usi finali, alle tecnologie produttive, dagli edifici ai trasporti, fino ad influenzare le abitudini radicate e poco efficienti e quindi gli stili di vita dei cittadini

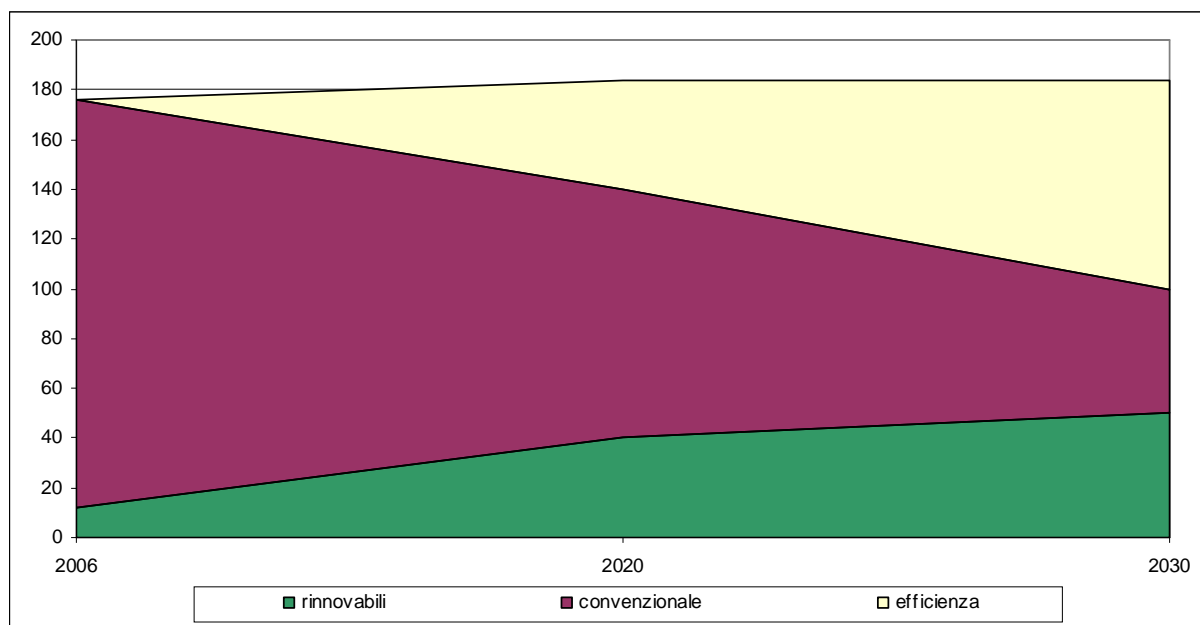


Figura 24. Scenario energetico di riferimento al 2020 e 2030. Le quantità sono espresse in Mtep.

In questo scenario le fonti rinnovabili dovrebbero triplicare rispetto ad oggi entro il 2020, coprendo circa il 30% dei consumi, e crescere di un altro 25% fino a soddisfare il 50% della domanda di energia nel 2030. Il ricorso alle fonti fossili ridotto rispetto ad oggi del 50%, andrebbe a coprire il restante 50% dei consumi del 2030.

La proposta energetica del WWF rappresenta l'avvio di una profonda trasformazione del sistema economico e produttivo, da attuarsi nell'arco di pochi decenni. Se rispetto alla necessità e alla convenienza di questa trasformazione è difficile nutrire dei dubbi, diversi e opinabili potrebbero essere i percorsi di transizione. L'utilizzo di fonti convenzionali, come il carbone o il nucleare, appare problematico sotto tutti gli aspetti, sia economici sia ambientali, e rischia di ingessare il sistema di produzione centralizzata, impedendone una sufficientemente rapida evoluzione verso uno schema di produzione distribuita dell'energia. L'evoluzione delle reti energetiche attuali verso le auspiccate *smart grid*, in grado di utilizzare in modo ottimale le fonti rinnovabili, caratterizzate da bassa intensità e discontinuità, ne risulterebbe ritardata, vanificando di conseguenza la crescita delle fonti rinnovabili stesse.

D'altro canto, lo stato attuale di estrema marginalità del contributo delle fonti rinnovabili (fatta eccezione per l'energia idroelettrica), esclude la possibilità di un cambiamento del sistema nei tempi e nell'intensità necessaria, per rispondere sia ai limiti fisici delle risorse non rinnovabili, sia all'esigenza di mitigazione del cambiamento climatico.

L'impegno economico inizialmente richiesto dalla strategia proposta, benché oneroso, presenta tuttavia una convenienza di prospettiva tale da motivarne l'attuazione anche nella attuale situazione di crisi economica come illustrato nella figura 26.

Dal grafico si evince che la più conveniente risorsa di transizione è l'efficienza energetica, come proposto dal WWF.

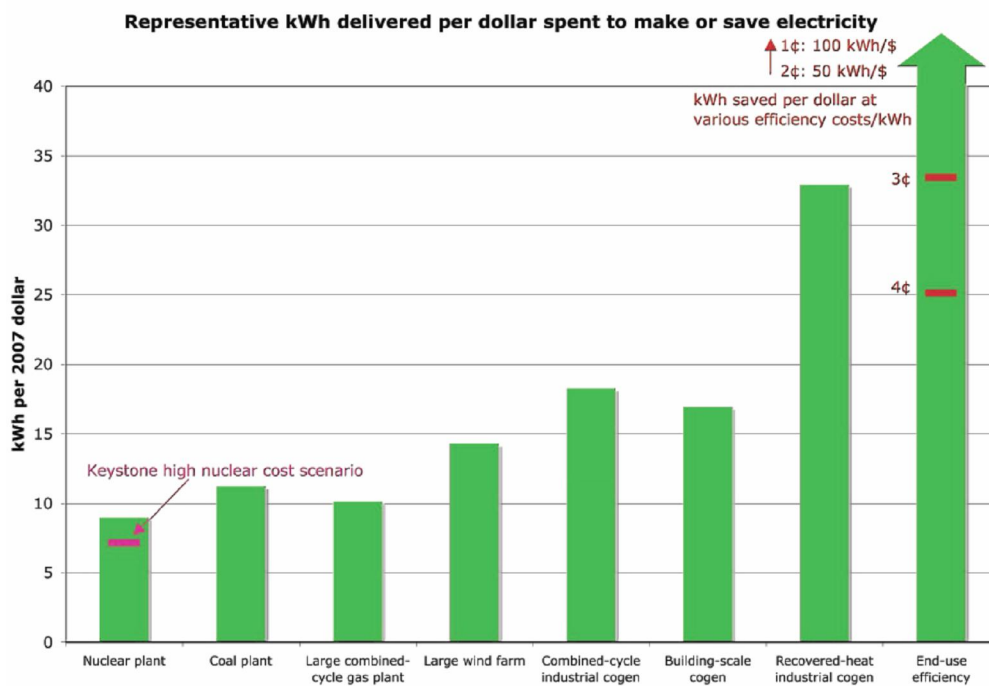


Figura 25. Efficienza degli investimenti in campo energetico (Fonte: Amory Lovins, Imran Sheikh, The nuclear illusion, in *Ambio*, nov 2008, in stampa)

LINEE GUIDA PER UNA STRATEGIA DI ADATTAMENTO AGLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUGLI ECOSISTEMI IN ITALIA

SOMMARIO

Analisi

- La definizione di adattamento, secondo la letteratura legata al cambiamento climatico, viene così indicata dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*: “Aggiustamenti nei sistemi ecologici, sociali ed economici in risposta a stimoli climatici attuali o previsti, ai suoi effetti, ai suoi impatti. Questo termine si riferisce a cambiamenti in processi, pratiche o strutture per moderare o bilanciare eventuali danni o approfittare di eventuali opportunità derivanti dal cambiamento climatico.”
- Le ricerche scientifiche sul cambiamento climatico e i suoi impatti, pubblicate dopo il più recente rapporto dell'IPCC del 2007 (AR4 - *Fourth Assessment Report*), rivelano che il cambiamento climatico sta procedendo a un ritmo molto più veloce delle previsioni stesse. Ciò implica che le nostre risposte nei confronti della mitigazione (riduzione significativa delle emissioni) e dell'adattamento al cambiamento climatico devono essere ancora più rapide e ambiziose. La sfida che abbiamo di fronte è, quindi, veramente epocale e straordinaria e richiede il meglio delle nostre capacità scientifiche, tecnologiche, di innovazione e di volontà di cambiamento per fornire alle nostre società nuovi percorsi di sviluppo socio-economico realmente diversi rispetto ai modelli attuali.
- Gli impatti del cambiamento climatico vanno al di là delle società umane, coinvolgendo gli ecosistemi di tutto il mondo. Le ricerche sin qui realizzate hanno confermato come il cambiamento climatico stia agendo negativamente e in maniera significativa sulla biofisica degli ecosistemi mondiali. Si stanno fondendo i ghiacci di tutti i continenti, i laghi e i fiumi si stanno scaldando, l'erosione delle coste è in aumento. La primavera sempre più anticipata sta avendo gravi conseguenze sulle piante, che anticipano i periodi di fioritura, sui periodi di migrazione e di riproduzione e, soprattutto negli oceani, sullo spostamento sempre più a nord di alcune specie a causa dell'aumento della temperatura dell'acqua. Alcune ricerche indicano

che, a causa del cambiamento climatico, nelle zone tropicali e subtropicali si rileveranno condizioni climatiche sempre più calde, mentre le condizioni climatiche tipiche delle regioni tropicali montane e delle regioni polari molto probabilmente si perderanno. La scomparsa così rapida di questi climi rischia di far aumentare la probabilità che le specie non riescano ad adattarsi, fenomeno particolarmente probabile, per esempio, ai tropici, come confermato da diversi studi che avvertono come il rischio più grande di estinzione di massa risieda proprio in quei luoghi, caratterizzati da la maggiore biodiversità. Queste analisi vanno ad aggiungersi a quelle riassunte dal IV Rapporto dell'IPCC, che aveva già stabilito come un aumento della temperatura media di 1,5-2,5°C, rispetto alle temperature attuali, determinerà per oltre il 30% delle specie un rischio di estinzione.

- Tralasciando i processi che avvengono su tempi propri dell'evoluzione, gli effetti del cambiamento climatico su specie ed ecosistemi possono essere raggruppati nelle seguenti principali categorie: impatti sulla fisiologia e sul comportamento, impatti sul ciclo vitale, impatti sulla distribuzione geografica, impatti sulla composizione e sulle interazioni delle specie nelle comunità ecologiche. È necessario considerare i tempi di risposta che caratterizzano i diversi processi influenzati dal cambiamento climatico, dai tempi brevi per gli impatti sulla fisiologia (giorni-mesi) a quelli più lunghi per le variazioni di areale (anni-decenni), fino alle scale tipiche dei processi evolutivi (centinaia di anni-millenni). In alcuni casi, come per esempio lo spostamento dell'areale di distribuzione di alcune specie di farfalla, i tempi di risposta sono comparabili con quelli del cambiamento climatico, tanto che gli eventi registrati possono essere considerati *fingerprint* (impronte digitali ecologiche) e, quindi, indizi del cambiamento climatico stesso. Alcuni eventi che riguardano le specie sono addirittura indicatori precoci di cambiamenti in atto a fronte di un segnale climatico non molto evidente, come nel caso della colonizzazione di specie termofile nel mare e di altre “sentinelle” di cambiamenti. Gli effetti del cambiamento climatico hanno oggi conseguenze particolarmente gravi nell'alterazione degli ecosistemi, soprattutto nei biomi artico, boreale e alpino, dove il clima è il principale regolatore dell'ecosistema, e lo saranno sempre più tra 50 anni e oltre.
- In Italia, gli effetti del cambiamento climatico in atto si prevede producano, per quanto riguarda gli ecosistemi forestali: un generale aumento dei limiti altitudinali di distribuzione delle specie, con lo spostamento dei loro areali a quota maggiore; una generale riduzione degli habitat delle conifere montane e spostamento in quota di latifoglie decidue; una forte riduzione dell'areale di distribuzione delle specie più mesofile e microterme (faggio, castagno, farnia, aceri montani) danneggiate e, quindi, minacciate di estinzione a livello locale; una significativa espansione dell'areale di distribuzione delle specie mediterranee (leccio e sughera) a causa di un processo di progressiva mediterraneizzazione delle zone interne pre-appenniniche, una lieve espansione dell'areale di distribuzione di cerro e olmo, specie con evidenti buone capacità di adattamento. Si prevedono, inoltre, le seguenti ulteriori criticità:

aumento degli incendi nelle aree peri-urbane con conseguente impatto su parchi e aree naturalistiche in prossimità di estensioni metropolitane; aumento degli incendi in aree montane, non tradizionalmente colpite in passato, soprattutto in aree appenniniche e boschi di faggio; aumento dei fenomeni di desertificazione in aree mediterranee sottoposte a incremento nella frequenza di incendi ripetuti. Gli impatti previsti sui sistemi marini includono: aumento della variabilità di tutti i processi che interessano questi ecosistemi; aumento della stratificazione delle masse d'acqua, che potrebbe ridurre la connessione tra ambienti profondi e costieri, con alterazione dei cicli biogeochimici; alterazione della produzione primaria e di risorse alieutiche; cambiamento nella struttura e distribuzione di comunità planctoniche e bentoniche marine costiere e profonde; alterazione dei cicli vitali e riproduttivi delle specie di vertebrati e invertebrati marini, con aumento della loro vulnerabilità e dei tassi di estinzione; alterazione delle reti trofiche marine, dovuta alla mancata sincronizzazione dei processi di produzione e consumo; alterazione della distribuzione e degli effetti dei contaminanti e dell'impatto dell'inquinamento; diminuzione della capacità di contrasto all'ingresso di specie non indigene; aumento di fenomeni epidemiologici a carico degli organismi marini.

Proposte

- Per gli ecosistemi forestali è necessario: sviluppare un programma di ricerca scientifico nazionale con l'obiettivo di fornire informazioni sulla risposta del patrimonio forestale al cambiamento climatico, sia in termini fisiologici e di adattamento biologico, sia in termini di alterazione della biodiversità e disponibilità di habitat, nonché sulla risposta ecosistemica e gestionale in termini socio-economici e di adattamento alle realtà del territorio rurale e montano; sviluppare un programma di monitoraggio di lungo termine della funzionalità degli ecosistemi forestali per quanto riguarda sia la biodiversità sia le funzioni biogeochimiche. In particolare, si devono: estendere e rafforzare con maggiori dati i programmi di monitoraggio esistenti su scala nazionale, tra cui la rete LTER-Italia e CONECOFOR e la rete nazionale CARBOITALY; rafforzare le misure di protezione delle aree di rifugio e dei tipi forestali più minacciati (foreste umide, planiziali e di alta montagna); istituire reti di aree protette in grado di favorire la migrazione delle specie sulla possibile spinta del cambiamento climatico; rivedere le attuali politiche di gestione forestale, a partire dai regolamenti regionali e dalle prescrizioni di massima, per tenere conto dei rischi del cambiamento climatico, incentivando la complessità strutturale e specifica dei popolamenti forestali, l'adozione di interventi selvicolturali adattativi di bassa intensità ma capillari, la protezione della sostanza organica dei suoli e la funzionalità del ciclo idrologico nella foresta; monitorare la diffusione e distribuzione dei patogeni forestali, nonché modificare le scelte selvicolturali a fini di prevenzione per limitare l'incidenza delle malattie legate al deperimento climatico; sviluppare

misure di prevenzione e pianificazione della lotta agli incendi boschivi mediante l'impiego di moderni sistemi di monitoraggio e di modellistica previsionale basati sull'analisi climatica e territoriale.

- Per gli agroecosistemi è necessario: nel breve periodo agire sulla conservazione dell'umidità del suolo (con introduzione di tecniche di conservazione dell'umidità, per es., no *tillage*, pacciamatura, ecc. e di gestione dell'irrigazione, volte a migliorarne l'efficienza); sulla gestione dei sistemi colturali (con impiego contemporaneo di cultivar con caratteristiche diverse, cambio dei cultivar, cambio delle pratiche agronomiche, cambio del tipo e/o della modalità di impiego di fertilizzanti e pesticidi); nel medio termine agire con azioni quali il cambio dell'uso-suolo per ottimizzare o stabilizzare produzione (per es., sostituzione di colture con alta variabilità inter-annuale, come il frumento, con colture a più bassa variabilità, come i pascoli); sviluppo di nuove cultivar per adattarsi più velocemente agli stress indotti dal cambiamento climatico; sostituzione delle colture per conservare meglio l'umidità del suolo (per es., mais con sorgo); modifiche del microclima per migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua (per es., frangivento, colture intercalari, ecc.).
- Per quanto riguarda gli ecosistemi marini gli obiettivi da perseguire sono: a) conservare e ripristinare gli ambienti marini naturali per il mantenimento di elevati livelli di funzionalità e produzione di beni e servizi ecosistemici, attraverso azioni quali la creazione di un network di Aree Marine Protette; la modulazione dell'estensione e ampliamento delle Aree Marine Protette, per mantenere i servizi ecosistemici offerti con aumento dell'habitat disponibile; l'estensione della protezione ambientale dai sistemi costieri a quelli profondi del Mediterraneo (inclusi coralli profondi); l'identificazione degli *hot spot* di biodiversità marina idonei a pratiche di protezione e conservazione; l'aumento della conoscenza delle interazioni e della connettività tra i diversi ecosistemi marini e/o tra i diversi comparti ecosistemici per poter sviluppare strategie di conservazione appropriate, il supporto alle pratiche di sviluppo sostenibile, incluse la pesca e la conservazione della biodiversità e degli ecosistemi marini in paesi del sud del Mediterraneo. b) Contrastare la perdita di biodiversità specifica legata all'impatto del cambiamento climatico con le seguenti azioni: sviluppare strategie a lungo termine per monitorare gli effetti di questi cambiamenti sulla biodiversità e sul funzionamento degli ecosistemi marini costieri e profondi; conoscere gli effetti del cambiamento climatico sui cicli vitali delle specie marine; sviluppare strategie a lungo termine per monitorare la presenza e la distribuzione di specie non autoctone (aliene), in particolare alghe e altri organismi potenzialmente tossici; studiare l'impatto dei cambiamenti sugli stock ittici e sulle altre risorse rinnovabili di interesse commerciale e non; contrastare la disposizione di infrastrutture di tipo esteso (barriere frangiflutti emerse); ricostituire un sistema dunale lungo le fasce costiere che ne erano provviste. c) Conservare e migliorare le condizioni di qualità ecologica degli ambienti marini per migliorarne la risposta al cambiamento climatico attraverso le seguenti

azioni: approfondire la conoscenza delle alterazioni alle condizioni fisico-chimiche, trofiche e idrodinamiche degli ecosistemi marini; approfondire la conoscenza degli impatti diretti e indiretti dovuti a fenomeni di alterazione e/o contaminazione e degli effetti ecologici a cascata; sviluppare pratiche di *Integrated-Coastal Zone Management (ICZM)* capaci di rispondere in modo dinamico ai cambiamenti in atto (inclusa la rimozione di barriere e strutture che alterano il funzionamento della fascia costiera); identificare gli strumenti opportuni per il rispetto della qualità ambientale e lo sviluppo di pratiche di recupero e restauro ecologico di ecosistemi marini compromessi o danneggiati; identificare le procedure di bonifica ambientale e di decontaminazione dei siti marini contaminati con utilizzo di ecotecnologie e un approccio volto a ridurre il rischio ecologico associato. d) Ridurre le carenze conoscitive e aumentare la capacità di comprensione dei cambiamenti in atto negli ecosistemi marini costieri e profondi attraverso la creazione di una struttura permanente (per es., un Osservatorio sulla biodiversità marina) per la raccolta e l'integrazione delle informazioni esistenti sulla biodiversità marina nel Mediterraneo.

- Per quanto riguarda gli ecosistemi di acque interne è necessario che alla scala di bacino idrografico e di bacino idrogeologico si agisca sull'uso sostenibile delle risorse idriche, attraverso la razionalizzazione dei prelievi e dei consumi idrici (obiettivo che impone grande cautela sul versante della progettazione delle opere di bacinizzazione); sulla riduzione dell'impermeabilizzazione, attraverso misure drastiche, volte a limitare il consumo dei suoli naturali e dei suoli agricoli e sulla valorizzazione delle aree marginali in agricoltura, il cui ruolo è importante anche nel sequestro di CO₂; scelte di politiche agricole ecocompatibili. Al contempo, si dovrà intervenire sulle aste fluviali e sulle fasce riparie perseguendo due obiettivi tra loro strettamente connessi: riassetto idraulico, con aumento della capacità di laminazione nelle fasce fluviali e ricostruzione morfologica degli alvei di piena; conservazione e ripristino dell'integrità ecologica delle aree riparie e, dunque, del ruolo che esse hanno nella modulazione e regolazione di funzioni essenziali (cicli biogeochimici e flussi di energia) dell'ecosistema fluviale.
- Si ritiene che, nel nostro Paese, sia necessaria una qualificata azione di connessione ecologica che consenta complessivamente una maggiore capacità di resistenza e resilienza dei sistemi naturali, contribuendo così a una politica di mitigazione e adattamento degli effetti del cambiamento climatico in atto. Si ritiene, quindi, che un Piano nazionale di adattamento al cambiamento climatico debba essere impostato prioritariamente sul mantenimento dello stato di salute e di vitalità dei sistemi naturali, condizioni indispensabili che permettono agli ecosistemi di favorire i processi di adattamento ai mutamenti climatici e costituire la base fondamentale per raggiungere il "benessere" dei sistemi sociali. Laddove i sistemi naturali sono, infatti, degradati e vulnerabili si abbassano significativamente le loro capacità di reazione, con gravi ricadute anche sui sistemi sociali. Ciò significa che, prima di impostare

qualsiasi approccio tecnologico-infrastrutturale, come reazione all'adattamento al cambiamento climatico, è necessario: favorire la tutela e la corretta gestione del nostro patrimonio naturale; "riconnettere" questo patrimonio attraverso operazioni di ripristino e restauro ecologico; realizzare un sistema di reti ecologiche capaci di favorire le capacità di resistenza e resilienza dei sistemi naturali stessi. Si ritiene, inoltre, sia necessaria una "grande opera pubblica" per il nostro Paese attraverso il ripristino del nostro territorio. Una simile opera renderebbe l'Italia meno vulnerabile al mutamento climatico e rafforzerebbe le nostre capacità di resistenza a essi.

- Come più volte evidenziato, l'umanità dipende dai servizi forniti dagli ecosistemi terrestri e acquatici: per continuare a usufruire di tali servizi è, quindi, necessario proteggere e, dove possibile, ripristinare gli ecosistemi stessi. Per affrontare le problematiche indotte dal cambiamento climatico, il ripristino ecologico offre una speranza nei confronti di due aspetti cruciali: 1) la ricomposizione degli ecosistemi frammentati, che consente ad animali e piante di migrare in risposta ai cambiamenti e agli ecosistemi di ristabilire le proprie strutture e funzioni; 2) la cattura del carbonio tramite la ricostituzione delle foreste, delle zone umide (che facilitano la formazione di torba) e degli altri ecosistemi (che agiscono come *sink* di assorbimento del carbonio). Il grande principio del ripristino ecologico del "Bel Paese" dovrà ispirare il Piano nazionale per l'adattamento al cambiamento climatico, la cui elaborazione dovrebbe essere assunta direttamente dalla Presidenza del Consiglio, alla luce della sua importanza e trasversalità operativa. Contestualmente, dovrebbe essere da subito avviata una Strategia nazionale per la biodiversità, basata sull'analisi della deframmentazione esistente e delle proposte di connessione e ripristino ecologico; la finalizzazione dei fondi strutturali dell'Unione Europea dovrebbe tenere conto di questi obiettivi e principi; l'applicazione concreta della Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE dovrebbe finalmente consentire una gestione integrata della risorsa idrica del nostro Paese, tutelando e ripristinando gli ecosistemi di acque dolci, fondamentali per il nostro futuro. Inoltre, dovrebbe essere correttamente attuata la Direttiva 2001/42/CE, sulla Valutazione Ambientale Strategica, il cui recepimento costituisce già un riferimento essenziale in Italia per il corretto governo dell'ambiente e del territorio.

LINEE GUIDA PER UNA STRATEGIA DI ADATTAMENTO AGLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUGLI ECOSISTEMI IN ITALIA

1. Premessa

Il cambiamento climatico ha sempre caratterizzato la storia del nostro pianeta. Nel periodo geologico dell'Olocene (all'incirca negli ultimi 11.000 anni) si è verificata una situazione di discreta stabilizzazione climatica che ha anche facilitato l'ampia diffusione della nostra specie sul pianeta⁵⁴. Nel corso degli ultimi decenni, il clima terrestre è andato modificandosi rapidamente non solo per cause naturali, ma anche come risultato dell'azione della specie umana. Come indicato anche dal IV Rapporto dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)⁵⁵ le ricerche scientifiche sul cambiamento climatico e i suoi impatti dimostrano come il riscaldamento globale sia già una realtà dei giorni nostri che non farà, peraltro, che accentuarsi in futuro. Inoltre, il IV Rapporto dell'IPCC lascia pochi dubbi sulla responsabilità umana: "L'incremento globale della concentrazione di biossido di carbonio è principalmente dovuto all'uso di combustibili fossili e ai cambiamenti nell'utilizzo dei suoli, mentre gli incrementi di metano e protossido di azoto sono principalmente dovuti all'agricoltura."

In questo documento si intende:

- fornire alcuni elementi derivanti dalle più recenti ricerche scientifiche pubblicate, soprattutto dopo il IV Rapporto dell'IPCC, in merito al cambiamento climatico a livello globale, con particolare riferimento alle realtà europea e italiana;
- sottolineare, sulla base delle più recenti ricerche scientifiche pubblicate, quali sono gli impatti del cambiamento climatico sugli ecosistemi a livello globale e a livello nazionale;
- indicare delle linee guida per una strategia nazionale di adattamento agli impatti del cambiamento climatico sugli ecosistemi.

Si è scelto di dedicare la nostra attenzione sia agli impatti sia alle problematiche di adattamento al cambiamento climatico che riguardano gli ecosistemi e la biodiversità. Ci siamo quindi principalmente occupati dei sistemi naturali il cui stato di salute è la base fondamentale per il benessere e l'economia

⁵⁴ Jansen E.J. *et al.*, 2007, *Paleoclimate*, in *Climate Change 2007: the Physical Science Basis*, vol. I, Cambridge University Press; vedasi anche Costanza R., Graumlich L.J. e Steffen W., (a cura di), 2007 - *Sustainability or Collapse? An Integrated History and Future of People on Earth* - MIT Press.

⁵⁵ IPCC 2007, *Climate Change 2007*, tre volumi, Cambridge University Press. Vedasi anche il sito <http://www.ipcc.ch> dal quale sono scaricabili tutti i Rapporti IPCC.

umane. Pertanto questo documento non affronta le tematiche di impatto e adattamento legate ai sistemi sociali, se non per qualche rapido cenno di contesto, né tantomeno le valutazioni economiche relative. Su questi temi sono state realizzate alcune ricerche di approfondimento tra cui, per esempio, il recente volume curato da Carlo Carraro⁵⁶.

2. Cos'è l'adattamento al cambiamento climatico

A livello internazionale si riconosce chiaramente la necessità di intervenire, come detto in apertura di questo documento, con strategie di mitigazione (per l'eliminazione o la riduzione progressiva delle emissioni dei gas climalteranti) e con strategie di adattamento (mirate a predisporre piani, programmi, azioni e misure che minimizzino le conseguenze negative e i danni causati dal possibile cambiamento climatico sia ai sistemi naturali sia a quelli umani).

La definizione di adattamento, secondo la letteratura legata al cambiamento climatico, viene così indicata dall'IPCC: "Aggiustamenti nei sistemi ecologici, sociali ed economici in risposta a stimoli climatici attuali o previsti, ai suoi effetti, ai suoi impatti. Questo termine si riferisce a cambiamenti in processi, pratiche o strutture per moderare o bilanciare eventuali danni o approfittare di eventuali opportunità derivanti dal cambiamento climatico⁵⁷."

Da un punto di vista ecologico e di sostenibilità dei sistemi socio-ecologici il mantenimento di buoni livelli di vitalità e resilienza dei sistemi naturali è considerato come una base essenziale per garantire i servizi che gli ecosistemi offrono al benessere e alla stessa economia umana e come mantenimento di buone capacità reattive allo stesso cambiamento climatico.

Gli effetti del cambiamento climatico interagiscono profondamente con gli effetti del cambiamento globale indotto dall'intervento umano sulla dinamica di sistemi naturali (dalla modificazione del suolo, alla frammentazione degli habitat, dagli effetti dell'inquinamento al sovrasfruttamento delle risorse, ecc.). Il mantenimento della biodiversità e del funzionamento degli ecosistemi è fondamentale quindi, non solo per mantenere le opzioni evolutive dei sistemi naturali stessi, ma anche per garantire l'importantissima base di funzioni e servizi da essi messa a disposizione delle società umane.⁵⁸

⁵⁶ Carraro C. (a cura di), 2009, Cambiamenti climatici e strategie di adattamento in Italia. Una valutazione economica, Il Mulino editore.

⁵⁷ IPCC, Working Group II, 2001, Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability, volume II Cambridge University Press.

⁵⁸ Vedasi i risultati del Millennium Ecosystem Assessment (<http://www.maweb.org>) e i volumi del rapporto finale: Hassan R., Scholes R. e Ash N. (editors), 2005 - Ecosystems and Human Well-being. Current State and Trends - vol. 1, Island Press; Carpenter S.R., Pingali P.L., Bennett E.M. e Zurek M., (editors), 2005 - Ecosystems and Human Well-being. Scenarios - vol. 2, Island Press; Chopra K., Leemans R., Kumar P. e Simons H. (editors), 2005 - Ecosystems and Human Well-being. Policy Responses - vol. 3, Island Press; vedasi anche Reid W., Berkes F. e Wildbanks T. (a cura di), 2006 - Bridging Scales and Knowledge Systems. Concepts and Applications in Ecosystem Assessment - Island Press.

3. Le problematiche dell'adattamento in Europa e in Italia

L'obiettivo che l'Unione Europea si è posta di contenere entro i 2°C l'incremento della temperatura media globale, rispetto ai livelli preindustriali, potrà, se attuato, limitare - ma non eliminare - i rischi e gli impatti del cambiamento climatico: importanti azioni di adattamento saranno quindi inevitabili e indispensabili.

L'*European Environment Agency* (EEA) ha pubblicato, sin dal 2004, diversi rapporti⁵⁹ che mostrano come il cambiamento climatico sia già una realtà e che definiscono l'adattamento come: "le politiche, le pratiche e i progetti mirati ad ottenere il risultato di moderare i danni o approfittare delle opportunità associate ai cambiamenti climatici". Secondo l'EEA, Circa il 90% dei disastri naturali che si sono verificati in Europa dal 1980 sono, infatti, direttamente o indirettamente attribuibili a eventi meteorologici o climatici. Inoltre, il costo di questi eventi in Europa è stimato intorno ai 15 miliardi di euro l'anno.

La comunicazione n.35 del 2005 dell'Unione Europea, oltre a dedicare un capitolo specifico all'adattamento, chiede esplicitamente alla Commissione Europea di esplorare il ruolo che la stessa UE deve rivestire nella riduzione della vulnerabilità e nella promozione dell'adattamento. La Commissione ha quindi istituito un gruppo di lavoro dedicato a tale scopo, il quale ha poi redatto, nel luglio 2007, il *Green Paper* "Adapting to climate change in Europe. Options for EU actions" in cui si evidenzia la necessità di attivare in Europa misure di adattamento a tutti i livelli e ben coordinate e si mostra chiaramente come azioni di adattamento anticipate e *cost effective* possano rappresentare la migliore opzione per ridurre i costi finanziari degli impatti stessi. Nel documento alla definizione di adattamento si legge: "Le azioni di adattamento sono prese per far fronte ai cambiamenti climatici come, per esempio, l'incremento delle precipitazioni, l'innalzamento delle temperature, la scarsità delle risorse idriche o la maggiore frequenza delle tempeste, allo stato attuale o anticipando tali cambiamenti nel futuro. L'adattamento mira a ridurre i rischi e i danni causati dagli attuali e futuri impatti dannosi ed effettivamente costosi o ad esplorare i potenziali benefici".

La Commissione Europea sta finalizzando, inoltre, un *White Paper* in merito a una strategia di adattamento al cambiamento climatico per l'Unione Europea, che oltre ad essere complementare alle strategie nazionali dei Paesi membri, è volta a migliorare la resilienza dei nostri ecosistemi rispetto al cambiamento climatico. Gli impatti del cambiamento climatico in Europa non colpiscono solo alcuni stati e mostrano variabilità da aree ad aree: è, quindi, importante pervenire a un'azione integrata e coordinata tra i vari Paesi membri che nel frattempo è indispensabile sviluppino le proprie strategie nazionali. Alcuni settori, a livello europeo, come l'agricoltura, le risorse idriche e la pesca sono già

⁵⁹ European Environment Agency, 2004, Impacts of Europe's changing climate. An indicator-based assessment, rapporto tecnico EEA n. 2/2004; European Environment Agency, 2005, Vulnerability and adaptation to climate change in Europe, rapporto tecnico n. 7/2005; European Environment Agency, 2007a, Climate change and water adaptation issues, rapporto tecnico EEA n. 2/2007; European Environment Agency, 2007b, Climate change: the cost of inaction and the cost of adaptation, rapporto tecnico EEA n. 13/2007.

oggi integrati attraverso ambiti di mercato e di mirate politiche comunitarie, ma necessitano di essere coordinati attraverso un ambito di adattamento.

L'adattamento, anche a livello globale, è considerato importante e complementare alla mitigazione nell'affrontare il cambiamento climatico: infatti, l'Art. 4 della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite per il cambiamento climatico (UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*) indica che tutti i Paesi dovrebbero formulare e implementare programmi nazionali e, dove appropriato, programmi regionali che includano misure volte a facilitare un adeguato adattamento al cambiamento climatico, contesto nel quale strategie e programmi nazionali di adattamento avranno un ruolo importante.

La problematica dell'adattamento in Italia è stata scarsamente affrontata. Solo nel 2007 nell'ambito della Conferenza Nazionale sui cambiamenti climatici, promossa dal Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare e organizzata dall'allora Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT, oggi Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ISPRA), si è messa a fuoco l'importanza delle problematiche dell'adattamento⁶⁰. Su tali tematiche cominciano, inoltre, ad essere pubblicati volumi e rapporti di *assessment* quali, per esempio, il recente testo pubblicato dal Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, dalla Fondazione ENI Enrico Mattei, dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale⁶¹.

Il nostro Paese è ancora fortemente carente di ricerche sugli impatti e sull'adattamento; i lavori preparatori per la Conferenza Nazionale del 2007 e lavori successivi hanno contribuito a fornire una discreta sistematizzazione delle modeste informazioni disponibili ma molto resta da fare per approfondire e conoscere meglio lo stato degli impatti del cambiamento climatico sugli ecosistemi, sulla biodiversità e sui sistemi sociali. Scarse ricerche sono state condotte sulle strategie di adattamento.

4. Stato della conoscenza scientifica sul cambiamento climatico

Le ricerche scientifiche sul cambiamento climatico e i suoi impatti, pubblicate dopo il più recente rapporto dell'IPCC del 2007 (AR4 - *Fourth Assessment Report*), rivelano che il cambiamento climatico sta procedendo a un ritmo molto più veloce delle previsioni stesse.

Ciò implica che le nostre risposte nei confronti della mitigazione (riduzione significativa delle emissioni) e dell'adattamento al cambiamento climatico devono essere ancora più rapide e ambiziose. La sfida che abbiamo di fronte è, quindi, veramente epocale e straordinaria e richiede il meglio delle nostre capacità scientifiche, tecnologiche, di innovazione e di volontà di cambiamento per fornire alle nostre società nuovi percorsi di sviluppo socio-economico realmente diversi rispetto ai modelli attuali.

⁶⁰ Vedasi il sito <http://www.conferenzacambiamentoclimatici2007.it>.

⁶¹ Vedasi il già citato Carraro C. (a cura di), 2009, *Cambiamenti climatici e strategie di adattamento in Italia. Una valutazione economica*, Il Mulino editore.

4.1. *Tipping Points*: i punti critici

Agli inizi del 2008, un team di scienziati ben noti in questo ambito di ricerche, ha pubblicato uno studio sui cosiddetti “*Tipping elements*”, cioè quei punti critici del sistema climatico terrestre⁶² per cui l’attività umana potrebbe portare a un superamento di una soglia critica (*tipping point*): il verificarsi di una piccola perturbazione potrebbe qualitativamente alterare lo stato o l’evoluzione del sistema climatico provocando, a cascata, un’ampia scala di impatto sui sistemi umani e naturali. Le attività antropiche hanno, infatti, la potenzialità di far transitare i sistemi naturali verso altri stati che potrebbero produrre effetti negativi per le società umane stesse. Lo studio indica 15 aree o fenomeni sui quali le ricerche sin qui svolte stanno indagando in merito all’ipotesi che possa verificarsi un passaggio critico nell’arco di periodi più brevi di quelli previsti. Il fatto che alcuni di questi *tipping element*, sottoposti a un continuo cambiamento climatico antropogenico, possano raggiungere la loro soglia critica tra qualche decennio o tra un secolo impone risposte politiche urgenti per evitare che ciò possa accadere. Le 15 situazioni riguardano: la formazione del ghiaccio marino artico, la calotta continentale della Groenlandia, la calotta continentale dell’Antartico occidentale (WAIS, *West Antarctic Ice Sheet*), la circolazione termoalina dell’Atlantico (THC, *Atlantic Thermoaline Circulation*), il cosiddetto El Niño (ENSO, *El Niño Southern Oscillation*), il monzone estivo indiano (ISM, *Indian Summer Monsoon*), il monzone occidentale Sahara/saheliano (WAM, *Sahara/Sahel and West African Monsoon*), la foresta tropicale amazzonica, la foresta boreale, l’*Antarctic Bottom Water* (AABW), la tundra, il permafrost, gli idrati di metano nel mare, la perdita di ossigeno negli oceani e l’ozono artico.

4.2. Accelerazione delle concentrazioni di gas serra nell’atmosfera

Nel settembre del 2008 sono stati resi noti, dal prestigioso e autorevole programma internazionale *Global Carbon Project*, i risultati del *Carbon Budget 2007*⁶³, secondo cui l’incremento annuale di anidride carbonica (o biossido di carbonio, CO₂) nella composizione chimica dell’atmosfera per il 2007 è risultato pari a 2,2 ppmv (parti per milione di volume) contro gli 1,8 ppmv del 2006, quando nell’ultimo ventennio è stato pari a 1,5 ppmv. Questo incremento ha portato la concentrazione di anidride carbonica nell’atmosfera a 383 ppmv nel 2007, cioè il 37% al di sopra di quella esistente all’inizio della Rivoluzione Industriale (pari a circa 280 ppmv). Gli ultimi dati di misure di concentrazione atmosferica di CO₂, pubblicati sul sito web dell’*US National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), mostrano come, nel 2008, la concentrazione globale media di anidride

⁶² Lenton T.M. *et al.*, Tipping elements in the Earth’s climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, 105(6), 1786-1793. Vedasi anche U.S. Climate Change Science Program, 2008, Abrupt ClimateChange, U.S. Geological Survey.

⁶³ Global Carbon Project, 2008, Carbon budget and trends 2007, <http://www.globalcarbonproject.org>.

carbonica abbia già superato le 383 ppmv⁶⁴. La comunità scientifica ha documentato come l'attuale concentrazione sia la più alta degli ultimi 800.000⁶⁵.

Le emissioni di carbonio⁶⁶ dovute all'utilizzo dei combustibili fossili sono salite dai 6,2 miliardi di tonnellate del 1990 alle 8,5 miliardi di tonnellate nel 2007. Il tasso di crescita è stato del 3,5% l'anno nel periodo 2000-2007, un incremento di quasi quattro volte rispetto allo 0,9% annuo del periodo 1990-1999. L'attuale tasso di crescita delle emissioni per il periodo 2000-2007 eccede i più alti scenari di crescita delle emissioni per il decennio 2000-2010 presentati dallo “*Special Report on Emissions Scenarios*” (SRES) realizzato dall'IPCC⁶⁷. I maggiori incrementi delle emissioni si sono avuti nei paesi di nuova industrializzazione, *in primis* Cina e India. Le emissioni dovute ai combustibili fossili e alle industrie cementifere hanno rilasciato approssimativamente 348 miliardi di tonnellate di carbonio nell'atmosfera dal 1850 al 2007. La capacità dei sistemi naturali, in particolare quella degli oceani, di “catturare” tutto questo carbonio sta progressivamente riducendosi. L'efficienza della capacità di sequestro da parte dei sistemi naturali è scesa del 5% nell'arco degli ultimi 50 anni: cinquant'anni fa per ogni tonnellata di anidride carbonica emessa in atmosfera i “serbatoi” naturali ne sequestravano 600 kg. Oggi ne rimuovono 550 kg. Negli ultimi 15 anni, circa la metà delle emissioni di CO₂ derivate dall'attività umana è stata assorbita dalle terre e dagli oceani. Ma la capacità di questi “serbatoi” naturali sta diminuendo⁶⁸ a ritmi più elevati di quelli previsti negli studi precedenti. Vale a dire che una crescente percentuale della CO₂ emessa dalle attività umane rimarrà nell'atmosfera contribuendo al riscaldamento globale⁶⁹.

Quindi le emissioni antropogeniche di CO₂ sono cresciute più velocemente dal 2000 rispetto al decennio Novanta, nonostante gli sforzi avviati nei diversi paesi che hanno sottoscritto il Protocollo di Kyoto (nell'ambito della Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici delle Nazioni Unite). Gli scienziati del *Global Carbon Project* ricordano come tutti questi mutamenti, che caratterizzano il ciclo del carbonio, stiano producendo un grande *forcing* del sistema climatico in una maniera molto più rapida di quanto precedentemente atteso⁷⁰. Un riesame degli impatti climatici, riportati nel IV Rapporto dell'IPCC, indica come siano necessari, entro il 2050, tagli dell'ordine del 50-85% nelle emissioni globali di gas serra, rispetto ai livelli del 2000, a fine di contenere l'aumento medio delle temperature globali probabilmente sotto i 2°C (rispetto al periodo preindustriale) e di limitare gli

⁶⁴ Vedasi <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends>.

⁶⁵ Lüthi D., Le Floch M., Bereiter B. *et al.*, High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present. *Nature*, 2008, 453, 379-382.

⁶⁶ Ogni tonnellata di carbonio equivale a 3,67 tonnellate di anidride carbonica.

⁶⁷ IPCC, 2000, *Special Report on Emissions Scenarios*, IPCC.

⁶⁸ La Quere C. *et al.*, Saturation of the Southern Ocean CO₂ sink due to recent climate change. *Science*, 2007, 316(5832), 1735-1738.

⁶⁹ Canadell J.G. *et al.*, Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2007, 104(47), 18866-18870.

Raupach M.R. *et al.*, Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2007, 104(24), 10288-10293.

⁷⁰ Vedasi i già citati siti <http://www.globalcarbonproject.org> e <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends>.

impatti climatici entro livelli più “accettabili”. Un taglio di tale entità farebbe stabilizzare la concentrazione atmosferica di gas serra a 445-490 ppmv di CO₂ equivalenti. Tuttavia, anche un abbattimento dell’80% delle emissioni non sarebbe in grado di annullare completamente i danni e comunque richiederebbe molti più sforzi di quelli attualmente pianificati per evitare quelli più gravi⁷¹. Un recentissimo lavoro scientifico firmato da illustri climatologi⁷² dimostra come il cambiamento climatico, che sta avendo luogo a causa dell’incremento della concentrazione di anidride carbonica nell’atmosfera, sarà ampiamente irreversibile per i 1.000 anni successivi all’eventuale blocco delle emissioni attuali.

4.3. Criosfera

L’Oceano Artico sta perdendo i suoi ghiacci probabilmente decine di anni prima rispetto alle proiezioni presentate nel IV Rapporto dell’IPCC⁷³. La comunità scientifica che studia l’Artico conviene che i principali aspetti di questa accelerazione siano causati da meccanismi di *feedback* dovuti alla riduzione dei ghiacci artici: a causa del riscaldamento globale i ghiacci marini artici si riducono maggiormente in estate determinano un maggiore assorbimento di energia solare da parte della superficie oceanica scura (rispetto alla superficie chiara dei ghiacci)⁷⁴ il che determina un riscaldamento delle acque oceaniche che renderà ancora più difficile il riformarsi dei ghiacci negli inverni successivi. Non a caso autorevoli scienziati affermano che stiamo avvicinandoci al possibile sorpasso di una soglia critica del sistema di ghiacci marini artici. Questo significa che l’Oceano Artico potrebbe essere libero dai ghiacci nei periodi estivi il che amplificherà ulteriormente il riscaldamento globale attraverso un minore effetto albedo e attraverso cambiamenti nelle correnti oceaniche. Tutto ciò può verosimilmente aprire le porte a un cambiamento climatico ancora più rapido e brusco di quanto sia stato descritto nei vari scenari climatici finora⁷⁵. Il 2008 è stato il secondo peggior anno, dopo il 2007, per l’estensione di ghiacci marini artici, registrata alla fine di settembre, periodo dell’anno in cui termina la fusione naturale dei ghiacci causata dalla stagione estiva. Da quando esistono le registrazioni da satellite, cioè dal 1979, la superficie estiva dei ghiacci si è ridotta del 34%. Nel 2005 ammontava a 5,57 milioni di kmq, nel 2007 a 4,28 milioni di kmq (l’anno con la minore

⁷¹ Parry M., Palutikof J., Hanson C. e Lowe J., Squaring up to reality. *Nature reports to climate change*, 2008, 2, 68-70.

⁷² Solomon S. *et al.*, Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, 106(6), 1704-1709.

⁷³ Stroeve J. *et al.*, Arctic sea ice decline: faster than forecast. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34, L09501, doi: 10.1029/2007GL029703.

⁷⁴ Tale fenomeno, noto come effetto albedo, tiene conto della diversa capacità riflettente delle superfici ghiacciate e marina.

⁷⁵ Study of Arctic Environmental Change, 2008, Sea ice outlook, <http://www.arcus.org/SEARCH/seaiceoutlook> WWF, 2008, Arctic Climate Impact Science - un *update* since ACIA, WWF International <http://www.panda.org>.

estensione da che esistono i monitoraggi satellitari) mentre nel 2008 è stata registrata una superficie di 4,67 milioni di kmq⁷⁶.

Anche i ghiacciai costieri nella Penisola Antartica Occidentale stanno perdendo ghiaccio più velocemente e contribuendo in misura maggiore all'innalzamento del livello medio globale del mare rispetto a quanto riportato nel IV Rapporto dell'IPCC⁷⁷. Inoltre, un recente studio ha mostrato come il riscaldamento si estenda ben oltre la Penisola Antartica Occidentale e interessi quasi tutto l'Antartide occidentale con un tasso di riscaldamento di oltre 0,1°C per decennio negli ultimi 50 anni⁷⁸.

4.4. Livello dei mari

Dal 1990, il livello medio globale marino si sta innalzando di una volta e mezzo più velocemente rispetto a quanto mostrato negli scenari del III Rapporto dell'IPCC (pubblicato nel 2001⁷⁹). Oltre a questo, nuovi studi hanno previsto come l'innalzamento del livello marino medio globale, entro la fine del secolo, sarà più del doppio del valore massimo stimato (0,59 m) addirittura dal IV e ultimo Rapporto dell'IPCC⁸⁰. Un tale aumento, pari a oltre 1,2 m, metterà a rischio vaste aree costiere, in Europa e nel resto del mondo.

4.5. Cibo, agricoltura e pesca

Il benessere della società dipende dalla disponibilità e dalla distribuzione del cibo. Lobell e Field⁸¹ hanno dimostrato come il trend di aumento delle temperature medie mondiali dal 1981 abbia già portato a una riduzione dei raccolti globali di mais, frumento e orzo. La perdita annuale di raccolti si può quantificare in circa 40 milioni di tonnellate o 5 miliardi di dollari (3,2 miliardi di euro). Con le temperature in continuo aumento, Lobell e collaboratori⁸² hanno predetto come le due regioni che maggiormente patiranno la riduzione dei raccolti saranno l'Asia e l'Africa meridionale; in particolare, ritengono che le colture principalmente penalizzate saranno quelle più importanti per la maggior parte della popolazione che vive in quelle aree del mondo. Tubiello e Fischer⁸³ hanno mostrato come la riduzione delle emissioni di gas serra potrebbe ridurre del 75-100% il costo economico della perdita di

⁷⁶ National Snow and Ice Data Center, www.nsidc.org 2008; in merito ai problemi generali riguardanti la fusione dei ghiacciai è bene consultare i rapporti redatti dallo *United Nations Environment Programme* (UNEP) sul sito <http://www.grid.unep.ch/glaciers>.

⁷⁷ Pritchard H.D. e Vaughan D.G., Widespread acceleration of tidewater glaciers on the Antarctica Peninsula. *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112, F03S29, doi:10.1029/2006JF000597.

⁷⁸ Steig E.J. *et al.*, Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year. *Nature*, 2009, 457, 459-462.

⁷⁹ Rahmstorf S. *et al.*, Recent climate observations compared to projections. *Science*, 2007, 316(5825), 709.

⁸⁰ Rahmstorf S., A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science*, 2007, 315(5810), 368-370.

Rohling E.J., High rates of sea-level rise during the last interglacial period. *Nature Geoscience*, 2007, 1, 38-42.

⁸¹ Lobell D.B. e Field C. B., Global scale climate-crop yield relationship and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters*, 2007, 2, 014002, doi:10.1088/1748-9326/2/1/014002.

⁸² Lobell D.B. *et al.*, Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 2008, 319(5863), 607-610.

⁸³ Tubiello F.N. e Fischer G., Reducing climate change impacts on agriculture: global and regional effects of mitigation, 200-2080. *Technological Forecasting and Social Change*, 2007, 74, 1030-1056.

raccolti causata dal cambiamento climatico e come il numero delle persone a rischio di malnutrizione potrebbe calare del 70-80%. Nel suo lavoro, Brander⁸⁴ ha concluso come la produttività della pesca possa subire un declino locale e globale, come risultato del riscaldamento climatico, e come questo declino possa già essere in atto.

4.6. Ecosistemi

Gli impatti del cambiamento climatico vanno al di là delle società umane e coinvolgono anche gli ecosistemi di tutto il mondo. Rosenzweig e collaboratori⁸⁵ hanno confermato che il cambiamento climatico stanno agendo negativamente e in maniera significativa sulla biofisica di tutti gli ecosistemi mondiali. Si stanno fondendo i ghiacci di tutti i continenti⁸⁶, i laghi e i fiumi si stanno scaldando, l'erosione delle coste è in aumento. La primavera sempre più anticipata sta avendo gravi conseguenze sulle piante, che anticipano i periodi di fioritura, sui periodi di migrazione e di riproduzione e, soprattutto negli oceani, sullo spostamento sempre più a nord di alcune specie a causa dell'aumento della temperatura dell'acqua. Williams e collaboratori⁸⁷ sostengono che, a causa del cambiamento climatico, nelle zone tropicali e subtropicali si rileveranno condizioni climatiche sempre più calde, mentre le condizioni climatiche tipiche delle regioni tropicali montane e delle regioni polari molto probabilmente si perderanno. La scomparsa così rapida di questi climi rischia di far aumentare la probabilità che le specie non riescano ad adattarsi, fenomeno particolarmente probabile, per esempio, ai tropici come confermato anche dagli studi di Williams e collaboratori, Tewksbury e collaboratori e Deutsch e collaboratori⁸⁸ che avvertono come il rischio più grande di estinzione di massa risieda proprio in quei luoghi, caratterizzati da la maggiore biodiversità. Questi allarmi vanno ad aggiungersi a quelli avanzati dal IV Rapporto dell'IPCC, che aveva già stabilito come un aumento della temperatura media di 1,5-2,5°C, rispetto alle temperature attuali, determinerà per oltre il 30% delle specie un rischio di estinzione. Uno studio recente⁸⁹, condotto su quasi 3.000 specie di uccelli, mammiferi e anfibi delle Americhe, mostra come sarà a rischio di estinzione locale il 10% dei vertebrati. I maggiori cambiamenti nella fauna si avranno nei biomi della tundra, nell'America centrale e nelle Ande dove fino al 90% delle specie attualmente presenti potrebbe essere sostituito da altre specie di vertebrati.

⁸⁴ Brander K.M., Global fish production and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, 104(50), 19709-19714.

⁸⁵ Rosenzweig C. *et al.*, Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature*, 2008, 453, 353-357.

⁸⁶ Vedasi nota 27.

⁸⁷ Williams J.W. *et al.*, Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2007, 104(14), 5738-5742.

⁸⁸ Per Williams vedasi nota 24; Tewksbury J.J. *et al.*, Putting the heat on tropical animals. *Science*, 2008, 320 (5881), 1296-1297; Deutsch C.A. *et al.*, Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, 105(18), 6668-6672.

⁸⁹ Lawler J. *et al.*, Projected climate-induced faunal change in the Western Hemisphere. *Ecology*, 2009, 90(3), 588-597.

L'analisi di 542 specie di piante e 19 specie animali in 19 paesi europei ha inequivocabilmente dimostrato come le attività di queste specie, soprattutto in autunno e primavera (per esempio, la fioritura e la maturazione dei frutti nelle piante e la migrazione degli uccelli) siano cambiate a causa dei *trend* di riscaldamento globale che si stanno osservando⁹⁰.

Gli ecosistemi marini nel Mare del Nord e nel Mare Baltico sono esposti incrementi di temperature più che avvengono a velocità troppo elevate perché le specie riescano ad adattarsi in tempo e questo provoca profondi cambiamenti negli stessi ecosistemi⁹¹.

Nel nord Europa i danni causati alle foreste di betulle da insetti che si nutrono di foglie saranno almeno raddoppiati a causa del riscaldamento globale che modifica i processi riproduttivi dei parassiti⁹². Questo aumento dei danni causati dagli insetti può condizionare l'evoluzione futura delle foreste⁹³.

4.7. Salute

L'eccezionale ondata di caldo e siccità che ha colpito l'Europa nell'estate del 2003 (oltre 6°C rispetto ai valori medi del periodo) ha provocato oltre 50.000 morti (a causa del caldo anomalo e dell'aumento dell'ozono troposferico) dimostrando la scarsa capacità adattiva dei Paesi industrializzati a eventi estremi di questo tipo. Inoltre, sempre nel corso dell'estate 2003, boschi, foreste e suoli europei invece di funzionare come *sink*, assorbitori della CO₂ atmosferica, hanno funzionato come *source*, sorgenti di emissione, emettendo complessivamente 1 miliardo e 850 milioni di tonnellate di CO₂⁹⁴, quantificabile nella perdita, in soli 2 mesi, di tutta la biomassa e la materia organica accumulate nei 4 anni precedenti in Europa⁹⁵. Con le temperature che continuano ad aumentare, i livelli di ozono troposferico si avvicineranno sempre di più a quelli dell'estate 2003, con gli incrementi più significativi previsti in Inghilterra, Belgio, Germania e Francia⁹⁶. Nella regione mediterranea, a temperature sempre più elevate si accompagneranno ondate di calore, come quelle dell'estate 2003, che saranno fino 3 volte più frequenti, entro la fine del secolo. È quindi necessario un sostanziale abbattimento delle emissioni

⁹⁰ Menzel A. *et al.*, European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 2006, 12(10), 1969-1976.

⁹¹ MacKenzie B.R. *et al.*, Daily ocean monitoring since the 1860s shows record warming of northern European seas. *Global Change Biology*, 2007, 13(7), 1335-1347.

⁹² Kozlov M.V., Losses of birch foliage due to insect herbivory along geographical gradients in Europe: a climate-driven pattern? *Climatic Change*, 2008, 87(1-2), 107-117.

⁹³ Wolf A. *et al.*, Impact of non-outbreak insect damage on vegetation in northern Europe will be greater than expected during a changing climate. *Climatic Change*, 2008, 87(1-2), 91-106.

⁹⁴ L'aumento delle temperature ha, infatti, accentuato i processi di respirazione (emissione di CO₂) rispetto a quelli di fotosintesi (assorbimento di CO₂) delle piante e degli ecosistemi vegetali.

⁹⁵ Ciais P. *et al.*, Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 2005, 437, 529-534.

⁹⁶ Meleux F. *et al.*, Increase in summer European ozone amounts due to climate change. *Atmospheric environment*, 2007, 41(35), 7577-7587.

di gas serra affinché possano essere evitati i costi economici e sanitari causati da ondate di calore di tale intensità⁹⁷.

Ridurre le emissioni di gas serra prodotte dall'utilizzo di combustibili fossili determina, inoltre, una diminuzione delle emissioni di quegli inquinanti atmosferici tossici, quali ossidi azoto e di zolfo, metalli pesanti, particolato, con benefici non trascurabili per la salute degli individui. Uno studio della Commissione Europea ha stimato come ogni anno circa 369.000 persone muoiano prematuramente in Europa a causa dell'inquinamento e come tali morti premature - insieme alle cure mediche a esse connesse - costino tra il 3 e il 9% del PIL europeo. Tuttavia, una nuova ricerca, commissionata dal WWF e dal *Climate Action Network* (CAN), ha calcolato che, se l'Europa opterà immediatamente per una politica di riduzione delle emissioni del 30% entro il 2020, rispetto ai livelli del 1990, potranno essere risparmiati altri 25 miliardi di euro l'anno⁹⁸. Le stime sono basate su valutazioni economiche che prendono in considerazione i decessi, le spese mediche dovute alle malattie, i giorni di lavoro persi e il costo dei ricoveri ospedalieri. I risultati di questo studio rivelano come i ricoveri ospedalieri diminuirebbero di 8.000 unità l'anno e come, ogni anno, circa 2 milioni di giornate lavorative verrebbero salvaguardate.

4.8. Acqua

A causa del riscaldamento globale, le precipitazioni annuali nell'Europa settentrionale potrebbero incrementare, aumentando così il rischio di possibili inondazioni. Per i soli bacini del Danubio e della Mosa le stime dei futuri danni causati da inondazioni nei prossimi 100 anni sono dell'ordine di 60-73 miliardi di dollari. Circa 2 milioni di persone in 9 paesi, tra cui gli abitanti di Vienna e Liegi⁹⁹, potranno essere vittime di queste inondazioni.

Contrariamente all'Europa del nord, nel Mediterraneo potrebbero aumentare la frequenza e la durata dei periodi di siccità. Entro la fine del XXI secolo, i suoli di diverse aree mediterranee potrebbero essere completamente asciutti¹⁰⁰. Inoltre, a una complessiva riduzione dei giorni di piovosità potrebbe corrispondere un aumento dell'intensità delle precipitazioni negli eventi piovosi stessi, con incremento del rischio di alluvioni in diverse zone mediterranee.

⁹⁷ Diffendaugh N.S. *et al.*, Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34(L11706), doi:10.1029/2007GL030000, 2007.

⁹⁸ Holland M., 2008, "The Co-benefits to health of a strong EU climate change policy", October 2008. The report was authored by Dr Mike Holland, an independent consultant who has worked with the European Commission and the World Health Organisation on similar cost-benefit analyses. For this paper, Dr Holland used the European Commission's model.

⁹⁹ Feyen L. *et al.*, 2006, PESETA - Flood risk in Europe in a changing climate, European Commission Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Report EUR 22313 EN.

¹⁰⁰ Sheffield J. *et al.*, Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. *Climate Dynamics*, 2008, 31, 79-105.

I ghiacciai delle Alpi svizzere si stanno fondendo sempre più velocemente, provocando la formazione di laghi. Tale *trend* di fusione dei ghiacci è pressoché impossibile da arrestare o invertire, almeno nel prossimo futuro¹⁰¹.

Studiando il sistema di produzione di energia idroelettrica delle Alpi svizzere è possibile prevedere come questa, nel periodo 2070-2099, possa calare del 36% rispetto al periodo 1961-1990, sempre a causa del riscaldamento globale¹⁰².

Secondo le proiezioni climatiche, per l'incremento delle temperature medie globali, l'intensità dei cicloni sulle isole britanniche e sul Mare del Nord potrebbero aumentare; gli effetti collaterali di queste tempeste si ripercuoteranno peraltro su tutta l'Europa centrale¹⁰³. Senza l'adozione di misure di adattamento, le perdite economiche causate da queste tempeste aumenteranno, in Gran Bretagna e Germania, del 37% tra il 2060 e il 2100¹⁰⁴. Nel 2005 i volumi di legname, corrispondenti alla raccolta annuale di due paesi, come la Svezia e la Lettonia, sono andati distrutti a causa di una singola tempesta. Alcuni modelli matematici rivelano che, a causa del riscaldamento globale, la velocità dei venti potrebbe aumentare nella Svezia meridionale, con conseguenze sull'industria del legno del Paese¹⁰⁵.

5. Gli impatti del cambiamento climatico sugli ecosistemi

L'aumento della temperatura, il cambiamento del regime delle precipitazioni e dei venti e le variazioni di frequenza e intensità degli eventi estremi sono i principali elementi che agiscono sulle specie animali e vegetali, regolando caratteristiche ambientali quali la disponibilità dei nutrienti fondamentali per lo sviluppo dei produttori primari, la copertura dei ghiacci e, in mare, l'intensità dei moti convettivi e avvertivi, la trasparenza e il livello stesso delle acque. Le specie possono rispondere a tali variazioni adattandosi alle nuove condizioni, in virtù della loro plasticità fenotipica, ovvero attraverso la selezione di varianti genetiche la cui fisiologia permetta la sopravvivenza nelle nuove condizioni. Una risposta alternativa o complementare è lo spostamento nel tempo delle fasi del loro ciclo di vita oppure nello spazio, cioè verso latitudini o profondità della colonna d'acqua dove le condizioni siano ancora adeguate o lo siano divenute. Il complesso di cambiamenti fisiologici, fenologici, demografici, geografici di singoli individui o specie porta inevitabilmente a modificare le relazioni trofiche,

¹⁰¹ Paul F. *et al.*, Recent glacier changes in the Alps observed by satellite: consequences for future monitoring strategies. *Global and Planetary Change*, 2007, 56(1-2), 111-122.

¹⁰² Schaeffli B. *et al.*, Climate change and hydropower production in the Swiss Alps: quantification of potential impacts and related modelling uncertainties. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2007, 11(3), 1191-1205.

¹⁰³ Pinto J.G. *et al.*, Changing European storm loss potentials under modified climate conditions according to ensemble simulations of the ECHAM5/MPIOM1 GCM. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2007, 7, 165-175.

¹⁰⁴ Leckenbusch G.C. *et al.*, Property loss potentials for European midlatitude storms in a changing climate. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34 (L05703), DOI:10.1029/2006gl027663.

¹⁰⁵ Blennow K., *et al.*, The probability of wind damage in forestry under a changed wind climate. *Climatic Change*, 2008, 87, 347-360.

competitive e, più in generale, interspecifiche. Tutto ciò determina il realizzarsi di impatti complessi e, in ultima analisi, la modificazione degli ecosistemi e della loro biodiversità.

Tralasciando i processi che avvengono su tempi propri dell'evoluzione, gli effetti del cambiamento climatico su specie ed ecosistemi possono essere raggruppati nelle seguenti principali categorie¹⁰⁶:

- impatti sulla fisiologia e sul comportamento;
- impatti sul ciclo vitale;
- impatti sulla distribuzione geografica;
- impatti sulla composizione e sulle interazioni delle specie nelle comunità ecologiche.

È necessario considerare i tempi di risposta che caratterizzano i diversi processi influenzati dal cambiamento climatico, dai tempi brevi per gli impatti sulla fisiologia (giorni-mesi) a quelli più lunghi per le variazioni di areale (anni-decenni), fino alle scale tipiche dei processi evolutivi (centinaia di anni-millenni). In alcuni casi, come per esempio lo spostamento dell'areale di distribuzione di alcune specie di farfalla¹⁰⁷, i tempi di risposta sono comparabili con quelli del cambiamento climatico, tanto che gli eventi registrati possono essere considerati *fingerprint* (impronte digitali ecologiche) e, quindi, indizi del cambiamento climatico stesso¹⁰⁸. Alcuni eventi che riguardano le specie sono addirittura indicatori precoci di cambiamenti in atto a fronte di un segnale climatico non molto evidente, come nel caso della colonizzazione di specie termofile nel mare e di altre “sentinelle” di cambiamenti¹⁰⁹. Gli effetti del cambiamento climatico hanno oggi conseguenze particolarmente gravi nell'alterazione degli ecosistemi, soprattutto nei biomi artico, boreale e alpino, dove il clima è il principale regolatore dell'ecosistema, e lo saranno sempre più tra 50 anni e oltre.

5.1. Gli impatti sulla vegetazione e sugli ecosistemi forestali

La superficie forestale italiana, secondo i dati dell'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi di Carbonio, realizzato dal Corpo Forestale dello Stato nel 2005¹¹⁰ (INFC,2005), è stimata in 10.467.533 ettari, pari al 34,7% del territorio nazionale, e tale superficie risulta in aumento. Il tasso di crescita nel decennio 1990-2000 è stato dello 0,3% l'anno, a fronte di una media europea dello 0,1%.

Il 32% delle formazioni forestali italiane rientra nella regione biogeografica alpina (secondo quanto riportato nella Direttiva Habitat), il 16% in quella continentale e il 52% in quella mediterranea.

¹⁰⁶ Hughes L.L., Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution*, 2000, 15(2), 56-61; Walther G.R. *et al.*, Ecological response to recent climate change. *Nature*, 2002, 416, 389-395.

¹⁰⁷ Parmesan C. *et al.*, Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, 1999, 399, 579-583.

¹⁰⁸ Parmesan C. e Yohe G., A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural system. *Nature*, 2003, 421, 37-42; Roth T.L. *et al.*, Fingerprints of global warming on wild animals e plants. *Nature*, 2003, 421, 57-60.

¹⁰⁹ Duarte C.M. *et al.*, The Mediterranean climate as a template for Mediterranean marine ecosystems: the example of the northeast Spanish littoral. *Progress in Oceanography*, 1999, 44, 245-270; Diaz-Almela E. *et al.*, Consequences of Mediterranean warming events in seagrass (*Posidonia oceanica*) flowering records. *Global Change Biology*, 2007, 13, 224-235; Francour P. *et al.*, Are the Mediterranean waters becoming warmer ? Information from biological indicators. *Marine Pollution Bulletin*, 1994, 28, 523-526.

¹¹⁰ Corpo Forestale dello Stato, 2005, Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi di Carbonio, CFS.

Per quanto riguarda la produzione primaria dei nostri boschi e, nello specifico, il loro ruolo nella mitigazione delle emissioni di gas climalteranti si può affermare che essi contribuiscono in modo sostanziale al bilancio della concentrazione dei gas serra del nostro Paese. Secondo la Quarta comunicazione all'UNFCCC, l'Italia ha emesso nel 2005 circa 493 milioni di tonnellate di CO₂ (Mt CO₂) di cui le foreste hanno assorbito circa 110 milioni di tonnellate, pari al 22% del totale. Altre ricerche nel settore¹¹¹, realizzate nell'ambito del Progetto CarbiUS e CarboItaly, mostrano un assorbimento annuo da parte delle foreste pari a 90,7 Mt CO₂. Va, inoltre, considerato come non tutto il carbonio assorbito dalle foreste possa essere considerato nell'ambito del Protocollo di Kyoto ai fini della riduzione delle emissioni, ma solo una parte di questo pari a circa 10 Mt CO₂ per ogni anno del periodo di impegno (limite stabilito nei negoziati in ambito della UNFCCC e del Protocollo di Kyoto). Le foreste italiane sono, inoltre, fondamentali per la qualità delle acque e per la protezione dei suoli e dei versanti; inoltre, date le peculiarità del nostro territorio, svolgono un ruolo essenziale nel ciclo dell'acqua per quanto riguarda la riduzione dei tempi di corrivazione delle piene e di ruscellamento superficiale. In generale, la vegetazione italiana e le foreste in particolare sono oggi esposte a nuovi rischi dovuti al cambiamento climatico, che possono essere così individuati : a) disgregazione delle biocenosi, potenziale migrazione delle specie e spostamento dei loro areali di distribuzione; b) impatti sullo stato di salute delle foreste: alterazione dell'equilibrio con gli agenti patogeni e c) impatto sugli incendi boschivi.

5.1.1. Disgregazione delle biocenosi, potenziale migrazione delle specie e spostamento dei loro areali di distribuzione

Le tendenze climatiche in atto e quelle previste dagli scenari dell'IPCC sposteranno verso latitudini minori o altitudini più elevate le condizioni climatiche e ambientali tipiche dell'area mediterranea. Questo significa che tutti gli ecosistemi del Mediterraneo tenderanno a “migrare” verso l'Europa centro occidentale e settentrionale o in alto, lungo i versanti delle catene montuose del Paese. La rapidità del cambiamento climatico in atto è però di gran lunga superiore alla velocità di colonizzazione di nuovi spazi di cui sono capaci le specie vegetali, soprattutto quelle dominanti nelle foreste.

Nei prossimi anni è da attendersi, quindi, una progressiva “disgregazione” (o “dissociazione”, come riportato da Ozenda e Borel¹¹²) degli ecosistemi forestali, dei quali solo poche componenti potranno migrare in aree più adatte ai mutati scenari climatici, mentre la maggior parte saranno destinate all'estinzione, almeno a livello locale. Le specie con elevata capacità di spostamento (per es., i grandi

¹¹¹ Papale D. *et al.*, 2005, Assessment of full carbon budget of Italy: the CarbiUS project, Fourth Annual Conference on Carbon Capture & Sequestration, Alexandria, Virginia, 2-5 maggio; Corona P. *et al.*, Confronto sperimentale tra superfici a ceduo tagliate a raso osservate mediante immagini satellitari ad alta risoluzione e tagliate riscontrate amministrativamente. *Forest@*, 2007, 4(3), 324-332.

¹¹² Ozenda P. e Borel J.L., 1995, Possible responses of mountain vegetation to a global climatic change: the case of Western Alps. In: Guisan A. *et al.*, (a cura di), Potential ecological impacts of climate change in the Alps and Fennoscandian mountains, Ed. Conserv. Jard. Bot. Geneve, pp. 137-144.

mammiferi, come orso, lupo e ungulati), in grado di tentare di “sfuggire” alla disgregazione del proprio habitat, si troveranno in condizioni di “disadattamento”, in quanto risulterà per loro impossibile riuscire ad adattarsi in così breve tempo a nuovi ecosistemi in via di formazione, che potranno ricostituirsi solo nell’arco di alcuni secoli. È, insomma, prevedibile “una fase di instabilità negli ambienti forestali, con un peggioramento rispetto alle cenosi mature, causato da una generale rottura delle relazioni ecosistemiche¹¹³”. Le conseguenti modifiche del paesaggio produrranno profonde trasformazioni anche nei settori dell’agricoltura, del turismo, del tempo libero e residenziale. In Italia esistono pochi studi sull’effetto del cambiamento climatico sulla biodiversità, tuttavia recentemente sono state realizzate due ricerche che hanno prodotto scenari di riferimento sulle variazioni di biodiversità, migrazione delle specie e spostamento degli areali di distribuzione¹¹⁴.

I risultati principali ottenuti indicano:

- generale aumento dei limiti altitudinali di distribuzione delle specie, con lo spostamento dei loro areali a quota maggiore;
- generale riduzione degli habitat delle conifere montane e spostamento in quota di latifoglie decidue;
- forte riduzione dell’areale di distribuzione delle specie più mesofile e microterme (faggio, castagno, farnia, aceri montani) danneggiate e, quindi, minacciate di estinzione a livello locale;
- significativa espansione dell’areale di distribuzione delle specie mediterranee (leccio e sughera) a causa di un processo di progressiva mediterraneizzazione delle zone interne pre-appenniniche;
- lieve espansione dell’areale di distribuzione di cerro e olmo, specie con evidenti buone capacità di adattamento.

Tale analisi necessita di considerare anche altri fattori biotici, come la diffusione di patologie indotte dal cambiamento climatico e la presenza di incendi boschivi che potrebbero modificare radicalmente le dinamiche successionali della vegetazione e la loro capacità di diffusione sul territorio.

5.1.2. Impatti sullo stato di salute delle foreste: alterazione dell’equilibrio con gli agenti patogeni

Il clima possiede un ruolo determinante nel regolare la velocità di diffusione di una malattia nello spazio e nel tempo e nel predisporre, o meno, nuovi ospiti all’attacco di patogeni.

¹¹³ Pignatti S., Gli effetti dei cambiamenti climatici sulla biodiversità forestale. *Silvae (Corpo Forestale dello Stato)*, 2007, 8, 145-150.

¹¹⁴ Bruno F. *et al.*, 2007, Progetto Forest Focus «BioRefugia». Analisi dei possibili effetti dei cambiamenti climatici sulla distribuzione delle principali specie arboree forestali in Italia centrale, Relazione scientifica, Università di Roma La Sapienza, Laboratorio di Tecnologie Informatiche per la Vegetazione e l’Ambiente, Roma; Santini M. e Valentini R., 2008, Charter 3 of Climate Change Report: Climate impact scenarios on forest biodiversity and land use changes in Alpine zone. Nell’ambito del progetto INTERREG III B, Alpine Space “Climate Change, Impacts and strategies in the Alpine Space”, partner del progetto MATTM.

L'attuale area di diffusione delle principali malattie forestali, sia endemiche sia epidemiche, è di fatto determinata da precisi limiti climatici. È, inoltre, accertato come il cambiamento climatico globale, oltre a un aumento graduale delle temperature minime e massime, producano un'intensificazione degli eventi estremi, tra cui quelli siccitosi¹¹⁵, con conseguente impatto sugli ecosistemi naturali e semi-naturali, in particolare sulle interazioni all'interno della frazione biotica. In termini fitopatologici, l'equilibrio tra ospiti e patogeni potrebbe fortemente modificarsi con conseguenze difficilmente prevedibili.

Due gruppi di ricerca, quello di Brasier e Scott e quello di Bergot e collaboratori¹¹⁶, utilizzando modelli di simulazione diversi per il binomio *Phytophthora cinnamomi* - *Quercus* spp., hanno evidenziato come un incremento delle temperature, compreso tra 0,5 e 5°C, produrrebbe un aumento dell'attività patogenetica di *P. cinnamomi* e una sua espansione, o movimento del suo areale di diffusione, che determinerebbe il contatto del patogeno con ulteriori ospiti potenziali. A tale proposito, Vettrai e collaboratori¹¹⁷ hanno evidenziato come *P. cinnamomi* non sia presente nel suolo di aree castanicole, caratterizzate da temperature minime del mese più freddo inferiori a 1,4°C, e come un graduale innalzamento delle temperature minime permetterebbe invece lo svernamento di questo patogeno e il suo insediamento in tali aree. Contemporaneamente l'incremento delle temperature massime potrebbe da un lato rendere alcuni ambienti inospitali per organismi patogeni nativi e dall'altro favorire l'invasione di organismi alieni (invasioni biologiche).

Diverso e difficilmente prevedibile è l'impatto sui patogeni dell'aumento della frequenza e durata di eventi estremi, quali la siccità. Nei binomi ospite-patogeno secondario, la siccità agisce come fattore scatenante del processo patogenetico. È il caso di *Biscogniauxia mediterranea* - *Quercus* spp. Negli ambienti mediterranei, *B. mediterranea* è un fungo endofita del genere *Quercus* ove colonizza i diversi organi e tessuti dell'ospite in un rapporto di simbiosi apparentemente indifferente¹¹⁸. Solo in presenza di intensi periodi di siccità, che inducono condizioni di stress idrico nell'ospite, il fungo aggredisce massivamente i tessuti xilematici, meristemati e corticali causando il cosiddetto "cancro carbonioso" che talvolta porta a morte una pianta adulta in un'unica stagione vegetativa¹¹⁹. Le carenze idriche possono avere un grosso impatto anche quando agiscono singolarmente e in successione ad un evento patogenetico. L'attacco di *Phytophthora* spp., in condizioni di siccità prolungata, su piante legnose

¹¹⁵ Beniston M. e Stephenson D.B., Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. *Global and Planetary Change*, 2004, 44, 1-9.

¹¹⁶ Brasier C.M. e Scott J., European oak declines and global warming: a theoretical assessment with special reference to the activity of *Phytophthora cinnamomi* under climate change. *Bull OEPP/EPPO*, 1994, 24, 221-232; Bergot M. *et al.*, Simulation of potential range expansion of oak disease caused by *Phytophthora cinnamomi* under climate change. *Global Change Biology*, 2004, 10, 1539-1552.

¹¹⁷ Vettrai A.M. *et al.*, Occurrence and distribution of *Phytophthora* species in European chestnut stands and their association with Ink Disease and crown decline. *European Journal of Plant Pathology*, 2005, 111, 169-180.

¹¹⁸ Collado J. *et al.*, Identification of an endophytic *Nodulosporium* sp. from *Quercus ilex* in central Spain as the anamorph of *Biscogniauxia mediterranea* by rDNA sequence analysis and effect of different ecological factors on distribution of the fungus. *Mycologia*, 2001, 93, 875-886.

con apparato radicale fino, può innescare un accelerato stress idrico e repentini processi di deperimento¹²⁰.

Allo stato attuale è difficile disporre di un quadro completo per la vegetazione italiana, mancando specifici programmi di ricerca e monitoraggio in questa direzione. Tuttavia, sulla base delle ricerche oggi disponibili sembrano emergere alcune situazioni di criticità che riguardano l'effetto delle prolungate siccità estive sulla funzionalità dei boschi di querce mediterranee. Tale situazione è particolarmente critica per le formazioni a prevalenza di *Quercus cerris* (cerro) che risultano oggi attaccate dal "cancro carbonioso" per circa il 40% della superficie nell'Italia centro-meridionale. Un altro esempio riguarda il possibile scatenarsi di attacchi di *Phytophthora* spp., con particolare riferimento a *Phytophthora cinnamomi*, nei confronti di specie di quercia e, soprattutto, di castagno in risposta all'innalzamento repentino di temperatura.

5.1.3. Impatto sugli incendi boschivi

Gli incendi sono attualmente la causa principale di distruzione dei boschi negli ambienti mediterranei¹²¹. Negli ultimi tre decenni, nei paesi dell'Unione Europea che si affacciano sul Mediterraneo è stata registrata una media di circa 50.000 incendi forestali l'anno e una media annuale della superficie percorsa dal fuoco di circa 700.000 ettari.

In realtà, la dinamica del fenomeno degli incendi è profondamente mutata: se il numero degli incendi di piccole dimensioni ha da sempre interessato gli ambienti mediterranei, sia per cause naturali-accidentali sia per la gestione del territorio, quello degli eventi di grandi proporzioni è cresciuto in misura notevole, in relazione ai repentini cambiamenti di uso del suolo, ad aspetti socio-economici, a interessi speculativi. In tale contesto appaiono particolarmente a rischio le interfacce urbano/rurali in cui gli agglomerati urbani sono direttamente adiacenti alla vegetazione naturale.

La maggior parte degli studi, basati sull'analisi di lunghe serie storiche di osservazione¹²², hanno evidenziato l'aumento della frequenza degli eventi e della superficie bruciata attribuibile all'effetto combinato del clima e del cambiamento di uso del suolo che, a sua volta, ha influenza sulle condizioni meteorologiche. In Sardegna è stata evidenziata una stretta relazione fra i valori dell'*Ichnusa Fire Index*¹²³ e l'estensione delle aree bruciate, nonché un aumento dei giorni con classi di rischio elevato

¹¹⁹ Vannini A. e Valentini R., Influence of water relation on *Quercus cerris* - *Hypoxyylon mediterraneaum* interactions: a model of drought induced susceptibility to a weakness parasite. *Tree Physiology*, 1994, 14, 129-139.

¹²⁰ Vettrano A.M. et al., Evaluation of root damage to English walnut caused by 5 *Phytophthora* species. *Plant Pathology*, 2003, 52, 491-495.

¹²¹ Velez R., 2000, Las quemadas incontroladas como causa de incendios forestales. In: Vega Hidalgo J.A. e Velez Munoz R. (a cura di), Actas de la reunion sobre quemadas prescritas, Cuadernos de la Sociedad Espanola de Ciencias Forestales, 9, 13-27.

¹²² Moreno J.M., 2005, Impacts on natural hazards of climatic origin- forest fires risk. In : A preliminary general assessment of the impacts in Spain due to the effects of climatic change, Ministerio de Meio Ambiente, Spain.

¹²³ Spano D., Georgiadis T., Duce P. et al., 2003 A fire risk index for Mediterranean vegetation based on micrometeorological and ecophysiological measurements. 5th Symposium on Fire and Forest Meteorology, Orlando, FL, USA, 16-20 November 2003; Sirca C., Spano D., Pisanu P. et al., 2006. Ichnusa Fire Index:

in corrispondenza degli anni caratterizzati da eventi estremi (per es., il 2003). Alcuni recenti studi hanno mostrato come gli scenari di cambiamento climatico futuri possano portare a un incremento da 10 a 15 giorni della stagione di incidenza degli incendi boschivi. Tale incremento rappresenta mediamente un aumento dal 17 al 25% della stagione degli incendi con un impatto che potrebbe riguardare dai 10.000 ai 15.000 ettari in più di territorio bruciato.

L'impatto degli incendi ha notevoli conseguenze sulla biodiversità. In particolare si prevedono nel futuro le seguenti criticità:

- aumento degli incendi nelle aree peri-urbane con conseguente impatto su parchi e aree naturalistiche in prossimità di estensioni metropolitane;
- aumento degli incendi in aree montane, non tradizionalmente colpite in passato, soprattutto in aree appenniniche e boschi di faggio;
- aumento dei fenomeni di desertificazione in aree mediterranee sottoposte a incremento nella frequenza di incendi ripetuti.

5.2. Impatto sugli ecosistemi marini

5.2.1. Cambiamento climatico e biodiversità in ambienti costieri e profondi del Mar Mediterraneo

Sebbene occupi solo circa lo 0,82% degli oceani mondiali e lo 0,32% del volume complessivo, il Mediterraneo è un *hot spot* di biodiversità ed è uno dei bacini meglio studiati al mondo. La sua ricchezza di specie (circa 8.500) rappresenta il 7,5% di tutte le specie marine descritte finora (tra il 4 e il 18%, in funzione dei gruppi considerati). I popolamenti marini nel Mediterraneo mostrano una limitatissima similarità con quelli Atlantici. Il Mar Mediterraneo è estremamente diversificato per la presenza di acque "calde" a latitudini temperate in grado di ospitare specie tipiche di ambienti sia temperati sia subtropicali. Inoltre, il bacino è stato ulteriormente diversificato da una complessa storia geologica: negli ultimi 5 milioni di anni, il Mediterraneo ha sviluppato 10 distinte regioni biogeografiche¹²⁴. La bassa profondità media del Mediterraneo (in media circa 1.450 m) e il tempo di ricambio delle masse d'acqua profonde (circa 40-50 anni contro gli oltre 80 anni di altri sistemi oceanici), accoppiati a un elevato livello di endemismi del biota marino (circa il 25% delle specie Mediterranee sono endemiche¹²⁵), evidenziano il rischio di gravi ripercussioni legate al cambiamento

Development and Preliminary Evaluation at Local Scale. V International Conference on Forest Fire Research. Figueira da Foz, Portugal, 27-30 November 2006.

¹²⁴ Bianchi C.N. e Morri C., Marine biodiversity of the Mediterranean Sea: situation, problems and prospects for future research. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, 40, 367-376; Giaccone G., L'origine della biodiversità vegetale del Mediterraneo. *Notiziario della Società Italiana di Biologia Marina*, 1999, 35, 35-51.

¹²⁵ Tortonese E., 1985, Distribution and ecology of endemic elements in the Mediterranean fauna (fishes and echinoderms). In: *Mediterranean Marine Ecosystems*, eds. M. Moraitou-Apostolopoulou and V. Kiortsis, pp. 57-83. Plenum Press, New York; Fredj G., Bellan-Santini D., Menardi M., 1992. Etat des connaissances sur la faune marine mediterraneenne. *Bulletin de l'Institut Oceanographique de Monaco*, 9, 133-145; il già citato Giaccone G., L'origine della biodiversità vegetale del Mediterraneo, *Notiziario della Società Italiana di Biologia Marina*, 1999, 35, 35-51.

climatico in atto, che si ritiene avranno qui un impatto più rapido ed evidente rispetto ad altre aree marine. Questo rende il Mediterraneo un buon modello di studio per valutare la risposta diretta e indiretta degli oceani ai cambiamenti di temperatura e ad altre variabili ambientali legate ai cambiamenti globali.

5.2.2. Impatto su ambienti marini costieri e del largo

L'impatto del cambiamento climatico sulla biodiversità e sul funzionamento degli ecosistemi marini è associabile a diversi fattori, tra cui: innalzamento del livello del mare, delle temperature superficiali, della profondità del termoclino, cambiamento del regime idrologico (per es., le correnti) e del ciclo biologico degli organismi, acidificazione delle acque. Il previsto aumento dell'erosione costiera avrà effetti negativi sulle praterie di fanerogame (*Posidonia oceanica*, *Nanozostera noltii* e *Cymodocea nodosa*) habitat chiave per il reclutamento di organismi marini. Il riscaldamento del Mar Mediterraneo, per quanto concerne le masse d'acqua sia superficiali sia profonde¹²⁶, ha già determinato cambiamenti in termini di biodiversità¹²⁷ tra cui: a) migrazione verso nord di specie dal sud del Mediterraneo (per es., *Astroides calycularis*, *Sparisoma cretense*¹²⁸); b) introduzione di specie esotiche (per es., *Fistularia commersonii*, *Caulerpa* spp.¹²⁹), incluse specie che causano *bloom* tossici (per es., tra le alghe fioriture di *Ostreopsis ovata*, *Fibrocapsa japonica*); c) *bloom* di meduse pericolose (per es., *Carybdea marsupialis*¹³⁰); d) introduzione di altre specie bentoniche¹³¹. Specie relitte con affinità nordica del Nord Adriatico (*Fucus virsoides*, *Tricyclusa singularis*) rischiano di essere sostituite da vicarianti con affinità per acque più calde. L'aumento anomalo e prolungato delle temperature estive (di 2-3°C) e lo sprofondamento del termoclino hanno indotto una mortalità massiva

¹²⁶ Bethoux J.P., Gentili B., Raunet J. *et al.*, Warming trend in the western Mediterranean deep water. *Nature*, 1990, 347, 660-662; Astraldi M., Bianchi C.N., Gasparini G.P. *et al.*, Climatic fluctuations, current variability and marine species distribution: a case study in the Ligurian Sea (north-west Mediterranean). *Oceanological Acta*, 1995, 18, 139-149; Bethoux J.P. e Gentili B., The Mediterranean Sea, coastal and deep-sea signatures of climatic and environmental changes. *Journal of Marine Systems*, 1996, 7, 383-394. Walther G. R., Post E., Convey P. *et al.*, Ecological response to recent climate change. *Nature*, 2002, 416, 389-395.

¹²⁷ Francour P., Boudouresque C.F., Harmelin J.G. *et al.*, Are the Mediterranean waters becoming warmer? Information from biological indicators. *Marine Pollution Bulletin*, 1994, 28, 523-526.

¹²⁸ Bianchi C.N., Biodiversity issues for the forthcoming tropical Mediterranean Sea. *Hydrobiologia*, 2007, 580, 7-21; Bianchi C.N., 1997, Climate change and biological response in the marine benthos. Atti del 12° Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, vol. 1, pp. 3-20. AIOL, Genova; Bianchi C. N. e Morri C., Range extension of warm-water species in the northern Mediterranean: evidence for climatic fluctuations? *Porcupine Newsletter*, 1993, 5(7), 156-159; Bianchi C. N. e Morri C., 1994, Southern species in the Ligurian Sea (northern Mediterranean): new records and a review. *Bollettino dei Musei e degli Istituti Biologici dell'Università di Genova* 58-59 (1992-1993), 181-197; Guidetti P., Boero F., Occurrence of the Mediterranean parrotfish *Sparisoma cretense* (L.) (Perciformes, Scaridae) in south-eastern Apulia (SE Italy). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2001, 81, 717-719.

¹²⁹ Dulcic J., Scordella G., Guidetti P., On the record of the Lessepsian migrant *Fistularia commersonii* (Rüppell, 1835) from the Adriatic Sea. *Journal of Applied Ichthyology*, 2008, 24, 101-102; Zibrowius H., Ongoing modification of the Mediterranean marine fauna and flora by the establishment of exotic species. *Mesogee*, 1991, 51, 83-107.

¹³⁰ CIESM, 2002, Alien species introduced by ships in the Mediterranean and black sea. CIESM Workshop Monographs, 20, pp. 136, Monaco www.ciesm.org/publications/

¹³¹ Occhipinti-Ambrogi A., Transfer of marine organisms: a challenge to the conservation of coastal biocoenoses. *Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems*, 2001, 11, 243-251.

della fauna bentonica di fondi duri (per es., spugne e gorgonie quali *Paramuricea clavata*, *Eunicella singularis*, *Lophogorgia ceratophyta* ed *Eunicella cavolini*¹³²) con impatto su 28 specie di invertebrati e cambiamenti radicali nella struttura del popolamento bentonico stesso¹³³. Analoghi impatti sono attesi per ambienti a coralligeno delle piattaforme carbonatiche pugliesi o nelle “tegnue” in Adriatico. Anomalie termiche minacciano la biodiversità delle grotte marine portando alla sostituzione di specie endemiche, tra cui alcune specie di crostacei (per es., misidacei stenotermiti), con altre ad affinità per acque più calde¹³⁴. Alterazioni della temperatura modificano anche la circolazione delle acque con impatto sia sul reclutamento delle larve sia sulla capacità di dispersione di reclute e forme giovanili di organismi marini¹³⁵. L’impatto del cambiamento climatico globale su produttori primari, secondari e terziari sono differenti e possono generare effetti a cascata sulle reti trofiche¹³⁶. Studi recenti hanno evidenziato come anche il Mediterraneo profondo si stia scaldando, con tassi presumibilmente più rapidi di altri oceani¹³⁷. Spostamenti nel funzionamento ecosistemico sono già stati osservati in associazione con variazioni della NAO (*North Atlantic Oscillation*¹³⁸). Continui incrementi di temperatura e salinità sono stati osservati a partire dal 1960, specialmente nel bacino profondo del Mediterraneo occidentale¹³⁹. Ma l’analisi e l’interpretazione di questi cambiamenti sono complicate dalla crescente frequenza di eventi episodici di sprofondamento di masse d’acqua più dense fino a profondità batiali (per es., il transiente del Mediterraneo orientale; gli eventi di “cascading” nel Margine Catalano¹⁴⁰). L’entità e l’estensione di queste alterazioni sono tali da essere chiaramente rilevabili su scala decennale e da determinare cambiamenti potenzialmente rilevanti nelle caratteristiche ambientali ed ecologiche. Importanti anomalie climatiche hanno: modificato le

¹³² Cerrano C., Bavestrello G., Bianchi C.N *et al.*, A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (North-western Mediterranean), summer 1999. *Ecology Letters*, 2000, 3, 284-293.

¹³³ Garrabou J., Perez T., Sartoretto S., Harmelin J.G., Mass mortality event in red coral *Corallium rubrum* populations in the Provence region (France, NW Mediterranean). *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 217, 263-272; Romano J.C., Bensoussan N., Younes W.A.N., Arlhac D., Anomalie thermique dans les eaux du golfe de Marseille durant l’été 1999. Une explication partielle de la mortalité d’invertébrés fixés? *C. R. Acad. Sci. Paris, Sci. Vie*, 2000, 323, 415-427.

¹³⁴ Chevaldonne P., Lejeune C., Regional warming-induced species shift in north-west Mediterranean marine caves. *Ecology Letters*, 2003, 6, 371-379.

¹³⁵ Company J.B., Puig P., Sardà F. *et al.*, Climate influence on Deep Sea Populations. *PLoS ONE*, 2008, 3(1), e1431 doi:10.1371/journal.pone.0001431.

¹³⁶ Boero F., 2001, Adriatic ecological history: a link between jellyfish outbreaks, red tides, mass mortalities, overfishing, mucilages, and thaliacean plankton? CIESM, 2001. Gelatinous Zooplankton Outbreaks: Theory and Practice. CIESM Workshop Monographs, Monaco www.ciesm.org/publications/

Dulcic J. e Grbec B., Climate change and Adriatic ichthyofauna. *Fisheries Oceanography*, 2000, 9, 187-191; Guidetti P., Boero F., Dulcic J., Mass mortality of gilt sardine, *Sardinella aurita* (Clupeidae), in the Adriatic and Ionian seas. *Cybium*, 2002, 26, 317-319.

¹³⁷ Bethoux J.P., Gentili B., Raunet J. *et al.*, Warming trend in the western Mediterranean deep water. *Nature*, 1990, 347, 660-662.

¹³⁸ Molinero J-C., Ibanez F., Nival P. *et al.*, North Atlantic climate and northwestern Mediterranean plankton variability. *Limnology Oceanography*, 2005, 50(4), 1213-1220.

¹³⁹ Béthoux J.P., Durieu de Madron X., Nyffeler F. *et al.*, Deep water in the western Mediterranean: peculiar 1999 and 2000 characteristics, shelf formation hypothesis, variability since 1970 and geochemical inferences. *Journal of Marine Systems*, 2002, 33-34, 117-131; Bethoux J.P. e Gentili B., The Mediterranean Sea, coastal and deep-sea signatures of climatic and environmental changes. *Journal of Marine Systems*, 1996, 7, 383-394.

¹⁴⁰ Canals M., Puig P., Durieu de Madron X. *et al.*, Flushing submarine canyons. *Nature*, 2006, 444, 354-357.

caratteristiche fisico-chimiche delle acque profonde del Mediterraneo orientale causando un immediato accumulo di materia organica sul fondo; alterato i cicli di carbonio e azoto; avuto effetti negativi su procarioti e fauna bentonica¹⁴¹. Le alterazioni termoaline profonde hanno anche modificato significativamente la biodiversità bentonica causando una diminuzione della diversità funzionale¹⁴². Recenti studi hanno dimostrato come la biodiversità marina profonda sia intimamente legata al funzionamento ecosistemico (ovvero alla quantificazione dell'insieme dei processi ecosistemici¹⁴³). Alti livelli di biodiversità sostengono livelli di funzionamento esponenzialmente più elevati di sistemi a bassa biodiversità. La relazione tra biodiversità e funzionamento è determinata dall'effetto che un maggior numero di specie genera nell'efficienza con cui vengono svolti i processi ecosistemici. Il legame esponenziale tra biodiversità e funzione dell'ecosistema marino, comune a tutti i sistemi oceanici, suggerisce come anche perdite minime di biodiversità (20-25%) possano avere effetti profondi sul funzionamento ecosistemico portando a una riduzione dei processi pari al 50-80%, a seconda degli habitat. Gli oceani svolgono un ruolo chiave nella produzione di beni e servizi ecosistemici: rappresentano un importante *sink* (pozzo) di carbonio, contribuiscono alla regolazione del clima (nuclei di condensazione delle nuvole¹⁴⁴), alla produzione di biomassa¹⁴⁵, di geni, di energia e di risorse minerarie, all'abbattimento di inquinanti, al turismo, ecc. Gli oceani forniscono il 16% delle proteine utilizzate per l'alimentazione umana¹⁴⁶ e il 63% del valore finanziario dei servizi ecosistemici¹⁴⁷. Ciò rende l'eventuale perdita di biodiversità cruciale per il sostentamento dei beni e delle risorse che gli ecosistemi marini ci offrono.

Gli impatti previsti sui sistemi marini includono:

- aumento della variabilità di tutti i processi che interessano gli ecosistemi marini;
- aumento della stratificazione delle masse d'acqua che potrebbe ridurre la connessione tra ambienti profondi e costieri con alterazione dei cicli biogeochimici;
- alterazione della produzione primaria e di risorse alieutiche;
- cambiamento nella struttura e distribuzione di comunità planctoniche e bentoniche marine costiere e profonde;
- alterazione dei cicli vitali e riproduttivi delle specie di vertebrati e invertebrati marini con aumento della loro vulnerabilità e dei tassi di estinzione;

¹⁴¹ Danovaro R., Dell'Anno A., Fabiano M. *et al.*, Deep-sea ecosystem response to climate changes: the eastern Mediterranean case study. *Trends in Ecology & Evolution*, 2001, 16(9), 505-510.

¹⁴² Danovaro R., Dell'Anno A., Fabiano M., Pusceddu A., Biodiversity response to climate change in a warm deep sea. *Ecology Letters*, 2004, 7, 821-828.

¹⁴³ Danovaro R., Gambi C., Dell'Anno A. *et al.*, Exponential Decline of Deep-Sea Ecosystem Functioning Linked to Benthic Biodiversity Loss. *Current Biology*, 2008, 18(1), 1-8.

¹⁴⁴ Charlson R.J., Lovelock J.E., Andreae M.O. *et al.*, Oceanic phytoplankton, atmospheric sulfur, cloud albedo and climate. *Nature*, 1987, 326, 655-661.

¹⁴⁵ Wilson R.W., Millero F.J., Taylor J. R. *et al.*, Contribution of Fish to the Marine Inorganic Carbon Cycle. *Science*, 2009, 323, 359-362.

¹⁴⁶ FAO, 2007. The state of world fisheries and aquaculture (2006). In: Book The state of world fisheries and aquaculture 2006 (Editor ed. eds.). pp. 162. City: FAO: 162.

- alterazione delle reti trofiche marine dovuta alla mancata sincronizzazione dei processi di produzione e consumo;
- alterazione della distribuzione e degli effetti dei contaminanti e dell'impatto dell'inquinamento;
- diminuzione della capacità di contrasto all'ingresso di specie non indigene;
- aumento di fenomeni epidemiologici a carico degli organismi marini.

Recenti studi suggeriscono come alcuni di questi cambiamenti in ambiente marino possano essere non reversibili¹⁴⁸. Gli effetti sopraelencati comprometteranno la capacità degli ecosistemi marini di produrre beni e servizi indispensabili a contrastare i cambiamenti in atto, nonché essenziali alla nostra economia (si pensi per esempio al turismo, alla pesca e alle risorse energetiche) oltre che al nostro benessere complessivo.

5.3. Impatto sulle acque interne

I temi più rilevanti attinenti agli impatti ambientali sulla biodiversità e le funzioni degli ecosistemi acquatici possono essere trattati con riferimento alle consuete tipologie di corpi d'acqua: bacini fluviali, laghi, piccole acque lentiche, ambienti di transizione a mare. Questa partizione corrisponde a un'esigenza di ordine pratico e, in ogni caso, riflette il quadro delle differenti competenze specialistiche praticate nello studio degli ambienti acquatici; tale classificazione deve, però, essere riassorbita nel concetto unificante di *Integrated River Basin Management* (Gestione integrata dei bacini fluviali) e, in considerazione anche delle lagune costiere, più in generale in quello di *Integrated Coastal Area and River Basin Management* (Gestione integrata delle aree costiere e dei bacini fluviali).

Si ricorda che in Italia esiste una radicata tradizione di ricerche idrobiologiche ed ecologiche sui laghi riconducibile storicamente all'influenza della scuola di Pallanza (Istituto Italiano di Idrobiologia, ora Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, CNR); ricerche di profilo ecologico-funzionale sui corsi d'acqua e sugli ambienti di transizione sono state condotte con successo negli ultimi 2-3 decenni; di notevole interesse è anche lo sviluppo di una linea di ricerca autonoma sulle piccole acque (stagni, pozze, sorgenti, fontanili).

5.3.1. Impatto sugli ecosistemi fluviali

Sono ampiamente documentate le criticità dei nostri fiumi e torrenti, relativamente alla precarietà degli assetti idraulici e geomorfologici e ai rischi di esondazioni calamitose, così come all'elevata frequenza con cui sono segnalati livelli scadenti di qualità delle acque e prelievi esorbitanti di risorsa idrica per usi talora sconsiderati. L'attuale stato ecologico di gran parte dei corsi d'acqua italiani è anzitutto il

¹⁴⁷ Costanza R., d'Arge R., de Groot R. *et al.*, The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387, 253-260.

¹⁴⁸ Danovaro R., Dell'Anno A., Fabiano M., Pusceddu A., Biodiversity response to climate change in a warm deep sea. *Ecology Letters*, 2004, 7, 821-828.

risultato delle opere di canalizzazione e artificializzazione ispirate alle ferree leggi dell'ingegneria idraulica tradizionale, ulteriormente aggravato nell'ultimo cinquantennio per le trasformazioni radicali che hanno interessato il nostro territorio, tra cui l'impiego di tecnologie ad alto impatto ambientale nell'industria e nell'agricoltura; l'espansione di processi insediativi incontrollati; la semplificazione estrema dei paesaggi delle pianure alluvionali; l'aumento spropositato dei consumi idrici. Tale stato ecologico è destinato, peraltro, a subire un ulteriore deterioramento in relazione al persistere delle tendenze in atto, consolidatesi negli ultimi decenni ed evidentemente associate al cambiamento climatico globale: aumento della temperatura, riduzione delle portate medie, intensificarsi di eventi estremi, protrarsi per mesi delle crisi idriche, emergenza di piene improvvise e distruttive.

Gli effetti del cambiamento climatico su funzioni chiave degli ecosistemi di acque correnti, studiati alla scala di bacino idrografico, sono stati descritti in numerose ricerche. Ci si limita a citare i risultati di alcuni lavori¹⁴⁹ su torrenti e fiumi alpini, in cui è evidenziata l'intensificazione di processi di mineralizzazione e nitrificazione e, di conseguenza, la maggiore deposizione di azoto, correlati all'aumento della temperatura e all'allungamento dei periodi di siccità registrati negli ultimi decenni. Altre evidenze sono fornite da un recente volume pubblicato dal CNR¹⁵⁰ che raccoglie numerosi contributi sugli impatti del cambiamento climatico e sulle relative misure di mitigazione e adattamento. Nello studio delle interazioni tra cambiamento climatico e funzioni ecologiche nei fiumi e nei reticoli idrografici afferenti, l'anello debole è rappresentato dal modesto livello di conoscenze dettagliate sulla biodiversità. Si dispone di repertori faunistici aggiornati per le specie di vertebrati, in particolare per l'ittiofauna¹⁵¹, ma è ancora limitato il numero di casi di studio di ecologia e dinamica di popolazioni che consentano analisi accurate dei pattern di variabilità delle specie in relazione ai cambiamenti ambientali. L'applicazione generalizzata dell'Indice Biotico Esteso per la valutazione di qualità delle acque ha propiziato la raccolta di una mole imponente di dati sul macrozoobenthos, ma raramente questi dati si prestano alla determinazione di indici di biodiversità specifica. Quasi completamente sconosciuta è la composizione delle comunità microbiche di produttori e decompositori (sia planctoniche sia bentoniche) le cui attività hanno un ruolo fondamentale nella modulazione delle *performance* metaboliche degli ecosistemi fluviali. L'azione che si ritiene prioritaria riguarda pertanto la progettazione e attuazione di piani di monitoraggio (ben organizzati e coordinati) che forniscano quadri conoscitivi esaurienti sullo stato della biodiversità degli ambienti

¹⁴⁹ Rogora M., Arese C., Balestrini R., Marchetto A., Climate control on sulphate and nitrate concentrations in alpine streams of Northern Italy along a nitrogen saturation gradient. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2008, 12, 371-381; Rogora M., Guilizzoni P., Lami A., Marchetto A., Mosello A., 2007. Gli effetti del riscaldamento climatico sulla chimica delle acque in ambiente alpino. In: Carli B. *et al.*, (eds). *Clima e Cambiamenti Climatici. Le attività di ricerca del CNR. Consiglio Nazionale delle Ricerche*: 593-596; Rogora M., Mosello R., Climate as a confounding factor in the response of surface water to nitrogen deposition in an area south of the Alps. *Applied Geochemistry*, 2007, 22, 1122-1128.

¹⁵⁰ Carli B., Cavarretta G., Colacino M., Fuzzi S. (eds), 2007. *Clima e Cambiamenti Climatici. Le attività di ricerca del CNR. Consiglio Nazionale delle Ricerche*, pp. 871.

¹⁵¹ Zerunian S., 2002, *Condannati all'estinzione? Biodiversità, biologia, minacce e strategie di conservazione dei Pesci d'acqua dolce indigeni in Italia. Ministero Ambiente Tutela Territorio. Edagricole*, pp. 220.

fluviali e sulla sua evoluzione in relazione alle dinamiche del cambiamento ambientale. È quanto prescrive la Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE che, per le procedure di valutazione dello stato ecologico, si affida a indicatori tratti dall'analisi di composizione e struttura di biocenosi.

5.3.2. Gli impatti sugli ecosistemi lacustri

Le più nette evidenze sugli effetti del cambiamento climatico sullo stato degli ambienti di acque dolci sono fornite da ricerche svolte su laghi per i quali sono disponibili robuste serie di dati ecologici di lungo termine. Risultati di straordinario interesse sono stati ottenuti dall'impiego di tecniche paleolimnologiche che consentono la ricostruzione a diverse scale temporali dell'evoluzione di parametri fisici, chimici e biologici correlabili a significativi cambiamenti ambientali dovuti a cause naturali o antropiche. Le ricerche paleoclimatologiche consentono di separare gli effetti delle variazioni climatiche sull'ecosistema da quelle determinate da attività umane di impatto locale e rappresentano un prerequisito essenziale per la comprensione dell'evoluzione futura del sistema climatico del pianeta e delle potenziali conseguenze dei futuri cambiamenti globali¹⁵². Di particolare rilievo appaiono i risultati di ricerche paleolimnologiche in ambienti estremi (aree polari o di alta quota) fortemente sensibili alle alterazioni legate sia all'attività antropica sia al cambiamento climatico: questi ambienti possono essere utilizzati quali indicatori dei cambiamenti in atto¹⁵³. Anche le ricerche di ambito idrochimico e idrobiologico sui laghi artici e alpini hanno prodotto risultati significativi¹⁵⁴, evidenziando in laghi delle Alpi Centrali (valli Ossola e Sesia) effetti importanti relativi alla maggiore esposizione di rocce e suoli ai processi di "weathering", dovuta alla riduzione dei tempi di copertura nevosa, al pH e al contenuto in soluti delle acque. A questi effetti concorrono anche le variazioni indotte da processi biologici, a loro volta influenzati da fattori meteorologici. Uno studio comparato su serie storiche di dati di struttura dei popolamenti lacustri (plancton, benthos, pesci) in ambienti artici e alpini ha consentito un'analisi degli impatti prevedibili del cambiamento climatico globale sulla fenologia e sulla dinamica delle popolazioni e comunità¹⁵⁵: il tema dei cambiamenti di composizione e struttura delle comunità, in relazione al variare dei regimi

¹⁵² Brauer A., Guilizzoni P., The record of human/climate interactions in lake sediments. *Quaternary International*, 2004, 113, 1-3. Guilizzoni P., Lami A., Marchetto A., Manca M., Musazzi S., Gerli S., 2007. Paleoclimatologia e sedimenti lacustri. In: Carli B. *et al.* (eds). *Clima e Cambiamenti Climatici. Le attività di ricerca del CNR. Consiglio Nazionale delle Ricerche*, 197-200.

¹⁵³ Musazzi S., Marchetto A., Lami A. et al., 2007, Ricostruzioni paleoambientali e paleoclimatiche in ambienti estremi: l'esempio di un lago artico. In: Carli B. *et al.* (eds). *Clima e Cambiamenti Climatici. Le attività di ricerca del CNR. Consiglio Nazionale delle Ricerche*: 295-298.

¹⁵⁴ Rogora M., Guilizzoni P., Lami A., Marchetto A., Mosello A., 2007. Gli effetti del riscaldamento climatico sulla chimica delle acque in ambiente alpino. In: Carli B. *et al.* (eds). *Clima e Cambiamenti Climatici. Le attività di ricerca del CNR. Consiglio Nazionale delle Ricerche*: 593-596; Rogora M., Mosello R., Climate as a confounding factor in the response of surface water to nitrogen deposition in an area south of the Alps. *Applied Geochemistry*, 2007, 22: 1122-1128; Rogora M., Mosello R., Arisci S., The effect of climate warming on the hydrochemistry of alpine lakes. *Water Air and Soil Pollution*, 2003, 148, 347-361.

¹⁵⁵ Primicerio R., Rossetti G., Amundsen P.A., Klemetsen A., 2007, Impact of climate change on arctic and alpine lakes: effects on phenology and community dynamics. In: Ørbaek J.B., Kallenborn R., Tombre I., Hegseth E.N., Falk-Petersen S., Hoel A.H. (eds). *Arctic Alpine Ecosystems and People in a Changing Environment*. Springer Berlin Heidelberg, 51-69.

termici e alla concomitante azione di altri fattori di impatto, è affrontato con particolare attenzione al ruolo chiave di regolazione assunto dalle popolazioni di pesci predatori.

5.3.3. Gli impatti sugli ecosistemi di piccole acque (pozze, stagni, acquitrini, ecc.)

Vi è in Europa una crescente consapevolezza dell'importanza che le piccole acque (pozze, stagni, acquitrini per lo più temporanei) svolgono nella conservazione della biodiversità acquatica: esse ospitano complessivamente un numero ben più alto di specie di invertebrati, e in particolare di specie rare e minacciate, rispetto agli altri corpi di acque dolci. Le aree ricche di piccole acque fungono, inoltre, da corridoi ecologici nelle reti di ambienti acquatici e sono considerate "sistemi sentinella" per il monitoraggio del cambiamento climatico globale¹⁵⁶. Esse non godono di forme di tutela e protezione da parte delle Direttive europee Habitat e Uccelli (fatta eccezione per gli stagni costieri temporanei e le torbiere, in cui sono presenti specie di piante, anfibi e uccelli di pregio naturalistico); non sono contemplate nemmeno dalla Direttiva Acque 2000/60/CE e, pertanto, non sono soggette ad alcuna attività di monitoraggio. Anche per questo motivo, le conoscenze faunistiche ed ecologiche di base, in particolare sulla componente di invertebrati, sono gravemente carenti in Italia: i risvolti protezionistici sono negativi, soprattutto alla luce delle numerose specie esclusive, tipiche di questi habitat, che risultano quindi gravemente minacciate¹⁵⁷.

Il riscaldamento globale determina drastici cambiamenti nel ciclo idrologico di questi ambienti, tipicamente stagionali, prolungando i periodi di siccità soprattutto nella regione biogeografica mediterranea. Il protrarsi, inoltre, di lunghi periodi piovosi porta a drastici cambiamenti nelle faune, causando un arricchimento in elementi banali che sostituiscono le specie a elevato valore conservazionistico. Questo problema si va ad aggiungere al generale degrado e alla progressiva scomparsa in Italia di questi habitat dovuti all'antropizzazione (con un tasso di estinzione in alcune aree calcolato tra il 60 e l'80%¹⁵⁸).

5.4. L'impatto futuro del cambiamento climatico sulla biodiversità

Considerato il ruolo primario della biodiversità nel funzionamento degli ecosistemi¹⁵⁹, una delle domande più rilevanti è se il riscaldamento globale porterà a un aumento o a una diminuzione di biodiversità. In genere, le strategie di conservazione della biodiversità si basano sul presupposto che le specie si modifichino su scale temporali molto lunghe. Oggi, con il rapido cambiamento climatico in

¹⁵⁶ Céréghino R., Biggs J., Oertli B., Declerck S., The ecology of European ponds: defining the characteristics of a neglected freshwater habitat. In: Ecology of European ponds. *Hydrobiologia*, 2008, 597, 1-6.

¹⁵⁷ Ruffo S., Stoch F. (eds), 2005, Checklist e distribuzione della fauna italiana. 10.000 specie terrestri e delle acque interne. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. In: Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, 2 serie, Sezione Scienze della Vita, 16, 307 pp. + CD-ROM.

¹⁵⁸ Stoch F. (ed.), 2005. Pozze, stagni e paludi. Quaderni Habitat, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e Museo Friulano di Storia Naturale, 11, 158 pp.

¹⁵⁹ Díaz S., Fargione J., Chapin F.S., Tilman D., Biodiversity Loss Threatens Human Well-Being. *PLoS Biol.*, 2006, 4(8), 1300-1305; Duffy J.E., Stachowicz J.J., Why biodiversity is important to oceanography: potential roles of genetic, species, and trophic diversity in pelagic ecosystem processes. *Marine Ecology Progress Series*, 2006, 311, 179-189.

atto, questa assunzione non è più valida e risulta necessario conoscere come specie ed ecosistemi si comporteranno su una scala temporale molto più breve¹⁶⁰. Basti pensare che, nei secoli recenti, le attività antropiche hanno aumentato i tassi di estinzione fino a 1.000 volte quelli tipici della storia della Terra¹⁶¹.

Per studiare gli impatti attesi del cambiamento climatico sulla biodiversità è necessario conoscere sia come le variabili climatiche evolveranno nel futuro sia come il funzionamento di un ecosistema o di una specie si modificherà in relazione alle variazioni climatiche. I modelli più utilizzati a questo scopo sono quelli bioclimatici (*climate envelope*, in letteratura scientifica). Essi derivano empiricamente la presenza e la distribuzione delle specie tramite una regressione tra variabili climatiche e presenza/assenza di una o più specie. A grande scala, la distribuzione di una specie è essenzialmente correlata a variabili climatiche, quali temperatura, precipitazioni e stagionalità; utilizzando come ingresso nel modello il clima atteso, secondo gli scenari forniti dai modelli climatici globali, si ottiene la distribuzione attesa della specie studiata, anche sulla base di ipotesi sulla capacità di dispersione della specie. Attraverso questi modelli si può studiare il rischio di perdita di specie vegetali che, per esempio, in Europa è stimato molto elevato: per 7 scenari di cambiamento climatico globale al 2080, su 1.350 specie studiate (pari al 10% circa della flora nota in Europa) fino al 50% sono a rischio di estinzione; esiste, comunque, elevata variabilità a seconda dello scenario di cambiamento climatico globale considerato¹⁶². In ogni caso, le aree montane risultano più a rischio (fino al 60% di perdita di specie). Anche l'area del Mediterraneo è considerata tra le più vulnerabili al cambiamento climatico poiché soggetta a numerosi impatti, per esempio scarsità di risorse idriche, aumento del rischio di incendi, diminuzione della capacità di immagazzinamento del carbonio, spostamento di specie verso latitudini maggiori. È stata valutata la variazione di specie vegetali in Europa e in Italia nel breve periodo (2020-2050) e nel lungo periodo (2020-2080) per lo scenario SRES A2, sviluppato nell'ambito progetto europeo ATEAM (*Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling*¹⁶³). Più in generale, un'applicazione dei modelli bioclimatici a oltre 1.000 specie, distribuite sul 20% della superficie terrestre, prevede che il rischio di estinzione al 2050 (dovuto alla contrazione delle aree idonee alle specie studiate), vari tra il 18%, nel caso ottimistico di cambiamento climatico contenuto, e

¹⁶⁰ Araújo M.B., Rahbek C., How does climate change affect biodiversity? *Science*, 2006, 313(5792), 1396-1397.

¹⁶¹ MEA, Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.

¹⁶² Thuiller W., Lavorel S., Araújo M.B. *et al.*, Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceeding of National Academies of Science*, 2005, 102(23), 8245-8250.

¹⁶³ Metzger M.J., Leemans R., Schröter D., Cramer W. and the ATEAM consortium, 2004. The ATEAM vulnerability mapping tool. Quantitative Approaches in Systems Analysis No. 27, CD-ROM publication, Office C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology e Resource Conservation (PE&RC), Wageningen, The Netherlands.

il 35%, nel caso pessimistico di cambiamento climatico elevato¹⁶⁴. Va, comunque, sottolineata l'elevata incertezza delle stime a causa della grande variabilità dei modelli bioclimatici stessi¹⁶⁵. Secondo Leemans e van Vliet¹⁶⁶ gli impatti ecologici del cambiamento climatico sono tipicamente sottostimati poiché le analisi scientifiche hanno come ingresso scenari futuri di cambiamento climatico nel medio-lungo termine e non tengono, invece, conto degli effetti che gli eventi estremi (come ondate di calore, siccità, alluvioni) hanno sul breve termine. Tali eventi possono comportare gravi conseguenze sugli ecosistemi e sui sistemi socio-economici. Allo stesso tempo, però, le piccole, continue e progressive variazioni di temperatura o di altre variabili climatiche sono in grado di modificare gli organismi, influenzando sulla loro capacità di risposta e di adattamento. Per esempio, se la temperatura aumentasse di 0,3°C per decennio (3°C al 2100) solo il 30% degli ecosistemi riuscirebbe ad adattarsi; se, invece, la temperatura aumentasse di 0,1°C (1°C al 2100) per decennio, la percentuale di ecosistemi che riuscirebbe ad adattarsi salirebbe al 50%¹⁶⁷.

6. Sinergie con altri impatti dell'azione umana

L'impatto dell'azione umana sugli ecosistemi non è ovviamente dovuto solo all'emissione di gas serra. Molte altre cause concorrono al deterioramento del funzionamento della nostra biosfera. Purtroppo in molti casi gli impatti agiscono sinergicamente arrecando un danno che risulta maggiore della somma dei danni procurati dai singoli impatti. Il cambiamento di uso del suolo è probabilmente il maggiore fattore di impatto sul funzionamento degli ecosistemi¹⁶⁸ e la sua sinergia con l'impatto del cambiamento climatico è particolarmente importante.

6.1. La frammentazione ambientale

La maggiore minaccia di distruzione della biodiversità è causata dai processi di distruzione degli habitat, dovuti all'intervento umano, che provocano una progressiva frammentazione ambientale. Questi fenomeni intervengono su una preesistente eterogeneità ambientale (definita come *patchiness* in ecologia) e conducono a una giustapposizione di tipologie ecosistemiche, di tipo naturale, seminaturale e artificiale, differenti strutturalmente e funzionalmente tra loro.

I fenomeni di frammentazione producono:

- scomparsa e/o riduzione in superficie di determinate tipologie ecosistemiche;

¹⁶⁴ Thomas C.D., Cameron A., Green R.E., *et al.*, Extinction risk from climate change. *Nature*, 2004, 427, 145-148.

¹⁶⁵ Botkin D.B., Saxe H., Araujo M.B. *et al.*, Forecasting the effects of global warming on biodiversity. *Bioscience*, 2007, 57(3), 227-236.

¹⁶⁶ Leemans R., van Vliet A., 2004. Extreme weather: Does nature keep up? Observed responses of species and ecosystems to changes in climate and extreme weather events: many more reasons for concern. Report Wageningen University and WWF Climate Change Campaign.

¹⁶⁷ Leemans R., Eickhout B., Another reason for concern: regional and global impacts on ecosystems for different levels of climate change. *Global Environmental Change*, 2004, 14, 219-228.

- isolamento progressivo dei frammenti ambientali residui sul territorio;
- perdita di qualità dei frammenti residui;
- trasformazione, a scala di paesaggio, della configurazione dei frammenti (aumento di alcune tipologie ambientali a scapito di altre).

La frammentazione ambientale influenza fattori e processi ecologici a tutti i livelli gerarchici (dall'individuo all'ecosistema, al paesaggio) e a scale spaziali e temporali differenti. Ha effetti maggiori laddove siano presenti più specie con ridotte capacità dispersive ed elevata specializzazione ecologica (come avviene, per esempio, negli ambienti estremi). Nei frammenti, le popolazioni, isolate e ridotte di dimensioni, mostrano maggiore vulnerabilità nei confronti di eventi stocastici.

È evidente come la frammentazione e la distruzione degli habitat impediscano eventuali spostamenti o dispersioni, causati o favoriti dal cambiamento climatico, e quindi la pianificazione ambientale dovrebbe favorire processi che garantiscano la continuità territoriale.

È perciò necessaria una qualificata azione di connessione ecologica che consenta, complessivamente, una maggiore capacità di resistenza e resilienza dei sistemi naturali, contribuendo così a una politica di mitigazione degli effetti del cambiamento climatico in atto. Questa azione concreta contribuirebbe al raggiungimento dell'obiettivo, che l'intera comunità internazionale si è data, di ridurre significativamente il tasso di perdita di biodiversità entro il 2010, target ufficializzato nel piano di implementazione del *World Summit for Sustainable Development* delle Nazioni Unite (Johannesburg, 2002), nelle risoluzioni della Convenzione sulla Diversità Biologica e nel *World Summit* delle Nazioni Unite del 2005.

La sfida della conservazione rispetto al cambiamento climatico si concentra sulla realizzazione di strategie finalizzate a rendere gli ecosistemi e le specie meno vulnerabili agli effetti del cambiamento climatico stesso. In termini ecologici questo significa “contenere i danni” (favorendo la resistenza ecologica) e, al contempo, incrementare la possibilità di recupero (favorendo la resilienza ecologica) dei sistemi naturali¹⁶⁹.

Il nostro Paese, a causa della sua conformazione geologica (particolarmente giovane, con la presenza di vulnerabilità di carattere tettonico e vulcanico, con una significativa fragilità di numerosi territori, interessati da fenomeni franosi e di instabilità pedologica) e della sua elevata densità di popolazione presenta gran parte del territorio interessato da situazioni di rischio naturale¹⁷⁰. In Italia si evidenzia così una complessiva debolezza dei sistemi ecologici e sociali (oggi definiti *Social-Ecological Systems* nell'ambito della scienza della sostenibilità). A questa vulnerabilità, che potremmo definire naturale, si aggiungono gli effetti sinergici della profonda trasformazione antropica del territorio (urbanizzazione,

¹⁶⁸ Vedasi, ad esempio, Sala O.E. *et al.*, Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 2000, 287, 1770-1774 nonché il vasto programma internazionale di ricerca *Global Land Project* <http://www.globallandproject.org>

¹⁶⁹ Hansen L.J., Biringer J.L., Hoffman J.R. (eds.), 2003, *Buying Time: A User's Manual for Building Resistance and Resilience to Climate Change in Natural Systems*, WWF International.

edificazione diffusa, *sprawling* urbano, infrastrutturazioni, ecc.), che ne ha fortemente accentuato la frammentazione, e del cambiamento climatico (in particolare, l'estremizzazione degli eventi meteorologici) che nel loro complesso determinano seri problemi allo stato di salute degli ecosistemi e della biodiversità ¹⁷¹.

7. Conclusioni e proposte

7.1. Proposte per l'adattamento della vegetazione e degli ecosistemi forestali

Il possibile cambiamento climatico che abbiamo di fronte è caratterizzato da una grande velocità e, nello stesso tempo, da un acuirsi degli eventi estremi. In particolare, questi ultimi risultano imprevedibili per le piante che hanno sviluppato una memoria genetica del clima e delle sue fluttuazioni nell'arco dell'intera evoluzione biologica, che rende quindi difficile una loro risposta nel breve termine. A ciò si aggiunge il fatto che gli ecosistemi forestali hanno una risposta lenta e spesso non evidente nell'arco temporale della vita di una generazione umana, ma altresì inesorabile e spesso irreversibile quando cominciano ad apparire i primi sintomi.

In questo quadro si impone urgente una politica di monitoraggio e gestione del patrimonio forestale al fine di ridurre i rischi climatici e di proteggerne la funzionalità e i servizi. Dall'insieme delle informazioni scientifiche che, a oggi, sono disponibili si possono trarre le seguenti considerazioni.

7.1.1 Foreste

È necessario:

1. sviluppare un programma di ricerca scientifico nazionale con l'obiettivo di fornire informazioni sulla risposta del patrimonio forestale al cambiamento climatico sia in termini fisiologici e di adattamento biologico sia in termini di alterazione della biodiversità e disponibilità di habitat nonchè sulla risposta ecosistemica e gestionale in termini socio-economici e di adattamento alle realtà del territorio rurale e montano;
2. sviluppare un programma di monitoraggio di lungo termine della funzionalità degli ecosistemi forestali per quanto riguarda sia la biodiversità sia le funzioni biogeochimiche. In particolare, si devono estendere e rafforzare con maggiori dati i programmi di monitoraggio esistenti su scala nazionale, tra cui la rete LTER-Italia e CONECOFOR¹⁷² e la rete nazionale CARBOITALY¹⁷³;

¹⁷⁰ Vedasi APAT, Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, 2006, Annuario dei dati ambientali 2005-2006, APAT.

¹⁷¹ Falcucci A., Maiorano L., Boitani L., Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implication for biodiversity conservation. *Landscape Ecology*, 2007, 22, 617-631.

¹⁷² Vedasi sito del Corpo Forestale dello Stato <http://www.corpoforestale.it>

¹⁷³ Papale D., Il Progetto CARBOITALY: una rete nazionale per la misura dei sink forestali e agricoli italiani e lo sviluppo di un sistema di previsione dell'assorbimento dei gas serra. *Forest@*, 2006, 3(2), 165-167 [online <http://www.sisef.it/>]

3. rafforzare le misure di protezione delle aree di rifugio e dei tipi forestali più minacciati (foreste umide, planiziali e di alta montagna) e istituire reti di aree protette in grado di favorire la migrazione delle specie sulla possibile spinta del cambiamento climatico;
4. rivedere le attuali politiche di gestione forestale, a partire dai regolamenti regionali e dalle prescrizioni di massima, per tenere conto dei rischi del cambiamento climatico, incentivando la complessità strutturale e specifica dei popolamenti forestali, l'adozione di interventi selvicolturali adattativi di bassa intensità ma capillari, la protezione della sostanza organica dei suoli e la funzionalità del ciclo idrologico nella foresta;
5. monitorare la diffusione e distribuzione dei patogeni forestali, nonché modificare le scelte selvicolturali a fini di prevenzione per limitare l'incidenza delle malattie legate al deperimento climatico;
6. sviluppare misure di prevenzione e pianificazione della lotta agli incendi boschivi mediante l'impiego di moderni sistemi di monitoraggio e di modellistica previsionale basati sull'analisi climatica e territoriale.

7.1.2 Agroecosistemi

La principale caratteristica degli agro-ecosistemi è la forte predominanza dell'impatto antropico sulla gestione e sulla funzionalità, anche in termini di biodiversità. Tuttavia, l'impatto del cambiamento climatico determina un forte condizionamento sulle scelte colturali e sulla sopravvivenza di cultivar e varietà agronomiche che rappresentano oggi una parte consistente del prodotto interno lordo del nostro Paese.

L'elemento climatico più rilevante è rappresentato dalla disponibilità di risorse idriche che costituiscono, nel caso dell'agricoltura, circa il 60% dell'intero fabbisogno idrico nazionale. Sotto punto di vista si prevedono scenari di riduzione di produzione, in termini di resa quantitativa, nelle colture non irrigue di circa il 20-30%. Per quanto riguarda le colture irrigue è difficile fare una previsione perché essa dipende dalla possibilità di ottimizzare la capacità nazionale dei bacini e la rete di distribuzione delle risorse idriche. Tuttavia, il dato più preoccupante riguarda la qualità delle produzioni e l'impatto del cambiamento climatico sulle certificazioni di qualità (DOC e DOP) dei prodotti, in particolare vino e olio d'oliva. Vi sono, inoltre, criticità nei confronti di prodotti di nicchia importanti, come la produzione tartuficola e fungina, fortemente legate alla variabilità climatica. In sintesi, le azioni di conservazione e adattamento della biodiversità agricola possono essere così sintetizzate :

1. Azioni a breve periodo
 - conservazione dell'umidità del suolo:
 - introduzione di tecniche di conservazione dell'umidità (no *tillage*, pacciamatura, ecc.);
 - gestione dell'irrigazione (ammontare ed efficienza).

- gestione dei sistemi colturali:
 - impiego contemporaneo di cultivar con caratteristiche diverse (riduzione della variabilità di produzione);
 - cambio dei cultivar;
 - cambio delle pratiche agronomiche (data di semina);
 - cambio del tipo e/o della modalità di impiego di fertilizzanti e pesticidi.
2. Azioni a medio termine:
- cambio dell'uso-suolo per ottimizzare o stabilizzare produzione (per es., sostituzione di colture con alta variabilità inter-annuale, come il frumento, con colture a più bassa variabilità, come i pascoli);
 - sviluppo di nuove cultivar per adattarsi più velocemente agli stress indotti dal cambiamento climatico (miglioramento genetico tradizionale o utilizzo di biotecnologie);
 - sostituzione delle colture per conservare meglio l'umidità del suolo (per es., mais con sorgo)
 - modifiche del microclima per migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua (per es., frangivento, colture intercalari, ecc.).

7.2. Proposte per l'adattamento degli ecosistemi marini

Il raggiungimento di alcuni obiettivi chiave potrebbe contribuire a un adattamento degli ecosistemi marini ai cambiamenti in atto, riducendone gli impatti e aumentandone la resilienza.

Obiettivi:

1. Conservare e ripristinare gli ambienti marini naturali per il mantenimento di alti livelli di funzionalità e produzione di beni e servizi ecosistemici.

Azioni:

- creazione di un network di Aree Marine Protette;
 - modulazione dell'estensione e ampliamento delle Aree Marine Protette per mantenere i servizi ecosistemici offerti con aumento dell'habitat disponibile;
 - estensione della protezione ambientale dai sistemi costieri a quelli profondi del Mediterraneo (inclusi coralli profondi);
 - identificazione degli *hot spot* di biodiversità marina idonei a pratiche di protezione e conservazione;
 - aumento della conoscenza delle interazioni e della connettività tra i diversi ecosistemi marini e/o tra i diversi comparti ecosistemici per poter sviluppare strategie di conservazione appropriate;
 - supporto alle pratiche di sviluppo sostenibile, incluse la pesca e la conservazione della biodiversità e degli ecosistemi marini in paesi del sud del Mediterraneo.
2. Contrastare la perdita di biodiversità specifica legata all'impatto del cambiamento climatico.

Azioni:

- sviluppare strategie a lungo termine per monitorare gli effetti di questi cambiamenti sulla biodiversità e sul funzionamento degli ecosistemi marini costieri e profondi;
 - conoscere gli effetti del cambiamento climatico sui cicli vitali delle specie marine;
 - sviluppare strategie a lungo termine per monitorare la presenza e la distribuzione di specie non autoctone (aliene), in particolare alghe e altri organismi potenzialmente tossici;
 - studiare l'impatto dei cambiamenti sugli *stock* ittici e sulle altre risorse rinnovabili di interesse commerciale e non;
 - contrastare la disposizione di infrastrutture di tipo esteso (barriere frangiflutti emerse);
 - ricostituire un sistema dunale lungo le fasce costiere che ne erano provviste.
3. Conservare e migliorare le condizioni di qualità ecologica degli ambienti marini per migliorarne la risposta al cambiamento climatico.

Azioni:

- approfondire la conoscenza delle alterazioni alle condizioni fisico-chimiche, trofiche e idrodinamiche degli ecosistemi marini;
 - approfondire la conoscenza degli impatti diretti e indiretti dovuti a fenomeni di alterazione e/o contaminazione e degli effetti ecologici a cascata;
 - sviluppare pratiche di *Integrated-Coastal Zone Management (ICZM)* capaci di rispondere in modo dinamico ai cambiamenti in atto (inclusa la rimozione di barriere e strutture che alterano il funzionamento della fascia costiera);
 - identificare gli strumenti opportuni per il rispetto della qualità ambientale e lo sviluppo di pratiche di recupero e restauro ecologico di ecosistemi marini compromessi o danneggiati;
 - identificare le procedure di bonifica ambientale e di decontaminazione dei siti marini contaminati con utilizzo di eco-tecnologie e un approccio volto a ridurre il rischio ecologico associato.
4. Ridurre le carenze conoscitive ed aumentare la capacità di comprensione dei cambiamenti in atto negli ecosistemi marini costieri e profondi.

Azione:

- creare una struttura permanente (per es., un Osservatorio sulla biodiversità marina) per la raccolta e l'integrazione delle informazioni esistenti sulla biodiversità marina nel Mediterraneo.

7.3. Proposte per l'adattamento degli ecosistemi di acqua dolce

Occorre mettere in atto strategie e azioni integrate di prevenzione, mitigazione e adattamento che consentano il recupero della qualità ambientale dei corsi d'acqua.

Alla scala di bacino idrografico e di bacino idrogeologico si dovrà agire su:

- uso sostenibile delle risorse idriche, attraverso la razionalizzazione dei prelievi e dei consumi idrici (obiettivo che impone grande cautela sul versante della progettazione delle opere di bacinizzazione);
- riduzione dell'impermeabilizzazione, attraverso misure drastiche, volte a limitare il consumo dei suoli naturali e dei suoli agricoli;
- valorizzazione delle aree marginali in agricoltura, il cui ruolo è importante anche nel sequestro di CO₂;
- scelte di politiche agricole ecocompatibili.

Al contempo, si dovrà intervenire sulle aste fluviali e sulle fasce riparie perseguendo due obiettivi tra loro strettamente connessi:

1. riassetto idraulico, con l'aumento della capacità di laminazione nelle fasce fluviali e ricostruzione morfologica degli alvei di piena;
2. conservazione e il ripristino dell'integrità ecologica delle aree riparie e, dunque, del ruolo che esse hanno nella modulazione e regolazione di funzioni essenziali (cicli biogeochimici e flussi di energia) dell'ecosistema fluviale.

Sicurezza idraulica e rinaturalizzazione non sono in conflitto: si investe sulla naturalità per avere più sicurezza¹⁷⁴. Si rigetta il modello del fiume canalizzato per aderire all'idea dei corsi d'acqua come sistemi in equilibrio dinamico. L'obiettivo è quello di recuperare i processi e le funzioni dell'ecosistema fluviale, ricongiungendo il fiume alla golena e consentendo a esso di espandersi su un'ampia fascia di mobilità funzionale. Questo obiettivo implica la rivitalizzazione di elementi residui significativi di naturalità, ma richiama anzitutto l'esigenza di ripensare e superare i modelli di gestione ispirati a logiche perennemente "emergenziali". La ricostruzione ecologica, attraverso il ripristino di stati di equilibrio dinamico dei caratteri idrogeomorfologici e ambientali, diventa un'opzione strategica per ridurre il rischio idraulico, conservare la quantità e migliorare la qualità delle risorse del fiume, incrementare le capacità di resistenza e recupero del sistema fluviale stesso. Tutto ciò è conveniente, anche e soprattutto, sotto il profilo economico. La conservazione di una buona qualità delle risorse è condizione essenziale per uno sviluppo sociale ed economico duraturo.

All'affermazione di questo orientamento gestionale ha contribuito in modo decisivo l'evoluzione dell'ecologia fluviale attraverso una vasta sperimentazione su approcci ecosistemici, dal *Watershed*

¹⁷⁴ Nardini A., Sansoni G. (eds), 2006. La riqualificazione fluviale in Italia. CIRF (Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale), pp. 832.

Approach di Likens¹⁷⁵, al *River Continuum Concept*, al *Flood Pulse Concept* al modello di *Struttura Gerarchica*¹⁷⁶. Suggestivo è stato l'apporto della scuola ecoidrologica di Zalewski¹⁷⁷, mentre di forte rilievo applicativo è l'idea delle *Critical Transition Zones*¹⁷⁸, individuate nelle interfacce di interconnessione tra il fiume e le aree umide della fascia riparia come ambiti determinanti nella regolazione dei cicli biogeochimici e degli scambi suolo-acqua-atmosfera¹⁷⁹. In definitiva, lo stato ecologico e la qualità delle acque del fiume dipendono dal grado di connettività nelle tre dimensioni dello spazio: la connettività laterale con ambienti acquatici temporanei o permanenti e la vegetazione delle aree golenali, la connettività longitudinale tra le forme fluviali che da monte a valle sono modellate dai processi di trasporto, erosione e sedimentazione, la connettività con le reti alimentari dell'ambiente iporreico in cui si ha scorrimento sotterraneo delle acque¹⁸⁰. Proposte e azioni di riqualificazione possono essere pensate e attuate con riferimento all'obiettivo di potenziare l'efficienza e la continuità delle interconnessioni lungo le tre direzioni.

L'esempio della situazione di numerosi bacini fluviali italiani conferma la necessità di promuovere un approccio alla gestione della risorsa idrica a scala di bacino idrografico, che tenga in debito conto la complessità delle relazioni tra la componente fisica (idrogeomorfologica, ecologica, climatologia, ecc.) del territorio e quella sociale caratterizzata da usi e impatti. È necessario un approccio che garantisca l'integrazione di politiche territoriali e ambientali - soprattutto per quanto riguarda la gestione delle risorse idriche, dell'agricoltura e della tutela della biodiversità - e che avvii una diffusa azione di tutela e recupero della funzionalità ecologica del territorio, promuovendo "interventi leggeri, polifunzionali e flessibili nella gestione, rispetto a severe infrastrutturazioni del territorio". Inoltre, questo approccio trova ulteriore conferma in quanto emerso da recenti studi¹⁸¹ che hanno evidenziato come l'elevata artificializzazione del reticolo idrografico superficiale sembri essere la causa principale degli eventi estremi (prolungati periodi di siccità, modificazione delle precipitazioni e dei tassi di evapotraspirazione; erosione delle riserve idriche a scala di bacino; intensificazione degli eventi di piena catastrofica) che si stanno verificando, per esempio, nel bacino del Po.

Strumenti già disponibili sono la Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE e la più recente Direttiva sul rischio alluvionale 2007/60/CE. Visti gli enormi ritardi nell'applicazione della Direttiva Acque, è indispensabile un intervento straordinario a livello istituzionale, soprattutto da parte del Ministero

¹⁷⁵ Likens G.E., Beyond the shoreline: a watershed ecosystem approach. *Verh. Internat. Verein. Theoret. Angew. Limnol.*, 1984, 22, 1-22.

¹⁷⁶ Bettinetti R., Crosa G., Galassi S., 2007. Ecologia delle acque interne. CittàStudi Ed., pp. 150.

¹⁷⁷ Zalewski M., Ecohydrology - the use of ecological and hydrological processes for sustainable management of water resources. *Hydrol. Sci. Bull.*, 2002, 47, 823-832.

¹⁷⁸ Ewel K.C., Cressa C., Kneib R.T. *et al.*, Managing Critical Transition Zones. *Ecosystems*, 2001, 4, 452-460.

¹⁷⁹ Bartoli M., Viaroli P., Zone umide perfluviali: processi biogeochimici, funzioni ecologiche, problemi di gestione e conservazione. *Biologia Ambientale*, 2006, 20, 43-54.

¹⁸⁰ Viaroli P., Bartoli M., Rossetti G., Ferrari I., 2008. Recupero, conservazione e adattamento del sistema ecologico padano. Atti Congresso Nazionale "Il Po: una risorsa per l'Italia", Piacenza, 23-24 novembre 2007, in stampa.

¹⁸¹ Zanchettin D. *et al.*, Po River discharge. A preliminary analysis of a 200 year time series. *Climatic Change*, 2008, 89, 411-433.

dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare, per applicare correttamente la Direttiva Europea, rilanciando le Autorità di bacino, come autorità di distretto, e redigendo piani di gestione di bacino idrografico che possano rappresentare una concreta e immediata opportunità per impostare politiche di adattamento a livello di bacino idrografico.

Di seguito, si indicano schematicamente, per comparti tematici, alcune azioni esemplificative di un approccio tecnico - scientifico integrato, mirato a obiettivi di riqualificazione fluviale. Queste azioni si configurano anche come interventi per la prevenzione e la mitigazione dei rischi idraulici e ambientali associabili al cambiamento climatico e devono comunque, qualora attuate, diventare oggetto di studio e verifica della loro efficacia.

1. Regime idrologico:

- implementazione delle conoscenze per una gestione conservativa della risorsa idrica;
- tutela e ripristino, laddove possibile del “flood pulsing” e conseguente adeguamento del deflusso minimo vitale alle esigenze funzionali dell'ecosistema fluviale;
- regolamentazione delle concessioni e degli usi dell'acqua in relazione al controllo del bilancio idrico e al raggiungimento e/o mantenimento del “buono stato ecologico”;
- adattamenti alla risalita del cuneo salino alle foci dei fiumi nei periodi di magra.

2. Continuità laterale e longitudinale:

- adeguamento e/o rimozione di opere trasversali e/o longitudinali in relazione alla mitigazione e compensazione degli impatti;
- riequilibrio del trasporto solido attraverso la gestione dei sedimenti e azioni atte al ripascimento naturale degli alvei;
- minimizzazione del disturbo associato a captazione e rilascio di acque dalle centrali idroelettriche;
- divieto di estrazioni di materiale in alveo, fatto salvo per gli interventi di manutenzione, debitamente regolamentati;
- costruzione di rampe di risalita per l'ittiofauna.

3. Equilibrio morfologico e mobilità funzionale:

- smantellamento di opere di difesa non strategiche;
- riattivazione di processi laterali con il recupero di aree ruderali;
- aumento dello spazio destinato all'espansione delle piene.

4. Rinaturalizzazione:

- riattivazione di forme fluviali relitte;
- recupero funzionale e ripristino ambientale delle aree di cava;
- ricostruzione di microhabitat ripariali (zone umide);
- ricostruzione delle fasce ripariali boscate;
- diffusione di buone pratiche agricole e zootecniche in aree golenali.

5. Qualità delle acque:

- ricostruzione delle aree laterali (zone critiche di transizione) per recuperare processi e funzioni biogeochimiche;
- recupero funzionale del reticolo idrografico secondario (fasce tampone);
- uso generalizzato di ecosistemi-filtro.

6. Protezione:

- introduzione di vincoli di tutela per le aree di elevato pregio conservazionistico;
- adattabilità dei piani di gestione di aree protette o siti di interesse comunitario al cambiamento climatico e ai relativi impatti ambientali.

In merito a problemi di conservazione e buona gestione dei laghi di acque basse si richiamano le indicazioni di un gruppo di esperti olandesi¹⁸². Questi autori ritengono che gli effetti più rilevanti del cambiamento climatico sui piccoli laghi si esprimeranno, tra l'altro, in termini di: riduzione delle specie target di uccelli e diffusione di malattie nell'avifauna; stabilizzazione della dominanza dei cianobatteri nel fitoplancton, riduzione della trasparenza delle acque e aumento complessivo della *carrying capacity* di queste componenti, come nei processi di eutrofizzazione; invasione di specie ponto-caspiche; destabilizzazione dei laghi ad acque trasparenti con buona copertura di macrofite; influenza prevalente di meccanismi bottom-up sui livelli trofici superiori; impatto negativo sulla biodiversità. Gli autori raccomandano interventi focalizzati sulla riduzione dei carichi di nutrienti, sullo sviluppo di zone litorali vegetate e su una gestione adattativa della pesca.

7.4. Un'importante priorità: connessione e ripristino ecologico

I più avanzati studi di biologia della conservazione, che mirano alla conoscenza delle funzioni vitali della biodiversità ed al loro mantenimento, si orientano sulla *Connectivity Conservation*¹⁸³ in cui si possono riconoscere due componenti principali della connettività ecosistemica: quella strutturale o fisica, cioè la sistemazione spaziale dei differenti tipi di habitat e degli altri elementi nel paesaggio, e quella funzionale o comportamentale, cioè le risposte comportamentali di individui, specie o processi ecologici nella struttura fisica del paesaggio.

Riteniamo che, nel nostro Paese, sia necessaria una qualificata azione di connessione ecologica che consenta complessivamente una maggiore capacità di resistenza e resilienza dei sistemi naturali, contribuendo così a una politica di mitigazione e adattamento degli effetti del cambiamento climatico in atto.

Riteniamo, quindi, che un Piano nazionale di adattamento al cambiamento climatico debba essere impostato prioritariamente sul mantenimento dello stato di salute e di vitalità dei sistemi naturali,

¹⁸² Mooij W.M., Hülsmann S., De Senerpont Domis L.N. *et al.*, The impact of climate change on lakes in the Netherlands: a review. *Aquatic Ecology*, 2005, 39, 381-400.

¹⁸³ Vedasi, ad esempio, Crooks K.R. e Sanjayan M. (editors), 2006, *Connectivity Conservation*, Cambridge University Press e Hilty J.A., Lidicker W.Z. Jr. e Merenlender A.M. (a cura di), 2006, *Corridor Ecology*. The

condizioni indispensabili che permettono agli ecosistemi di favorire i processi di adattamento al mutamento climatico e costituire la base fondamentale per raggiungere il “benessere” dei sistemi sociali. Laddove i sistemi naturali sono, infatti, degradati e vulnerabili si abbassano significativamente le loro capacità di reazione, con gravi ricadute anche sui sistemi sociali.

Ciò significa che, prima di impostare qualsiasi approccio tecnologico-infrastrutturale, come reazione all’adattamento al cambiamento climatico, è necessario: favorire la tutela e la corretta gestione del nostro patrimonio naturale, “riconnettere” questo patrimonio attraverso operazioni di ripristino e restauro ecologico, realizzare un sistema di reti ecologiche capaci di favorire le capacità di resistenza e resilienza dei sistemi naturali stessi.

Riteniamo, inoltre, sia necessaria una “grande opera pubblica” per il nostro Paese attraverso il ripristino del nostro territorio. Una simile opera renderebbe l’Italia meno vulnerabile ai mutamenti climatici e rafforzerebbe le nostre capacità di resistenza ad essi.

Nel corso del Congresso 2007 della *Ecological Society of America* (ESA), la più autorevole organizzazione scientifica ecologica internazionale, tenutosi a San Josè (California), insieme alla *Society of Restoration Ecology International* (SER), è stata approvata una dichiarazione congiunta in cui si propone una strategia mondiale volta a mitigare gli effetti del cambiamento climatico sulla base del ripristino ecologico¹⁸⁴ (in inglese *Restoration Ecology*) o rinaturazione¹⁸⁵, oggi definito come il processo destinato a coadiuvare il risanamento di un ecosistema che è stato degradato, danneggiato o distrutto¹⁸⁶. Individuato come un’attività intenzionale che avvia o accelera la ricostituzione di un ecosistema, per quanto riguarda il suo funzionamento, la sua integrità e la sua sostenibilità, il ripristino ecologico costituisce uno dei molti strumenti che possono essere d’aiuto nell’azione di mitigazione del cambiamento climatico.

Come più volte evidenziato, l’umanità dipende dai servizi forniti dagli ecosistemi terrestri e acquatici: per continuare a usufruire di tali servizi è quindi necessario proteggere e, dove possibile, ripristinare gli ecosistemi stessi.

Per affrontare le problematiche indotte dal cambiamento climatico, il ripristino ecologico offre una speranza nei confronti di due aspetti cruciali: 1) la ricomposizione degli ecosistemi frammentati, che consente ad animali e piante di migrare in risposta ai cambiamenti e agli ecosistemi di ristabilire le

Science and Practice of Linking Landscapes for Biodiversity Conservation, Island Press. Vedasi, per l’Italia, il volume di Battisti C. e Romano B., 2008, Frammentazione e connettività, Città Studi Edizioni.

¹⁸⁴ Vedasi i siti dell’Ecological Society of America <http://www.esa.org> e quello della già citata SER <http://www.ser.org>.

¹⁸⁵ La rinaturazione è un termine entrato in uso anche nella normativa italiana ed “è intesa come l’insieme degli interventi e delle azioni atte a ripristinare le caratteristiche ambientali e la funzionalità ecologica di un ecosistema in relazione alle sue condizioni potenziali, determinate dalla sua ubicazione geografica, dal clima, dalle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del sito e della sua storia naturale pregressa” - Autorità di bacino del fiume Po. Direttiva per la definizione degli interventi di rinaturazione di cui all’art. 36 delle norme del PAI. Linee guida tecnico procedurali per la progettazione e valutazione degli interventi di rinaturazione n. 8/2006 del 5 aprile 2006 - GU del 2.2.2008 serie generale n. 28.

¹⁸⁶ Vedasi: Society of Restoration Ecology International (SER), *Primer of Restoration Ecology* <http://www.ser.org>.

proprie strutture e funzioni; 2) la cattura del carbonio tramite il ricostituzione delle foreste, delle zone umide (che facilitano la formazione di torba) e degli altri ecosistemi (che agiscono come *sink* di assorbimento del carbonio¹⁸⁷).

Il grande principio del ripristino ecologico del “Bel Paese” dovrà ispirare il Piano nazionale per l’adattamento al cambiamento climatico, la cui elaborazione dovrebbe essere assunta direttamente dalla Presidenza del Consiglio, alla luce della sua importanza e trasversalità operativa.

Contestualmente, dovrebbe essere da subito avviata una Strategia nazionale per la biodiversità, basata sull’analisi della deframmentazione esistente e delle proposte di connessione e ripristino ecologico; la finalizzazione dei fondi strutturali dell’Unione Europea dovrebbe tenere conto di questi obiettivi e principi; l’applicazione concreta della Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE dovrebbe finalmente consentire una gestione integrata della risorsa idrica del nostro Paese, tutelando e ripristinando gli ecosistemi di acque dolci, fondamentali per il nostro futuro.

Inoltre dovrebbe essere correttamente attuata la Direttiva 2001/42/CEE, sulla Valutazione Ambientale Strategica, il cui recepimento costituisce già un riferimento essenziale in Italia per il corretto governo dell’ambiente e del territorio.

¹⁸⁷ Vedasi i volumi di Falk D.A., Palmer M. e Zedler J. (editors), 2006, *Foundations of Restoration Ecology. The Science and Practice of Ecological Restoration*, Island Press; Aronson J., Milton S., Blignaut J.N. (eds), 2007, *Restoring Natural Capital. Science, Business and Practice*, Island Press; Egan D. e Howell E. A. (eds), 2007, *The Historical Ecology Handbook. A Restorationist’s Guide to Reference Ecosystems*, Island Press.

La missione del WWF è costruire un mondo in cui l'uomo possa vivere in armonia con la natura. Il WWF Italia è un'organizzazione che, con l'aiuto dei cittadini e il coinvolgimento delle imprese e delle istituzioni, contribuisce incisivamente a conservare i sistemi naturali in Italia e nel mondo. Opera per avviare processi di cambiamento che conducano a un vivere sostenibile. Agisce con metodi innovativi capaci di aggregare le migliori risorse culturali, sociali, economiche.

WWF Italia
ONG - ONLUS

Via Po, 25/c
00198 Roma
Italia



for a living planet®

www.

wwf.it