

**Alcuni esercizi sullo sviluppo
delle fonti rinnovabili in Europa**

di

Enzo Di Giulio* e Francesca Gostinelli**

Abstract

Questo articolo si concentra sull'obiettivo europeo di raddoppio della quota delle fonti rinnovabili al 2010. Suo obiettivo principale è quello di misurare i costi e i benefici di tale sforzo e di proporre alcuni scenari energetici, nel contesto del Protocollo di Kyoto. L'indagine è condotta attraverso un modello di system dynamics a quattro settori (energia, industria, trasporti, altri settori) che, sulla base di scenari di crescita, efficienza energetica e mix energetico, calcola i consumi energetici e le emissioni di CO₂ di settore, nonché i costi e risparmi, in termini di emissioni di CO₂ evitate, legati allo sviluppo delle fonti rinnovabili.

This paper investigates the European effort of doubling its renewable sources share by 2010. Its main target is to understand costs and benefits of such an effort and propose some energy scenarios in the context of the Kyoto Protocol. The research is carried out by means of a system dynamics model which considers four sectors: energy, industry, transport, others. For each sector, and on the basis of assumptions on growth, efficiency and fuel mix, the model calculates energy consumptions, CO₂ emissions and savings in CO₂ emissions deriving from the expansion of renewables.

Il 10 maggio 2000, la Commissione Europea ha adottato una proposta di direttiva per la promozione di elettricità da fonti rinnovabili nel mercato dell'elettricità all'interno dell'Unione Europea (EC 2000 (b)). La proposta ambisce, attraverso la creazione di un contesto di regolazione certo e nel rispetto del principio di sussidiarietà, a favorire la penetrazione delle fonti rinnovabili in Europa, realizzando il target definito sia nel Libro Verde (EC 1996) che nel Libro Bianco (EC 1997). Questi due documenti prevedevano il raddoppio della quota di rinnovabili al 2010, ovvero una penetrazione pari al 12% del consumo interno lordo (22,1% in termini di consumo di elettricità prodotta da rinnovabili). La proposta della Commissione obbliga gli Stati Membri a definire target individuali coerenti, a livello aggregato, con il raddoppio della quota di rinnovabili auspicato dai due documenti. La Commissione vigilerà sul rispetto dei target da parte dei singoli paesi e, qualora non in linea con l'obiettivo aggregato, potrà obbligarli ad apportare variazioni. Infine, entro cinque anni, la Commissione potrà proporre, basandosi sulle esperienze dei singoli paesi, un sistema di sostegno all'elettricità prodotta dalle fonti rinnovabili. Secondo la Commissione, sono molti i vantaggi che potranno scaturire dallo sviluppo delle rinnovabili: la creazione di nuovi posti di lavoro (500.000-800.000), un risparmio annuale nel consumo di combustibili fossili pari a 3 miliardi di Euro a partire dal 2010, la riduzione dell'importazione di combustibili (17,4%) ed,

infine, una riduzione delle emissioni di CO₂ pari a 402 milioni di tonnellate a partire dal 2010. In altri termini, l'espansione delle rinnovabili influenzerà fortemente il sistema elettrico europeo e potrà offrire un gran contributo al raggiungimento del target previsto dal Protocollo di Kyoto per l'Europa (-8%). Ma quanto costa sviluppare le rinnovabili? Qual è l'extra costo che esse implicano rispetto ad un ciclo tradizionale? E, a fronte di questo extra costo, qual è il risparmio, che esse consentono, in termini di emissioni di CO₂ abbattute? Nell'analisi che segue si cercherà di rispondere a queste domande attraverso alcuni esercizi che, con semplicità, calcolano, a livello europeo, i costi e i benefici dell'espansione delle rinnovabili in diversi scenari.

Metodologia

La ricerca si concentra sui 15 paesi dell'Unione Europea (EU 15) e considera 4 settori: Energia (ENE), Industria (IND), Trasporti (TRA), Altri Settori (ALT). ALT include i servizi, il residenziale ed il settore agricolo. Tutti i dati utilizzati provengono da IEA, OECD ed EC (IEA 2000, OECD 1999, EC 2000a). Le fonti energetiche sono distinte in convenzionali (carbone, petrolio e gas) e rinnovabili (biomassa, solare, eolico, idro e geotermico). Queste ultime sono imputate ad ENE. Il dettaglio delle quote delle diversi fonti in ciascun settore è mostrato, per l'anno 1997 - il più recente per il quale i dati IEA sono disponibili - in Tab. 1.

	Industria	Trasporto	Altri Settori	Energia
Carbone	0,127		0,032	0,283
Petrolio	0,515	1	0,428	0,113
Gas	0,358		0,540	0,132
Nucleare				0,351
Biomassa				0,068
Idro				0,040
Geotermico				0,0042
Solare/Eolico/Altro				0,00233
Torba				0,0054

Tab. 1 – Quote delle fonti energetiche in EU 15, nel 1997

E' possibile notare come nell'Industria circa metà dell'offerta di energia primaria è soddisfatta dal petrolio, mentre il gas, seppure non dominante, è intorno al 36%. Nei Trasporti l'intera quota è attribuita al petrolio, mentre gli Altri Settori dipendono maggiormente dal gas (54%). Infine, nel settore Energia, un ruolo predominante è svolto dal nucleare ed, in subordine, dal carbone, mentre tra le rinnovabili maggiore spazio ha la biomassa seguita dall'idroelettrico. E' opportuno sottolineare come negli esercizi si assuma che tutte le fonti rinnovabili siano imputate al settore

Energia. Ciò dipende, essenzialmente, dai trascurabili valori che le rinnovabili hanno negli altri settori. In ogni caso, tale assunzione, seppur rilevante dal punto di vista della distribuzione delle diverse fonti tra i settori, non influenza i risultati degli esercizi svolti in questa ricerca. Le informazioni quantitative costituiscono il punto di partenza del modello che, basato sulla metodologia dei sistemi dinamici (per una sintesi, si veda Randers J. 1980), deriva i consumi energetici, a livello di settore, come prodotto del livello di attività (valore aggiunto per IND ed ALT, TWh per ENE, passeggero-km e tonnellata-km, per TRA) per l'intensità energetica, mentre le emissioni di CO₂ vengono calcolate come prodotto dei consumi energetici per i coefficienti standard di emissione. Il modello, a partire da certe ipotesi sulla crescita dei livelli di attività, sull'intensità energetica e sulle sostituzioni tra combustibili, deriva le traiettorie, per il periodo 1997-2010, dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂ per settore. E' opportuno sottolineare che l'obiettivo del lavoro non è spiegare le ragioni del cambiamento delle variabili significative (livello di attività, intensità energetica, sostituzioni tra combustibili), quanto piuttosto quello di verificare cosa accade ai consumi energetici e alle emissioni di CO₂ date certe ipotesi, ragionevoli, su variabili significative. Per tale ragione, i livelli di attività, l'intensità energetica e le sostituzioni tra combustibili sono, nel modello, variabili esogene sul cui andamento vengono fatte, a partire dagli andamenti passati, alcune ipotesi. Date tali ipotesi, il modello deriva le implicazioni per consumi energetici ed emissioni di CO₂.

Scenari

Il punto di partenza degli scenari è lo scenario Business as Usual (BAU). Esso viene costruito sull'ipotesi che in ogni settore sia il livello di attività che l'intensità energetica evolvano, nel periodo 1997-2010, seguendo lo stesso trend degli anni 1990-1997, ovvero che siano caratterizzati dallo stesso tasso di variazione media annua. Per quanto concerne il livello di attività, si propongono altri due scenari (Alta Crescita, Bassa Crescita) caratterizzati da tassi di variazione media annua che differiscono, rispetto allo scenario BAU, secondo quanto mostrato in Tab. 2.

	IND	TRA	ALT	ENE
Alta Crescita	+20%	+30%	+40%	+40%
Bassa Crescita	-40%	-30%	-40%	-40%

Tab. 2 - Livello di attività dei settori: scenari di Alta e Bassa Crescita

Entrambi gli scenari sono, per i diversi settori, assai simili. L'unica differenza è che si prevedono variazioni più marcate nel settore energetico e nei servizi, rispetto all'industria e ai trasporti, perché

si assume che sia il processo di apertura dei mercati energetici che l'espansione delle nuove tecnologie informatiche possano avere un maggiore impatto potenziale, sia in positivo che in negativo, su tali settori. Per quanto concerne l'intensità di settore (rapporto tra energia consumata e livello di attività), si suppone che essa evolva come nel periodo 1990-1997 (scenario BAU), oppure che sia caratterizzata da un decremento più marcato risultante, al 2010, in valori più bassi secondo quanto indicato in tab. 3.

	IND	TRA	ALT	ENE
Alta Efficienza	-13%	-20%	-13%	-13%

Tab. 3 – Intensità energetica di settore: scenario di Alta Efficienza

In altri termini, rispetto al BAU, lo scenario di Alta Efficienza assume una diminuzione addizionale dell'intensità energetica settoriale dell'1% all'anno, eccetto per i Trasporti (- 1,5% all'anno). Infine, si propongono due scenari per il mix dei combustibili, Tradizionale o Innovativo, caratterizzati rispettivamente da espansioni intense o molto intense del gas e delle fonti rinnovabili, in sostituzione del carbone e del petrolio (Tab. 4 e 5).

	Industria	Trasporto	Altri Settori	Energia
Carbone	0,06		0,0215	0,14
Petrolio	0,42	0,97	0,32	0,064
Gas	0,52	0,03	0,6585	0,2482
Nucleare				0,3514
Biomassa				0,123
Idro				0,045
Geotermico				0,011
Solare/Eolico/Altro				0,012
Torba				0,0054

Tab. 4 – Mix energetico al 2010: Scenario Tradizionale

	Industria	Trasporto	Altri Settori	Energia
Carbone	0,045		0,016	0,1
Petrolio	0,38	0,94	0,28	0,05
Gas	0,575	0,06	0,7040	0,2642
Nucleare				0,3514
Biomassa				0,15
Idro				0,046
Geotermico				0,015
Solare/Eolico/Altro				0,018
Torba				0,0054

Tab. 5 – Mix energetico al 2010: Scenario Innovativo

In particolare, lo scenario Innovativo è caratterizzato, a livello aggregato (tutti i settori), da un'espansione potente del gas che, sorpassando il petrolio, diventa il combustibile più utilizzato. D'altra parte la quota di carbone è circa dimezzata, quella del nucleare resta costante, mentre quella delle rinnovabili è raddoppiata. In particolare, per quanto concerne il solare e l'eolico, che nei dati IEA sono aggregati, si è fatta l'ipotesi che 1/3 dei consumi vadano al solare ed il restante 2/3 all'eolico, mentre ciò che viene denominato "Altro" (essenzialmente energia di marea) non è stato considerato. Infine, tra le rinnovabili, si è assunto che la biomassa continui a svolgere un ruolo predominante. La sintesi delle possibili combinazioni di scenari è offerta in Tab. 6.

<i>Crescita</i>	<i>Efficienza</i>	<i>Mix Energetico</i>	<i>Scenario</i>
Alta	Alta	Innovativo	AAI
Bassa	Alta	Innovativo	BAI
Alta	BAU	Innovativo	ABI
Bassa	BAU	Innovativo	BBI
Alta	Alta	Tradizionale	AAT
Bassa	Alta	Tradizionale	BAT
Alta	BAU	Tradizionale	ABT
Bassa	BAU	Tradizionale	BBT

Tab. 6 – Combinazioni di scenari

Definite, per ciascuno scenario, le traiettorie dei consumi e delle emissioni di CO₂, il modello confronta il risparmio monetario legato alla riduzione delle emissioni di CO₂, come effetto dell'espansione delle rinnovabili, e l'extra costo sostenuto per tale espansione. In particolare, per quanto riguarda l'extra costo si sono presi come riferimento i dati di una rassegna dell'IEA (IEA 1997. Una rassegna più recente è offerta in Commonwealth of Australia 1999), mostrati in Tab. 7.

	Costo (Euro/kWh)		Extra Costo (Euro/kWh)	
	Basso	Alto	Basso	Alto
Biomassa	0,045	0,133	0,019	0,088
Idro	0,035	0,069	0,009	0,024
Geotermico	0,036	0,17	0,01	0,125
Solare	0,196	0,424	0,17	0,379
Eolico	0,042	0,067	0,016	0,022
Prezzo di riferimento ciclo combustibili fossili	0,026	0,045	-	-

Tab. 7 - Costo ed Extra Costo per kWh

Emissioni di CO₂ e consumi energetici

L'andamento del mix energetico, per due scenari rappresentativi (AAT e AAI) e per tutti i settori in aggregato, è mostrato in Fig. 1 e 2, mentre il dettaglio sull'espansione delle rinnovabili in termini assoluti è esposto in Fig. 3 e 4. Entrambi gli scenari sono caratterizzati da una forte crescita della biomassa, del geotermico ed, entro certi limiti, dell'eolico e del solare, mentre l'idroelettrico non cresce. D'altra parte occorre notare che, poiché le figure 3 e 4 si riferiscono a valori assoluti (mil. tep), l'espansione dell'eolico e del solare appaiono sottostimate pur essendo, in termini percentuali, più ampie di quella della biomassa (vedi Tab. 1, 4 e 5).

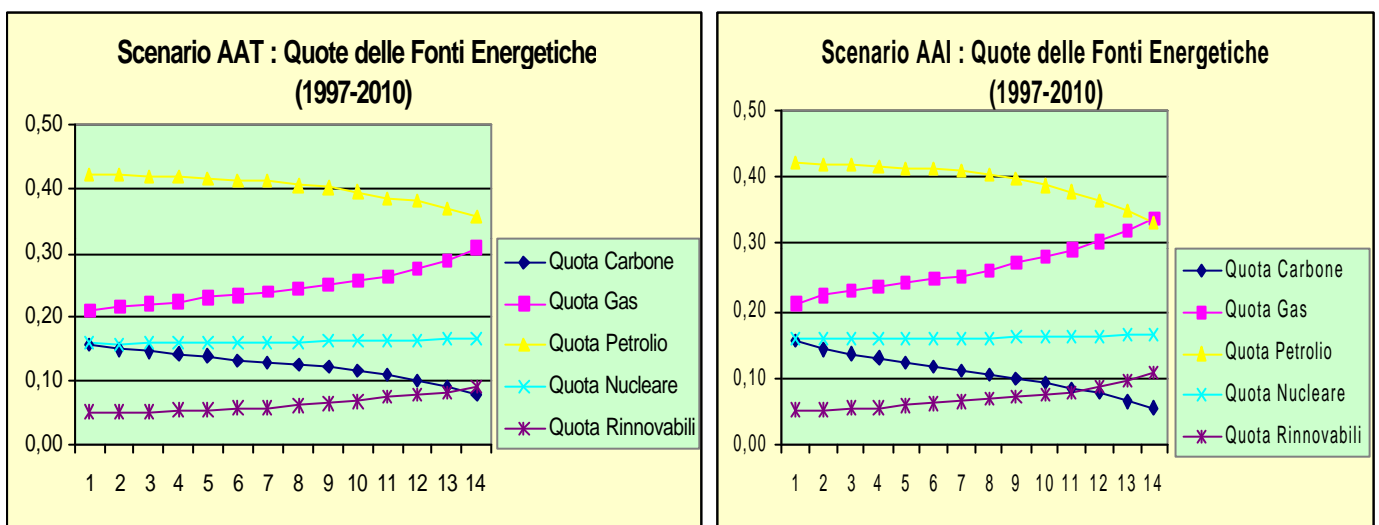


Fig. 1 e 2 – Andamento delle quote delle fonti energetiche (intera economia)

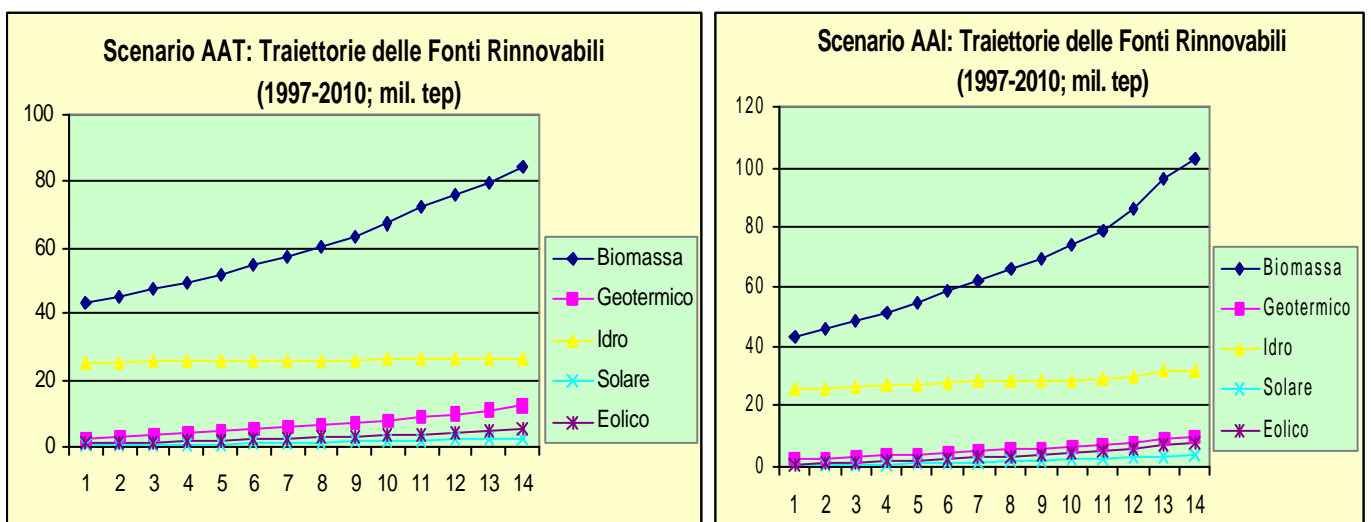


Fig. 3 e 4 - Traiettorie di espansione delle fonti rinnovabili

Per quanto concerne le fonti tradizionali, nello scenario Innovativo, sia la quota di carbone che quella di petrolio diminuiscono dall'inizio. La differenza principale, e più evidente, tra lo scenario Tradizionale e quello Innovativo è che il dominio del gas su tutte le altre fonti si realizza solo in questo secondo scenario mentre nel primo il petrolio rimane il combustibile più utilizzato.

Le emissioni di CO₂ generate in ciascuno scenario sono riportate, insieme al valore al 1997 e a quello corrispondente al vincolo di Kyoto in Fig. 5. Eccetto gli scenari ABT e ABI, tutti gli scenari danno luogo a sostanziali riduzioni nelle emissioni di CO₂. Ad esempio, nel caso di crescita bassa, il target è raggiunto anche quando l'intensità energetica di settore non diminuisce più che nel passato (scenari BBT e BBI) e/o quando l'espansione delle rinnovabili e del gas non è molto intensa (scenari BBT e BAT). Al contrario, quando si ipotizza un alto livello di attività, una diminuzione drastica dell'intensità energetica di settore è necessaria al fine di raggiungere il target di Kyoto.

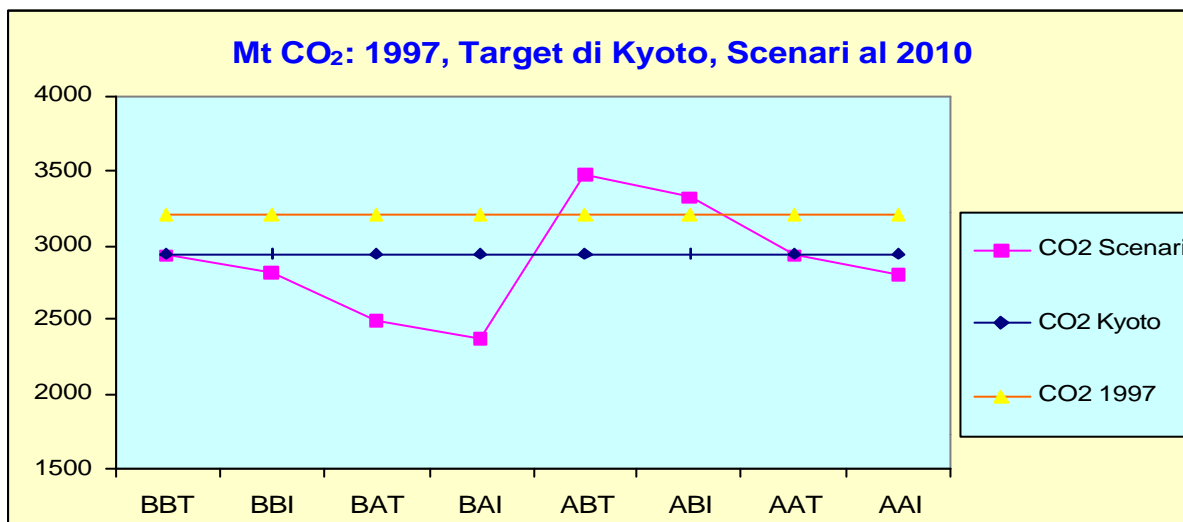


Fig. 5 – Emissioni di CO₂: scenari, livello 1997, target di Kyoto (mil. tonn.)

Ciò significa che, se i tassi di crescita dei livelli di attività dei settori non devono diminuire rispetto al periodo 1990-97, diventano necessari robusti miglioramenti dell'efficienza energetica. Tuttavia, anche il mix energetico gioca un ruolo molto importante perché il target di Kyoto può essere soddisfatto solo se le quote del gas e delle fonti rinnovabili crescono sostanzialmente: infatti, se si assume uno scenario Tradizionale per il mix energetico, in associazione con una crescita Alta e con un'Alta efficienza, il target di Kyoto è appena raggiunto (scenario AAT). In altri termini, tanto lo scenario A (per l'efficienza energetica) quanto gli scenari T ed I (per il mix energetico) sono condizioni necessarie ma non sufficienti per adempiere il vincolo di Kyoto. In assenza delle condizioni che si realizzano in T o I, lo scenario di Alta efficienza non riesce, da solo, a portare il sistema verso il target, e viceversa. Pertanto, l'intensità energetica ed il mix energetico possono

essere considerate come due lame di una forbice, la seconda lama essendo costituita da una robusta espansione delle fonti rinnovabili. Le traiettorie delle emissioni di CO₂ sono mostrate in Fig. 6. In essa si può vedere che le combinazioni di bassa crescita del livello di attività e di alta efficienza (BAT e BAI) consentirebbero di soddisfare il vincolo di Kyoto ben prima del 2010, mentre per gli scenari BBI e AAI il target è centrato circa un anno prima del 2010 e per gli scenari BBT e AAT nell'anno 2010.

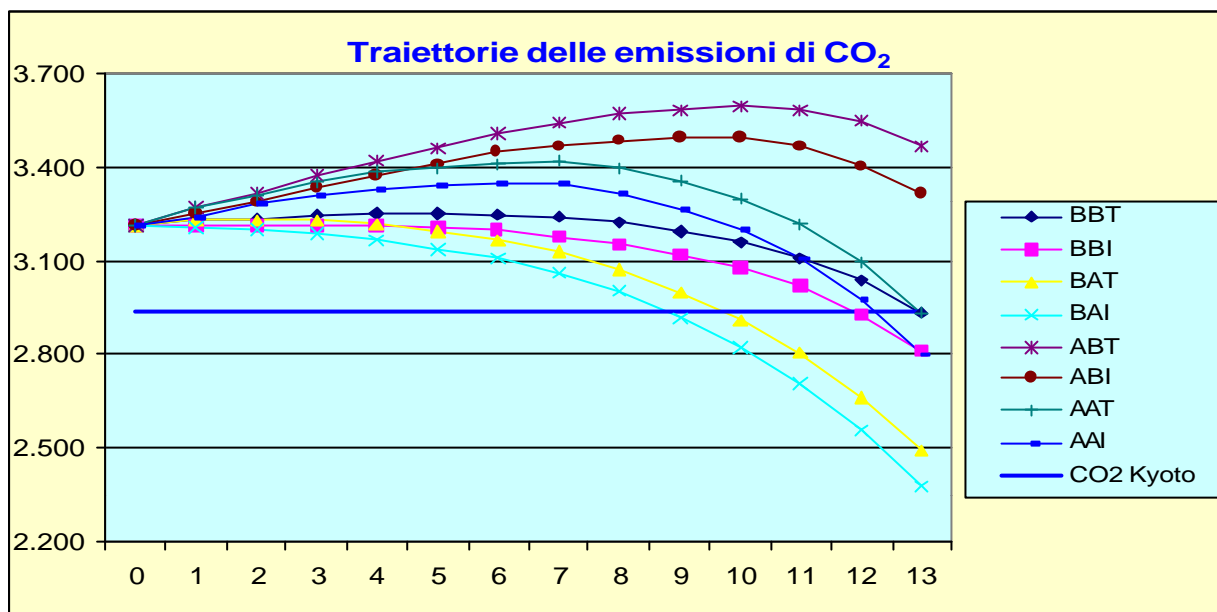


Fig. 6 – Traiettorie della CO₂ nei diversi scenari (mil. tonn.)

E' interessante notare come gli scenari di alta efficienza energetica (ad esempio, AAI e AAT) siano caratterizzati da una pendenza relativamente elevata (in valore assoluto) nel periodo finale, come effetto dell'assunzione di miglioramenti crescenti dell'efficienza energetica. Al contrario, negli scenari ABT e ABI, i miglioramenti dell'intensità energetica sono meno marcati, le traiettorie meno ripide e, come conseguenza, il target non è raggiunto.

Bilancio delle fonti rinnovabili

L'espansione delle fonti rinnovabili dà luogo a sostanziali riduzioni delle emissioni di CO₂ e contribuisce a soddisfare il vincolo di Kyoto in quegli scenari in cui esso è soddisfatto. Se si assume che le rinnovabili sostituiscano per metà il carbone e per metà il petrolio, emergono le traiettorie di riduzione delle emissioni di CO₂ mostrate in Fig. 7. I risparmi massimi e minimi si realizzano, rispettivamente, negli scenari ABI e BAT. Infatti, come conseguenza dell'alto livello di attività e dell'andamento BAU dell'intensità energetica, ABI dà luogo ad elevati consumi energetici, mentre BAT, a causa del basso livello di attività e dell'elevata efficienza, implica bassi consumi energetici

e, quindi, al contrario di ABI, bassi risparmi di CO₂. Si può anche vedere come, *ceteris paribus*, lo scenario Innovativo generi sempre riduzioni di CO₂ superiori allo scenario Tradizionale (AAI>AAT; ABI>ABT; BAI>BAT; BBI>BBT). Tuttavia, ciò non deve essere interpretato come un indicatore della desiderabilità di uno scenario poiché elevate riduzioni di CO₂ possono dipendere, oltreché dall'espansione di fonti energetiche meno inquinanti (es. gas e rinnovabili) da una bassa efficienza energetica.

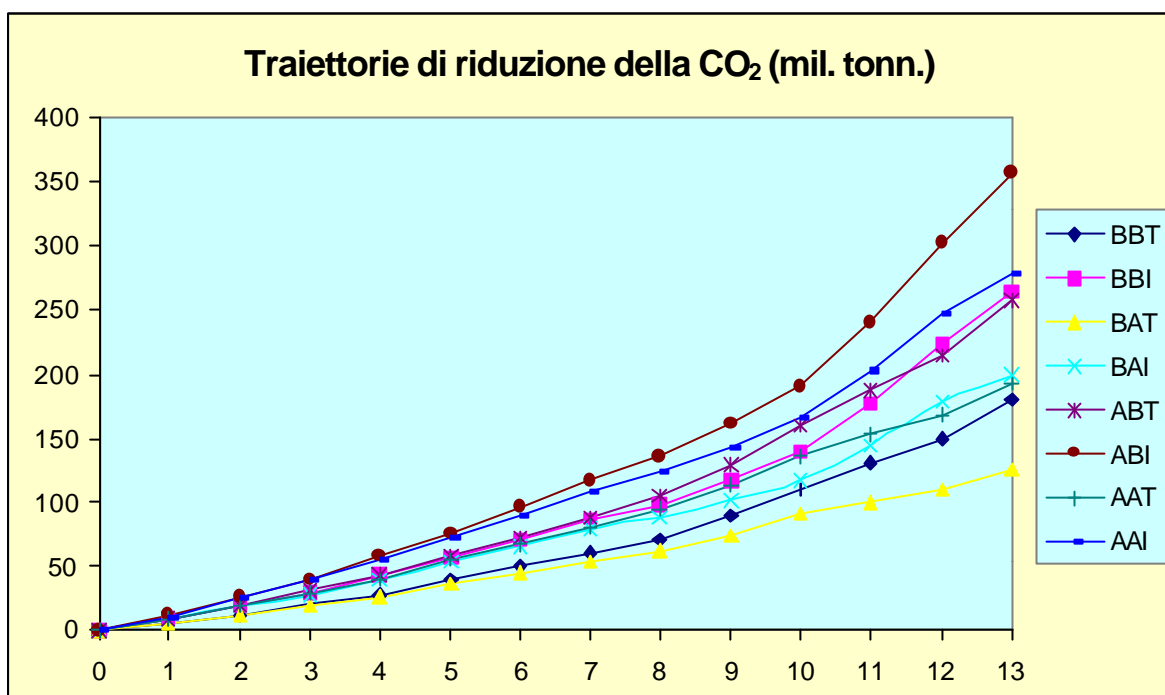


Fig. 7 – Traiettorie di riduzione delle emissioni di CO₂ (mil. tonn.)

Poiché esistono diverse stime sia dell'extra costo delle rinnovabili che del costo della CO₂, al fine di misurare risparmi ed extra costi dell'espansione delle rinnovabili sono state fatte diverse ipotesi. Come base per gli esercizi, si è assunto un prezzo della CO₂ pari a 40 Euro/tonn. CO₂, mentre per l'extra costo si è fatto riferimento ai valori mostrati in Tab. 7. Qui, è importante sottolineare che tali esercizi non vengono assolutamente considerati come una risposta definitiva circa la convenienza delle rinnovabili. Tale tema è oltre gli scopi di questa ricerca ed implicherebbe la considerazione di altre questioni quali, ad esempio, altri tipi di esternalità evitate, o legate alle fonti rinnovabili, l'impatto sul mercato del lavoro e gli effetti tecnologici connessi allo sviluppo delle energie pulite. Piuttosto, gli esercizi dovrebbero essere considerati come un ragionamento di tipo "cosa accade se", il cui obiettivo è quello di generare informazione su un aspetto, parziale ma importante, dello sviluppo delle fonti rinnovabili. Un primo bilancio è fornito, per gli otto scenari, in Fig. 8. In essa si assume che l'extra costo delle rinnovabili sia alto (vedi Tab. 7), che le fonti rinnovabili rimpiazzino

per metà il carbone e per metà il petrolio e che il tasso di sconto, tenuto immutato in tutti gli esercizi, sia del 5%.

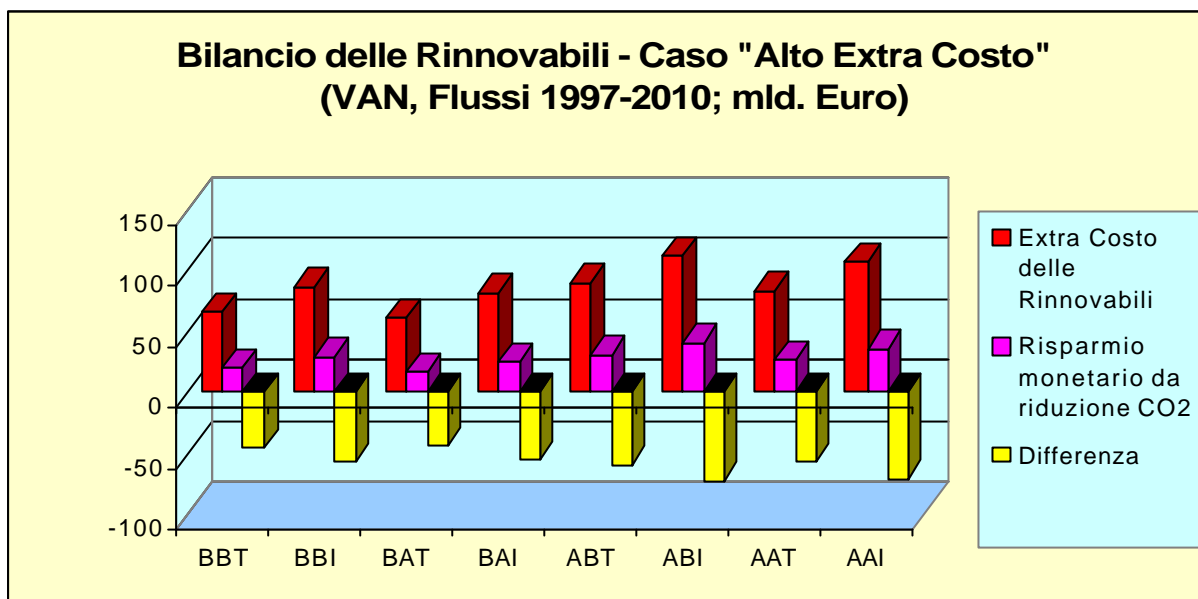


Fig. 8 – Bilancio delle fonti rinnovabili: confronto alto extra costo-risparmio CO₂

In questo caso, il bilancio è assolutamente negativo: il valore attuale netto (VAN) è negativo in tutti gli scenari, con valori che vanno da - 44 mld. Euro (BAT) a - 72 mld. Euro (ABI). Questo risultato, tuttavia, non deve indurre al pessimismo perché, nel caso in cui si consideri, *ceteris paribus*, un extra costo basso, il risultato è rovesciato (Fig. 9).

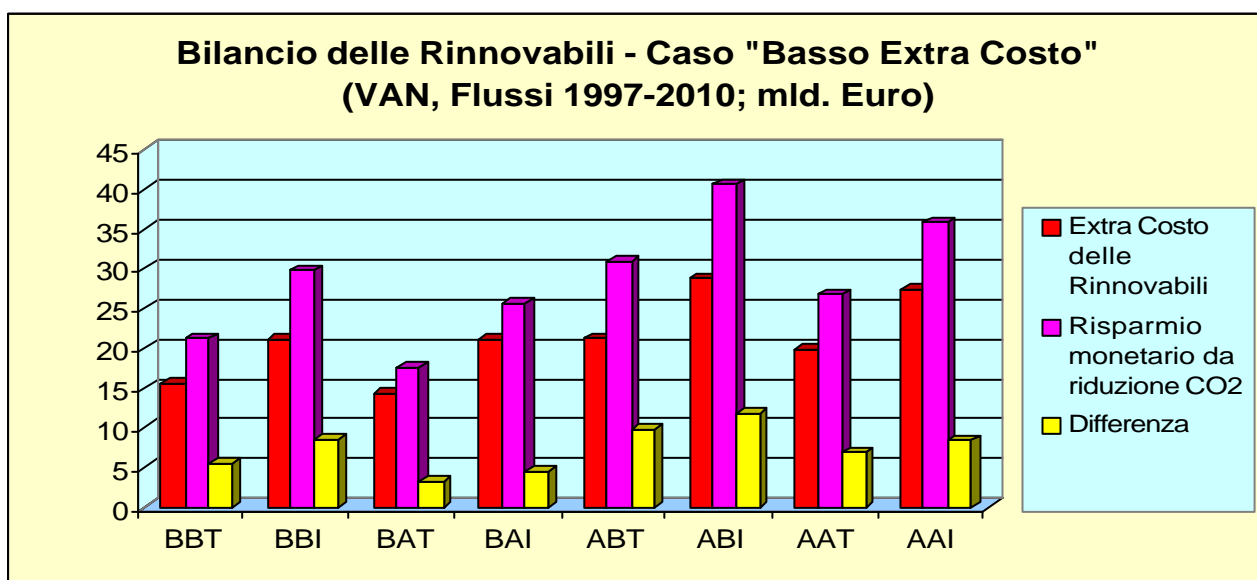


Fig. 9 – Bilancio delle fonti rinnovabili: confronto basso extra costo-risparmio CO₂

In questo caso, infatti, tutti gli scenari presentano VAN positivi, con valori inclusi tra + 3,2 (BAT) e + 11,8 (ABI) mld. uro. Si noti come lo scenario ABI, che è quello che dà luogo alla maggiore espansione delle fonti rinnovabili, sia quello caratterizzato dalla peggiore *performance*, in caso di VAN negativi, e dalla migliore, in caso di VAN positivi. Ciò è intuitivo in quanto, tra tutti gli scenari, ABI dà luogo sia a maggiori extra costi che a maggiori risparmi di CO₂, e pertanto è ora penalizzato (caso alti extra costo), ora favorito (caso basso extra costo). E' cruciale, qui, osservare che il risultato è fortemente legato all'ipotesi fatta circa il costo della CO₂ (40 Euro/tonn). In ogni caso, data questa assunzione, peraltro media rispetto alle stime degli esperti, emerge che un risultato positivo non può essere escluso. Al fine di ottenere un quadro più chiaro del problema, abbiamo effettuato altri tre esercizi su uno scenario selezionato. Si tratta di AAI che, caratterizzato dall'espansione massima delle rinnovabili (mix energetico Innovativo) e da alta crescita ed alta efficienza, dà luogo a consumi energetici medi e, come effetto, a medi risparmi di CO₂. Pertanto, esso può essere considerato una sorta di scenario centrale e rappresentativo, ed è per tale ragione che è stato scelto come oggetto degli esercizi. Il primo di essi si concentra sul caso di alto extra costo ma in esso si assume che le fonti rinnovabili sostituiscano solo il carbone generando così, rispetto agli esercizi precedenti, un maggiore risparmio di CO₂ a parità di altre condizioni. Nonostante tale assunzione emerge un risultato negativo (Fig. 10) anche se meno pesante che in precedenza (- 67 contro - 71 mld. Euro).

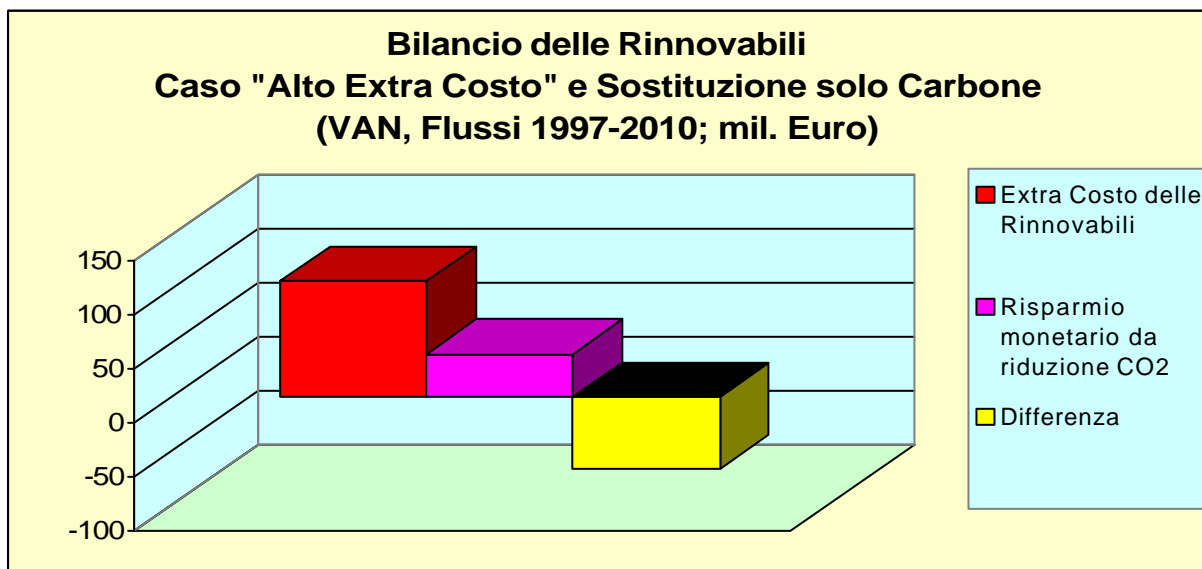


Fig. 10 – Scenario AAI: confronto alto extra costo-risparmio CO₂

Il VAN diventa nullo, da negativo, solo se il costo della CO₂ sale a circa 106 Euro/tonn. Al contrario, in caso di basso extra costo, *ceteris paribus*, si ha un VAN positivo (Fig. 11).

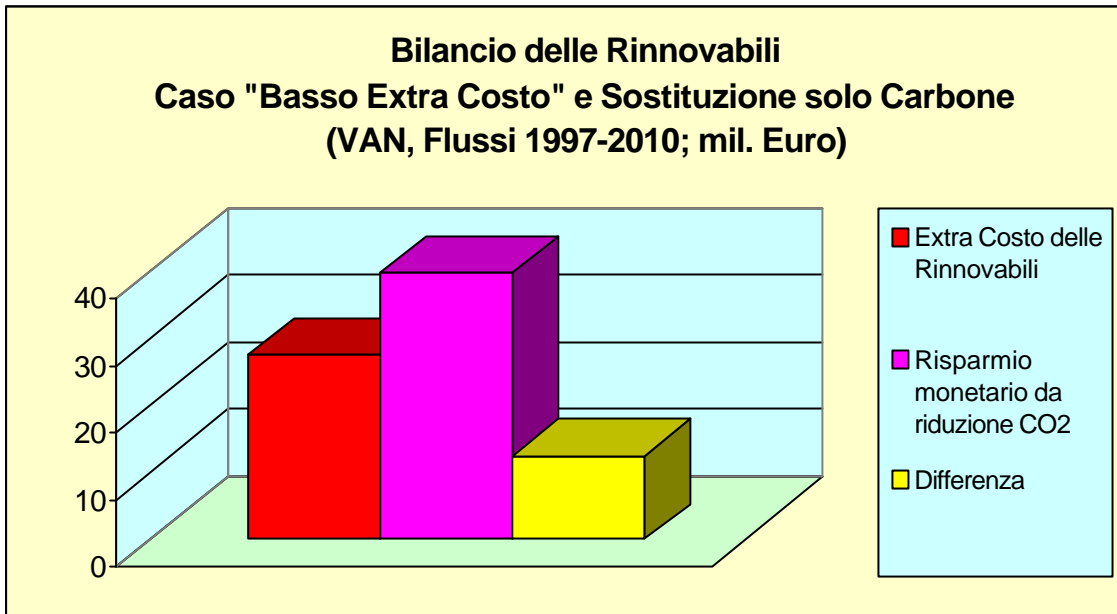


Fig. 11 – Scenario AAI: confronto basso extra costo-risparmio CO₂

Mentre nel caso di sostituzione congiunta di carbone e petrolio il VAN era pari ad 8,4 mld. Euro, ora esso sale a 12 mld. Euro. Qualora il costo della CO₂ scendesse intorno ai 26 Euro/tonn., il segno positivo si annullerebbe ed il VAN diverrebbe nullo. Questi due esercizi indicano come non abbia grandissima rilevanza il tipo di sostituzione effettuata (solo carbone oppure 1/2 carbone + 1/2 petrolio), al contrario dei valori di costo che si assumono per la CO₂ e per il kWh. Poiché al prezzo di 40 Euro/tonn. CO₂ si ha sempre un risultato negativo, quando l'extra costo è alto, oppure positivo, quando l'extra costo è basso, si è effettuato un ultimo esercizio assumendo che le fonti rinnovabili sostituiscano per 3/4 il carbone e per 1/4 il petrolio, e che l'extra costo decresca linearmente dal valore alto a quello basso.

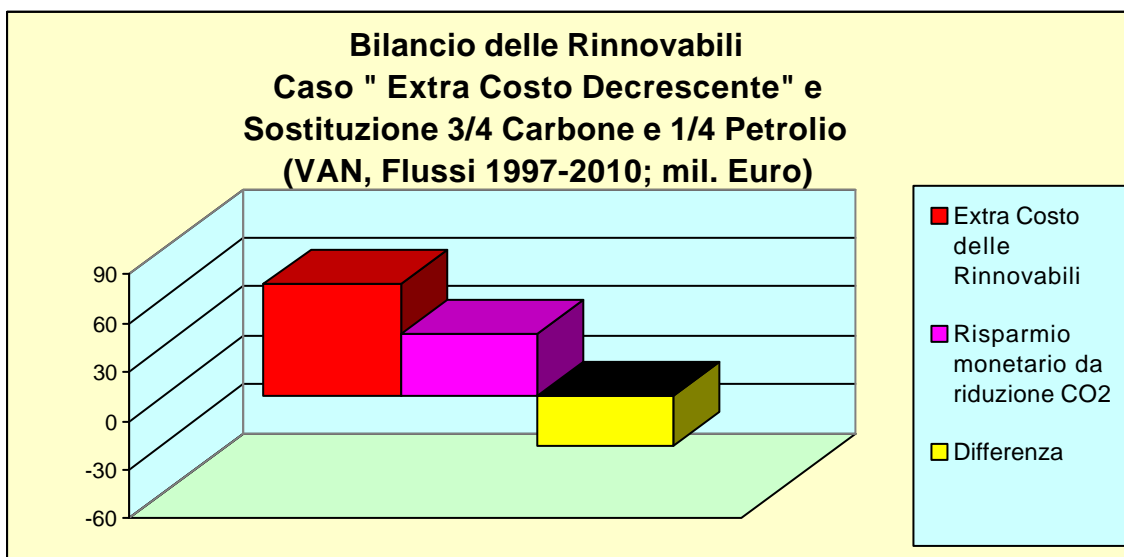


Fig. 12 – Scenario AAI: confronto extra costo decrescente-risparmio CO₂

Il risultato della simulazione, mostrato in Fig. 12, è negativo (-31 mld. Euro) e diventa zero se il costo della CO₂ sale fino a 72 Euro/tonn. Certamente, si possono concepire innumerevoli altri esercizi ma, ai fini della nostra ricerca, i risultati fin qui ottenuti offrono un sufficiente chiarimento.

Conclusioni

Gli esercizi fin qui svolti sono sintetizzati in Tab. 8.

Scenario	Extra Costo Rinnovabili	Costo CO ₂	Le Rinnovabili sostituiscono:	Differenza: risparmio da riduzione CO ₂ - extra costo rinnovabili	Pareggio se Costo CO ₂ =
Tutti	Alto	40 Euro/ton	½ Carbone + ½ Petrolio	Negativo	-
Tutti	Basso	40 Euro/ton	½ Carbone + ½ Petrolio	Positivo	-
AAI	Alto	40 Euro/ton	Solo Carbone	Negativo	106 Euro/tonn.
AAI	Basso	40 Euro/ton	Solo Carbone	Positivo	26 Euro/tonn.
AAI	Decrescente	40 Euro/ton	¾ Carbone + ¼ Petrolio	Negativo	72 Euro/tonn.

Tab. 8 – Sintesi degli esercizi sullo sviluppo delle fonti rinnovabili

Si può notare come l'assunzione di alto extra costo implichi sempre un bilancio negativo, anche nel caso in cui le fonti rinnovabili rimpiazzino solo carbone, mentre se si assume un basso extra costo c'è spazio per un risultato positivo. Infine, l'ipotesi "media" di extra costi linearmente decrescenti non dà luogo ad un risultato positivo. In tutti i casi, a parte l'incertezza legata al valore dell'extra costo, il risultato è fortemente dipendente dall'assunzione sul costo delle emissioni di CO₂. Comunque, occorre sottolineare che se si esclude l'ipotesi di una forte diminuzione di tale costo, vi è la possibilità che lo sviluppo delle rinnovabili generi un bilancio positivo.

In conclusione, va in ogni caso ribadito che questi esercizi rappresentano solo una prima analisi di una questione caratterizzata da un alto livello di complessità. Un approfondimento completo dell'argomento dovrebbe considerare, oltreché altri tipi di esternalità evitate dalle rinnovabili, altri effetti quali quelli sul mercato del lavoro, sull'industria energetica in generale, sulle ricadute tecnologiche. Ciò è oltre gli scopi del presente lavoro. Inoltre, sarebbe opportuno un più elevato livello di disaggregazione delle fonti rinnovabili come pure la considerazione delle emissioni di CO₂, seppur modeste, legate ai cicli delle fonti rinnovabili. Tuttavia, nonostante tali limiti, vediamo che le fonti rinnovabili - quando la questione del loro sviluppo è esplorata in termini semplificati, ma rigorosi, come è stato fatto nel presente studio - possono svolgere un ruolo chiave nel portare

l'Europa verso il suo target di Kyoto senza che ciò implichi, necessariamente, un bilancio negativo. Certamente, diminuzioni forti del prezzo della CO₂ possono rovesciare tale conclusione ma, d'altro canto, la considerazione di altri tipi di esternalità evitate dalle rinnovabili può rinforzarla. In sintesi, le aspettative dell'Europa sono che le fonti rinnovabili possono economicamente aiutarla a centrare il suo target: vi è un'elevata probabilità che la realtà confermi tali aspettative.

Bibliografia

Ahmed K. (1994), *Renewable energy technologies. A review of the status and costs of selected technologies*, The World Bank, Washington.

Commonwealth of Australia (1999), *New Era. New Energy. Renewable Energy Action Agenda*, Discussion Paper (in <http://www.isr.gov.au/agendas/sectors/ReNewEraNewEnergy.pdf>).

De Paoli L., Lorenzoni A. (1999), *Economia e politica delle fonti rinnovabili e della cogenerazione*, Franco Angeli, Milano.

EC (1996), *Energy for the future: renewable sources of energy. Green paper for a community strategy*, November, Brussels.

EC (1997), *Energy for the future: renewable sources of energy. White paper for a community strategy and action plan*, November, Brussels.

EC (2000a), *Energy in Europe. 1999 - Annual Review*, EC, Directorate-General for Energy, Brussels.

EC (2000b), *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of electricity from renewable energy sources in the internal electricity market*, Brussels, 10 May (in http://www.agores.org/Publications/Commission/RESelecprop_EN.pdf).

EUREC Agency (1996), *The future for renewable energy. Prospects and directions*, James & James, London.

Grubb M. (1995), *Renewable energy strategies for Europe. Volume I. Foundations and context*, The Royal Institute of International Affairs/Earthscan, London.

Grubb M. with Vigotti R. (1997), *Renewable energy strategies for Europe. Volume II. Electricity system and primary electricity sources*, The Royal Institute of International Affairs/Earthscan, London.

IEA (1997), *Renewable energy policy in IEA countries. Vol. I*, OECD/IEA, Paris.

IEA (1998a), *Renewable energy policy in IEA countries. Vol. II*, OECD/IEA, Paris.

IEA (1998b), *Benign Energy? The Environmental Implications of REN*, IEA, Paris.

IEA (1998c), *Enhancing the Market Deployment of Energy Technology. A Survey of Eight Technologies*, IEA, Paris.

IEA (1999), *Energy balances of OECD countries: 1996-1997*, OECD/IEA, Paris

IEA (2000), *Energy Policy of IEA Countries. 1999 Review*, OECD/IEA 2000

IEA's Renewable Energy Working Party (1999), *The Evolving Renewable Energy Market*, IEA, Paris.

Krause F., Koomey J., Olivier D. (2000), *Cutting carbon emission while saving money*, International Project for Sustainable Energy Paths, El Cerrito California.

Molocchi A. (a cura di), (1998), *La scommessa di Kyoto: politiche di protezione del clima e sviluppo sostenibile*, Franco Angeli, Milano.

OECD (1999), *OECD Environmental Data. Compendium 1999*, OECD, Paris.

Randers J. (edited by) (1980), *Elements of the system dynamics method*, Productivity Press.

Sorensen B. (2000), *Renewable Energy. Its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects*, Academic Press 2000.

* Eni, Scuola Superiore Enrico Mattei; ** Enel

Questo articolo si basa sul lavoro di E. Di Giulio e F. Gostinelli "Expectations towards reality: how renewable sources can help Europe to meet its Kyoto target", presentato al EMF/IEA/IIASA International Energy Workshop - Stanford, California, 20-22 June 2000.

Publicato su Energia 4/2000