

# SCENARI ENERGETICI NAZIONALI

## VALUTAZIONE DI MISURE DI POLITICA ENERGETICA

Mario Contaldi\*, Francesco Gracceva<sup>o</sup>

\*APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici), [contaldi@apat.it](mailto:contaldi@apat.it),

<sup>o</sup>ENEA-Centro ricerche Casaccia, Roma, [francesco.gracceva@enea.casaccia.it](mailto:francesco.gracceva@enea.casaccia.it)

Lo studio valuta l'efficacia di tre diversi interventi di politica energetica, simulati mediante il modello di equilibrio generale Markal-Macro Italia. Le opzioni sono analizzate mediante altrettanti scenari evolutivi del sistema energetico italiano, alternativi rispetto allo scenario tendenziale (che tiene conto delle misure già approvate): a) uno scenario che simula una politica di promozione delle fonti rinnovabili mediante una progressiva elevazione dell'obbligo dei Certificati Verdi; b) uno scenario che simula una politica di promozione dell'efficienza energetica, secondo quanto previsto nei D.M. del 24 aprile 2001, per verificare l'esistenza nel sistema di un gap di efficienza e stimare il costo della sua riduzione; c) uno scenario che analizza l'utilità di una tassazione del carbonio al fine di ridurre i consumi di fonti fossili (e le emissioni di CO<sub>2</sub>) e valuta i costi che ne derivano per il sistema.

Per quanto si sia dedicata particolare attenzione alla simulazione del medio periodo (2010-2020), l'orizzonte temporale dell'analisi è il lungo periodo (2030), in modo da analizzare più in profondità gli effetti delle misure, che hanno il tempo di modificare la struttura attuale del sistema energetico.

### IL MODELLO UTILIZZATO PER L'ANALISI

In questo lavoro sono descritti alcuni possibili scenari di sviluppo del sistema energetico italiano elaborati mediante il modello MARKAL-MACRO, un modello di equilibrio generale dinamico derivante dall'integrazione del modello tecnologico MARKAL con il modello di crescita economica MACRO (Hamilton et al., 1992 [1]).

Modelli della "famiglia Markal", sviluppati nell'ambito del progetto *Energy Technology Systems Analysis Project* (ETSAP) dell'Agenzia Internazionale dell'Energia, sono utilizzati per la valutazione delle politiche energetiche ed ambientali in più di 100 istituti di circa 60 paesi diversi. Tra i motivi di questo crescente successo vi è il fatto che il MARKAL non è un modello, ma un "generatore" di modelli di equilibrio del sistema energetico. La sua struttura è infatti "generica", cioè può essere utilizzata per rappresentare qualunque sistema energetico, con un numero variabile di tecnologie e domande di servizi energetici, da poche unità a centinaia di *commodities*, materiali, tecnologie, emissioni, includendo tutti i settori energetici, dall'approvvigionamento delle fonti primarie ai processi di conversione, trasporto e distribuzione dell'energia, fino ai dispositivi di uso finale per la fornitura dei servizi energetici.

Nel MARKAL le curve di domanda e offerta sono rappresentate mediante funzioni lineari a tratti, ciascuno dei quali si riferisce ad una diversa tecnologia di fornitura e/o di consumo del bene (ciò permette di formulare il modello mediante un problema di programmazione matematica, (Dorfman et al., 1958 [2]). La costruzione delle curve di domanda/offerta è resa possibile dalla rappresentazione del sistema mediante un grafo, nel quale ogni nodo rappresenta una tecnologia, ogni arco un flusso di energia. La soluzione del modello definisce non solo le quantità e i prezzi di equilibrio, ma individua anche l'insieme di tecnologie e fonti energetiche che determinano l'equilibrio. Pur assumendo mercati perfettamente concorrenziali, come la gran parte di modelli di equilibrio economico, l'introduzione di ipotesi da parte del modellista permette l'allontanamento da tale situazione. Il prezzo delle fonti energetiche è calcolato dal modello a partire dai costi (di investimento e di esercizio) legati alle tecnologie necessarie a rendere disponibile la fonte energetica al consumatore finale. Le tecnologie energetiche

sono infatti descritte da parametri che ne quantificano le caratteristiche tecniche, economiche e ambientali.

L'integrazione del modello di equilibrio parziale MARKAL, con la sua descrizione esplicita e dettagliata delle tecnologie del sistema, con il MACRO, conduce ad un nuovo modello che, pur mantenendo tutto il dettaglio tecnologico del MARKAL, ha le caratteristiche di un modello di equilibrio generale intertemporale. Questo passaggio ha una grande utilità per la comprensione degli effetti di azione e retroazione che legano il settore energetico all'intera economia, perché permette di analizzare l'effetto sull'economia di cambiamenti nel sistema energetico, dovuti sia a interventi dei decisori politici che alla naturale evoluzione della tecnologia. I modelli ingegneristici (c.d. *bottom-up*) di ottimizzazione hanno infatti il pregio della descrizione dettagliata del sistema dal punto di vista tecnologico, ma hanno il limite di non considerare le interazioni energia/economia (la domanda di servizi energetici è indipendente dai prezzi). Ciò impedisce ad esempio di analizzare l'impatto delle variazioni dei prezzi dell'energia sulla crescita economica. L'unione di modelli macroeconomici e tecnologici permette invece di coniugare le caratteristiche utili dei secondi con la possibilità di tenere conto delle interazioni tra settore energetico e sistema economico.

### La Rappresentazione del Sistema Energetico nel Markal-Macro Italia

La flessibilità della metodologia MARKAL permette come detto di creare modelli con un livello di dettaglio variabile. Alcune caratteristiche del modello MARKAL-MACRO Italia sono sintetizzate nei punti seguenti (si rimanda alla pubblicazione ENEA [3] per una descrizione più dettagliata):

- Sono rappresentate circa 70 tipologie di domanda di servizio energetico, divise in quattro settori di uso finale (agricoltura, industria, civile e trasporti). Il modello calcola quantità e prezzi di equilibrio di più di 300 flussi di energia e materiali, prodotti da più di un migliaio di tecnologie. Il problema di programmazione matematica non lineare che ne deriva contiene circa diecimila variabili ed equazioni.

- L'industria è divisa nei sottosettori individuati dal Bilancio Energetico Nazionale (siderurgia, non ferrosi, meccanica, alimentari, tessile, edilizia e materiali da costruzione, vetro e ceramica, chimica e petrolchimica, carta,

estrattive, altre manifatture), il cui livello di attività è dato dalla produzione dei principali materiali *energy-intensive* (acciaio, cemento, vetro, prodotti petrolchimici e cloro-soda) o dal valore aggiunto nei sottosettori in cui non vi è una produzione materiale significativa.

- Per il residenziale, il livello di attività considerato sono i metri quadrati delle abitazioni (riscaldamento), una domanda di acqua sanitaria, il parco dei più diffusi elettrodomestici e una domanda di raffrescamento.

- Per i servizi il livello di attività è misurato dal valore aggiunto. La domanda di servizi energetici è articolata sulla base di domande stimate di riscaldamento/raffrescamento, illuminazione, forza motrice ed altri usi elettrici dei principali sottosettori: servizi destinati alla vendita, servizi pubblici e commerciale.

- Il settore dei trasporti è guidato da una domanda di mobilità espressa in pass-km e ton-km, costruita a partire dalla valutazione delle serie storiche. La crescita di mobilità è articolata, seguendo la metodologia del CNT (Conto Nazionale dei Trasporti) in tre tipologie: aree urbane, pendolare-piccoli centri-rurale e spostamenti di media-lunga distanza. Una parte significativa della mobilità conserva la possibilità del cambiamento modale in caso di vantaggi ambientali e/o economici.

- Il parco centrali esistente è aggregato in base alla tecnologia di generazione, per un totale di quasi 50 diverse tipologie di impianto.

- Il settore della raffinazione è rappresentato con un certo dettaglio. Il modello simula il processo produttivo che produce i prodotti finali a partire dagli oli minerali grezzi.

## LO SCENARIO TENDENZIALE

L'evoluzione tendenziale del sistema (fino al 2030) è stata definita a partire da un confronto con la più recente letteratura e con esperti del settore. Il sistema produttivo si sviluppa ad un tasso medio annuo di poco inferiore al 2% (superiore a quello registrato nel decennio 1990-2000), con una differenziazione tra i settori che prevede una crescita leggermente maggiore nei servizi e inferiore nell'industria.

Alcune caratteristiche essenziali dello scenario sono sintetizzate dall'evoluzione di tre variabili fondamentali, il PIL, il consumo di energia primaria e le emissioni di CO<sub>2</sub> (la crescita del PIL dipende da ipotesi esogene, mentre domanda di energia ed emissioni sono un output del modello):

- Energia primaria ed emissioni crescono molto meno del PIL: mentre quest'ultimo supera nel 2020 il valore del 2000 di quasi il 50%, l'incremento dei consumi energetici è pari alla metà e quello delle emissioni di CO<sub>2</sub> è ancora inferiore.
- Sia l'intensità energetica che l'intensità carbonica del reddito diminuiscono dunque in modo significativo durante tutto il periodo di riferimento.
- Le emissioni crescono meno dell'energia, ma la differenza tra le due variabili è contenuta. Nel medio periodo sembrano limitate le possibilità di un'ulteriore significativa decarbonizzazione dell'energia.

*Fabbisogno energetico e copertura.* Nell'evoluzione tendenziale la domanda di energia continua a crescere in modo significativo almeno per un altro decennio (fino al 2015), superando i 200 Mtep poco dopo il 2005, per arrivare a 209 Mtep nel 2010, a 227 Mtep nel 2020 e a 235 Mtep nel 2030.

I consumi finali di energia aumentano a tassi medi annui crescenti nella prima metà dello scenario (dallo 0,8% m.a. del primo quinquennio all'1,3% m.a. del 2015), decrescenti nella seconda metà (0,6% m.a. nell'ultimo decennio).

A livello di settori di uso finale, i consumi del settore industriale proseguono ancora per poco la fase di stagnazione dell'ultimo decennio, dopodiché tornano a crescere, in quanto lo scenario non sposa ipotesi di deindustrializzazione dell'economia nazionale e le potenzialità di sfruttamento delle opzioni di efficienza energetica non sembrano enormi, vista la concorrenza internazionale ed i margini operativi non molto elevati del settore. La gran parte della crescita dei consumi è coperta da aumenti nel consumo di elettricità (più forte nella prima parte dello scenario) e gas naturale (più forte nella seconda metà), mentre l'incremento nell'uso del carbone è rilevante soprattutto in termini percentuali.

Il settore civile è il più dinamico nel breve/medio periodo (in particolare nei servizi), come nel recente passato, ma dopo il 2010 il suo tasso di crescita diviene inferiore a quello degli altri settori, anche perché nel settore esistono consistenti possibilità di riduzione dei consumi. Anche in questo caso la parte maggioritaria dell'aumento dei consumi è coperta da elettricità (+30% circa nel primo decennio) e gas naturale.

Anche il dato dei trasporti è differenziato nel tempo: fino alla metà del decennio in corso i consumi sono ancora in forte crescita, mentre rallentano negli anni successivi e solo dopo il 2020 il peso del settore sul totale dell'energia finale ritorna ad aumentare. I prodotti petroliferi restano dominanti, in quanto il consumo di gas ed elettricità, pur crescendo molto in termini relativi, resta limitatissimo in termini assoluti.

*Il settore elettrico.* I consumi di elettricità sulla rete si avvicinano ai 340 TWh già nel 2005, superano i 380 TWh nel 2010 e crescono ancora fino a quasi 450 TWh nel 2020. Fino al 2010 il tasso medio annuo di crescita è del 2,5%, dunque ben maggiore del tasso di crescita del PIL (che nel periodo 2000-2010 è pari a circa l'1,8%), cosicché l'intensità elettrica continua ad aumentare, mentre tende poi a stabilizzarsi e poi a scendere nei decenni successivi.

Riguardo all'evoluzione dell'uso delle fonti primarie per la produzione nazionale di energia elettrica il tratto saliente dello scenario Tendenziale è la continuazione della sostituzione dei prodotti petroliferi con il gas naturale (il 50% del totale già nel 2010), mentre il peso del petrolio continua a diminuire anche nel lungo periodo, scendendo ampiamente al di sotto del peso del carbone. La quota di generazione elettrica da rinnovabili cresce molto solo nel primo decennio, in concomitanza con il progressivo aumento della soglia d'obbligo per i Certificati Verdi, dopodiché cresce ancora in valore assoluto ma resta costante come quota sul totale (fino al 2020), con una tendenza alla riduzione nel lunghissimo periodo.

L'evoluzione delle capacità di produzione nazionale e di importazione seguono la crescita della domanda. In particolare, la (quasi) totalità dell'incremento di potenza viene da centrali fossili, in primo luogo da centrali a gas a ciclo combinato, con l'aggiunta (nel primo decennio) di un aumento consistente della capacità di importazione (+40% nel 2010). Tra le rinnovabili, l'incremento più significativo riguarda le centrali eoliche, la cui potenza installata raggiunge i 2,5 GW nel 2010 e i 4 GW nel 2015. Il grande idro è ormai vicino al completo sfruttamento, mentre il mini-idro risulta meno competitivo dell'eolico, per cui non sembra in grado di espandersi significativamente senza forti incentivi (o aumenti dell'obbligo relativo ai Certificati Verdi). La potenza a biomassa/biogas aumenta solo fino al medio periodo,

dopodiché, con la riduzione dell'obbligo relativo ai Certificati Verdi, torna a ridursi nel più lungo periodo.

## SCENARI ALTERNATIVI

Accanto allo scenario tendenziale si sono costruiti tre scenari alternativi volti a valutare gli effetti di diverse misure di politica energetica e ambientale. Per una descrizione dettagliata dei relativi risultati si rimanda di nuovo alla pubblicazione ENEA [3]. In quel che segue, dopo una breve descrizione degli obiettivi dei tre scenari alternativi, viene effettuato un confronto dei risultati fondamentali di tutti gli scenari, analizzando anche un elemento di rilievo nel dibattito sull'opportunità di interventi di mitigazione, cioè l'impatto che questi hanno sulla crescita economica. Nel caso dei risultati relativi all'energia primaria e alle emissioni di CO<sub>2</sub>, gli scenari sono anche confrontati con lo scenario tendenziale della delibera CIPE del Dicembre 2002 [4] e con uno scenario elaborato per l'Italia dalla Commissione Europea (mediante il modello Primes) nell'ambito del programma CAFE (Clean Air for Europe) [5].

*Lo scenario Rinnovabili.* Lo scenario ha il duplice obiettivo di valutare le conseguenze della recente introduzione dei Certificati Verdi per incentivare le fonti rinnovabili (FER) e di analizzare costi e benefici di un rafforzamento della misura in questione per avvicinare lo sviluppo delle FER alle loro potenzialità. Lo scenario analizza le conseguenze di una progressiva elevazione dell'attuale obbligo, per produttori ed importatori di elettricità, di immettere in rete una quantità di elettricità prodotta da impianti da FER pari al 2% (elevato dello 0,35% annuo dal 2004 al 2006) dell'elettricità prodotta o importata nell'anno precedente. Nello scenario l'obbligo viene elevato al di là di quanto previsto dal decreto di recepimento della direttiva comunitaria. L'elevazione dell'obbligo prosegue infatti fino al 2020, quando raggiunge il 7%.

*Lo scenario Efficienza energetica.* Lo scenario ha l'obiettivo di valutare gli effetti di un incremento di efficienza del sistema energetico, mediante la simulazione di un aumento della velocità di penetrazione di tecnologie energetiche più efficienti. Si è cercato di verificare da un lato l'esistenza nel sistema italiano di un c.d. *energy-efficiency gap*, dall'altro la possibilità che l'aumento dell'efficienza energetica del sistema possa avvenire a costi ridotti o addirittura negativi. Lo scenario valuta anche la possibilità che una riduzione dei consumi di energia derivante dal progresso tecnologico possa essere in qualche misura "spiazzata" dal c.d. effetto *rebound*. Lo scenario simula le conseguenze delle azioni previste nei d.m. del 24 aprile 2001 [6], nei quali si ipotizza la diffusione di apparecchiature di uso finale più efficienti promossa dai distributori di elettricità e gas naturale. Tali operatori sono tenuti ad effettuare azioni di diffusione di tecnologie fino a raggiungere un risparmio annuo, in energia primaria, di 1,6 Mtep di elettricità e di 1,3 Mtep di energia termica.

*Lo scenario Carbon Tax.* Lo scenario valuta l'utilità di una consistente tassazione del carbonio per determinare una modifica sostanziale nei consumi energetici, mediante l'individuazione del livello della tassa necessario a raggiungere l'obiettivo di una forte riduzione del consumo di fonti fossili e valutandone i costi per il sistema. Nello scenario CT si ipotizza dunque l'introduzione di una tassa sulle emissioni di carbonio che, pur modesta nel breve periodo, raggiunge valori relativamente alti nel medio e ancor più nel lungo periodo. Essa viene infatti introdotta nel 2005 ad un

livello pari a 25\$ per tonnellata di CO<sub>2</sub>, passa a 50\$ nel 2010 e aumenta ancora a 75\$ nel 2015 e a 100\$ nel 2020, dopodiché resta costante. A questa tassa si accompagnano delle modifiche nel settore dei trasporti, ipotizzando una maggiore diffusione (rispetto allo scenario Tendenziale) di veicoli più efficienti e/o di cilindrata media inferiore. Lo scenario incorpora inoltre le misure dello scenario Efficienza.

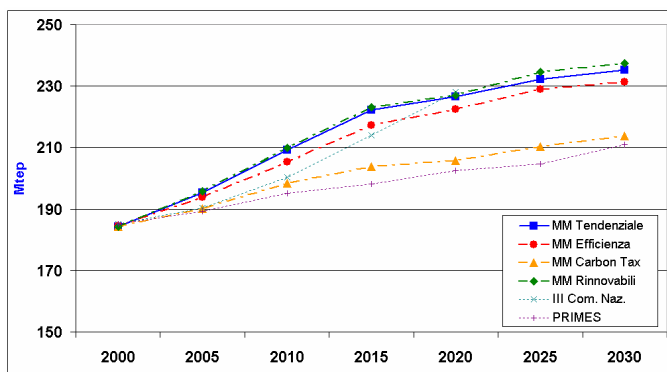
## CONFRONTO E VALUTAZIONE DEI RISULTATI

La valutazione dell'efficacia dei diversi interventi di politica energetica va fatta necessariamente avendo presenti gli obiettivi da raggiungere. Gli scenari esaminati in questo documento sono stati costruiti per analizzare gli effetti di tre opzioni di politica energetica: i certificati verdi, il cui primo obiettivo è la promozione delle fonti energetiche rinnovabili; l'efficienza energetica, il cui primo obiettivo è la riduzione dei consumi di energia; la tassazione del carbonio, il cui primo obiettivo è la riduzione dei consumi di fonti fossili e per questa via delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

### Consumi di Energia

Nella figura 1 sono riportati i consumi energetici complessivi in tutti gli scenari. Dal punto di vista dell'obiettivo del contenimento dei consumi energetici, lo scenario più "efficiente" è quello che prevede l'introduzione di una *carbon tax*, per motivi abbastanza ovvi (se si eccettua il caso dello scenario Primes, uno scenario evidentemente irrealistico, soprattutto se considerato come *tendenziale*).

Fig. 1: Consumi complessivi di energia in tutti gli scenari

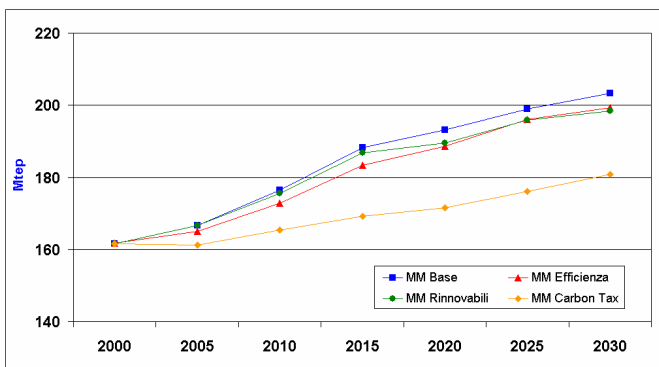


E' significativo però che neppure lo scenario con la tassa sulle emissioni riesce a stabilizzare i consumi energetici totali, pur riducendone notevolmente l'aumento previsto (di circa 20/25 Mtep). Sebbene ciò non vada nella direzione "auspicabile", è necessario comunque tenere presente che le opzioni tecnologiche presenti nel modello possono essere ulteriormente arricchite e sviluppate (attualmente nel modello sono escluse tutte quelle tecnologie che non hanno raggiunto la fase dimostrativa) e anche le opzioni di tipo normativo (rimozione di vincoli e/o promozione di nuove tecnologie) possono essere ulteriormente arricchite. Inoltre, l'orizzonte temporale limitato al 2030 risulta penalizzante per le nuove tecnologie, che entrano "tardi" nel mercato ed hanno bisogno di lunghi tempi di ammortamento (è in fase di completamento l'estensione del modello al 2050). Infine, un'opzione ulteriore

potrebbe consistere in politiche di contenimento della domanda di beni e servizi energetici, cioè nella promozione di modelli di sviluppo diversi.

**Consumo di fonti fossili.** Il consumo totale di fonti fossili (fig. 2) aumenta in modo significativo in tutti gli scenari, sebbene nella seconda metà dell'orizzonte temporale il tasso di crescita si riduca. Sebbene neanche lo scenario CT riesca a stabilizzare i consumi di fonti fossili, la tassazione sul carbonio ne riduce la dimensione di circa 25/30 Mtep. Gli altri scenari alternativi hanno nel lungo periodo un effetto simile ma relativamente modesto, insufficiente a modificare le tendenze in atto. A differenza però dello scenario Efficienza, fino al 2020 la capacità dello scenario Rinnovabili di indurre una riduzione delle fonti fossili è quasi nulla.

Fig. 2: Consumi di fonti fossili negli scenari Markal-Macro



Riguardo all'evoluzione delle diverse fonti fossili i tre scenari non mostrano profonde differenze, con l'eccezione dell'impatto che la tassa sul carbonio produce sui consumi di carbone e di petrolio. Nello scenario CT i consumi di carbone scendono infatti in modo sensibile nel lungo periodo, fino a dimezzarsi rispetto alle previsioni tendenziali. E' un risultato abbastanza prevedibile, ma è significativo come il carbone non sia "sostituito" da altre fonti fossili, ma da fonti rinnovabili (biomassa nel settore domestico) e da aumenti di efficienza energetica. In tutti gli altri scenari il consumo di carbone è invece praticamente identico, in quanto evidentemente la sua convenienza impedisce alle misure che non incidono direttamente sul suo costo di incidere sul suo consumo. Almeno nel medio periodo i consumi di petrolio diminuiscono in tutti gli scenari, ma tendono a stabilizzarsi nel lungo periodo, anche negli scenari Efficienza e Rinnovabili, e addirittura ad aumentare nello scenario CT, in quanto sempre più rigidi perché legati al settore dei trasporti.

I consumi di gas naturale sono massimi nello scenario Tendenziale, mentre sono leggermente inferiori nello scenario Rinnovabili e si riducono in modo rilevante (rispetto all'evoluzione tendenziale) negli scenari Efficienza, soprattutto nel breve/medio periodo. La prima differenza è dovuta alla minore produzione degli impianti a ciclo combinato che caratterizza lo scenario Rinnovabili. La seconda differenza è invece dovuta interamente ad aumenti di efficienza. Nello scenario CT il consumo di gas segue invece un trend simile a quello dello scenario Efficienza fino al 2020, dopodiché si stabilizza.

**Consumo di fonti rinnovabili.** Riguardo al consumo di fonti rinnovabili, il dato di maggior rilievo è costituito dall'efficacia della misura prevista nello scenario Rinnovabili: il progressivo

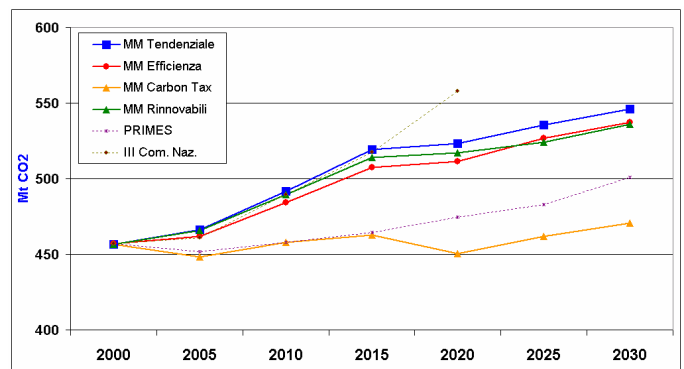
incremento della quota di obbligo per i certificati verdi (fino al 2020) produce infatti una notevole divaricazione rispetto agli altri scenari. Lo scenario Carbon Tax ha invece un effetto positivo solo marginale sul consumo di FER in termini assoluti, incidendo piuttosto sul consumo totale di energia fossile e sul consumo delle diverse fonti fossili (per cui aumenta leggermente il peso delle fonti rinnovabili sul TPES).

**Consumi di energia elettrica.** I consumi di energia elettrica sono relativamente differenziati nei vari scenari, in quanto si riducono in modo apprezzabile sia nello scenario di efficienza energetica che in quello di tassazione del carbonio: il primo mostra le riduzioni attese, mentre lo scenario CT riesce a più che raddoppiare queste riduzioni grazie agli aumenti di prezzo dell'energia. In termini percentuali tali riduzioni sono modeste (5-7%) e non riescono a modificare l'andamento tendenziale in modo sostanziale, ma in valore assoluto il risparmio di 20/30 TWh è tutt'altro che disprezzabile, in quanto paragonabile alla produzione annua di impianti di circa 3.000 MWe di potenza. Lo scenario Rinnovabili non ha invece effetti, perché le variazioni di prezzo non sono evidentemente sufficienti.

### Effetti sulle emissioni di CO2 ed altri inquinanti

Dal punto di vista delle emissioni di CO<sub>2</sub> non sorprende che lo scenario più efficace sia quello con la tassa sul carbonio, che stabilizza le emissioni ai valori del 2000 (fig. 3). Ma è significativo come queste tornino a crescere dopo il 2020, quando termina il progressivo incremento della tassa.

Fig. 3: Emissioni di anidride carbonica in tutti gli scenari



Un'ulteriore riflessione è stimolata dal fatto che le opzioni di separazione e stoccaggio dell'anidride carbonica, presenti nel modello in due tipologie impiantistiche (una centrale elettrica a carbone ed una a gas naturale) non si attivano, segno che la tassazione utilizzato nello scenario CT (pur elevata) è insufficiente, da sola, a favorire queste tecnologie. Parte della spiegazione potrebbe risiedere nell'insufficiente tempo di ammortamento che uno scenario limitato al 2030 consente a tecnologie che possono essere attive solo nel 2015-2020, ma il dato potrebbe riflettere anche una singolarità nazionale non eliminabile, vista l'efficienza media attuale più alta della media OECD.

Nello scenario CT e nello scenario Efficienza si verificano inoltre significative riduzioni dei costi di abbattimento dei composti acidificanti, necessarie per rispettare il tetto nazionale di emissione.

## EFFETTI ECONOMICI DELLE MISURE DI POLICY

Gli effetti economici delle diverse misure esaminate sono valutati confrontando l'evoluzione del PIL, degli investimenti e del costo del sistema energetico negli scenari "alternativi" con l'evoluzione delle stesse variabili nello scenario Tendenziale.

Il risultato di maggiore rilievo è probabilmente quello relativo allo scenario Efficienza energetica, che è senza dubbio il più favorevole da un punto di vista economico. Esso permette infatti aumenti "percepibili" del PIL rispetto all'evoluzione tendenziale (lo 0,1%, v. fig. 4), che sono molto significativi se si considera che gli incrementi di efficienza ipotizzati sono relativamente modesti. Un'analisi più dettagliata dei risultati mostra poi come l'aumento del PIL sia raggiunto grazie all'incremento della componente investimenti, che sono sempre maggiori di quelli previsti nell'evoluzione tendenziale. Infine, la figura 5 mostra come, nonostante i maggiori investimenti per l'attivazione delle nuove tecnologie, lo scenario Efficienza energetica permetta anche una riduzione del costo del "sistema energetico" (che include i costi di acquisto dei vettori energetici da parte degli agenti economici e i costi di investimento ed esercizio dei dispositivi che usano l'energia).

Fig. 4: Differenza nel PIL pro capite tra lo scenario Tendenziale e gli scenari alternativi

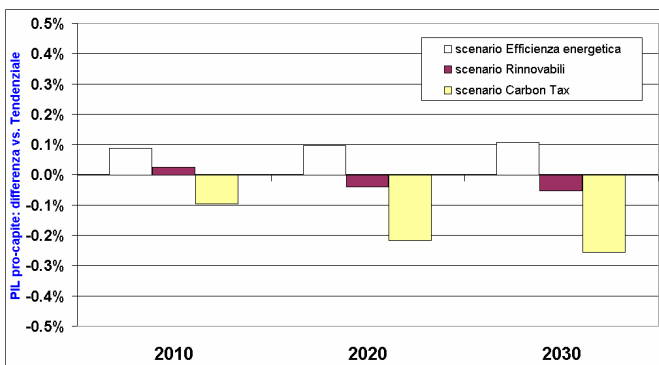
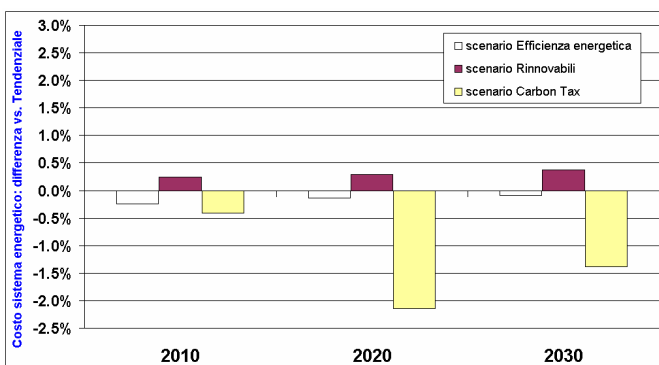


Fig. 5: Differenza nel costo del sistema energetico tra lo scenario Tendenziale e gli scenari alternativi



Si tratta di risultati che trovano diverse conferme in letteratura (si vedano ad esempio il documento IEA [7] e lo studio dell'European Climate Change Programme [8]).

Non sembrano dunque esserci motivi per non implementare al più presto le misure già decise (i decreti dell'aprile 2001) ed incrementare ulteriormente gli obiettivi di riduzione dei consumi previsti, sebbene il raggiungimento dei suddetti benefici richiede spesso riforme non sempre di facile realizzazione. L'unico elemento di cautela riguarda la possibilità di un effetto *rebound*, che segnala l'opportunità di aumentare i costi dell'energia per garantire una maggiore efficacia alle politiche di efficienza.

Lo scenario Rinnovabili presenta al contrario effetti negativi sul PIL, sia pure contenuti sempre al di sotto dello 0,1% annuo, con l'eccezione del primo periodo dello scenario, quando la forte spinta agli investimenti data dalla misura prevista dallo scenario ha un moderato effetto positivo sul PIL. In parallelo, lo scenario è anche caratterizzato da investimenti complessivamente simili a quelli tendenziali (se si considerano insieme il forte aumento del primo periodo e le modeste riduzioni dei periodi successivi) e da costi del sistema energetico sostanzialmente superiori. Nel complesso, questi risultati confermano che la strada di espandere le fonti rinnovabili è probabilmente costosa, ma se ne considera la notevole efficacia nella promozione delle fonti rinnovabili, il costo delle misure considerate nello scenario sembra relativamente modesto. La misura può dunque essere valutata in modo positivo, per il rapporto sostanzialmente favorevole tra costi e benefici. La sua implementazione richiede però attenzione, perché deve tenere conto dei possibili effetti negativi "indiretti".

Lo scenario Carbon Tax comporta infine effetti negativi sul PIL piuttosto consistenti, nonostante l'effetto positivo legato agli incrementi di efficienza previsti nello scenario. La spiegazione di questo impatto sul PIL viene dalla fortissima riduzione degli investimenti che caratterizza lo scenario. La riduzione dei consumi energetici viene evidentemente ottenuta principalmente mediante una riduzione della domanda (a causa dei maggiori costi dell'energia), mentre gli investimenti in nuove tecnologie contribuiscono in modo solo marginale. Un'articolazione dei proventi della tassazione potrebbe però ridurre gli effetti negativi su alcuni settori produttivi. Inoltre, va sottolineato come la riduzione del PIL sia accompagnata da riduzioni più che proporzionali dei costi energetici, dei quali pertanto si riduce il peso sull'economia. Infine, un ulteriore effetto "secondario" da non trascurare è la riduzione delle "altre" emissioni inquinanti. In definitiva, considerando che lo scenario CT è l'unico a permettere una riduzione davvero sostanziale di consumi di energia ed emissioni di anidride carbonica, un intervento di "spostamento" della fiscalità da altri settori all'energia, bilanciato da riduzioni della pressione fiscale in altri settori, deve probabilmente essere considerato tra gli interventi praticabili (anche come supporto alle politiche di promozione dell'efficienza energetica), tanto più se si considera desiderabile la riduzione dell'impatto ambientale dell'uso dell'energia. In particolare, interventi mirati nel settore dei trasporti, con tasse di scopo ed opzioni normative che limitino i consumi specifici dei veicoli, sembrano essere la soluzione migliore per conseguire risultati rilevanti limitando al contempo gli effetti secondari alternativi.

## CONCLUSIONI

Gli scenari energetici esaminati hanno consentito di analizzare gli effetti di tre tipologie di misure: promozione

dell'efficienza energetica, promozione delle fonti rinnovabili e tassazione del contenuto di carbonio dell'energia.

Tutte le misure analizzate si sono mostrate efficaci rispetto all'obiettivo che si prefiggevano, ma hanno però effetti "secondari" diversi. Mentre le misure di efficienza energetica sono convenienti da tutti i punti di vista, la promozione delle fonti rinnovabili ha un impatto molto significativo sul consumo di energia rinnovabile, ma risulta costosa e con effetti non troppo rilevanti sulle emissioni. Le misure di tassazione sono le più efficaci nel ridurre consumi di energia ed emissioni, e sono anche le uniche in grado di orientare le scelte dei consumatori in modo da incidere sul settore dei trasporti. Ma sono anche le misure che, se non implementate con attenzione, rischiano di avere il maggior impatto sull'economia del paese.

Infine, dal punto di vista metodologico, l'analisi dei risultati alla luce di quanto riportato nella letteratura internazionale presenta da un lato coerenza tra le stime relative ai costi economici degli interventi e quelle della letteratura (si veda ad esempio il numero speciale dell'Energy Journal del 1999 [9]), induce dall'altro ad approfondire ulteriormente l'analisi modellistica per estendere l'orizzonte temporale del modello, in modo da consentire gli ammortamenti delle nuove tecnologie e caratterizzare meglio le singolarità nazionali.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Hamilton L.D., Goldstein G.A., Lee J., Manne A.S., Marcuse W., Morris S.C. Wene C.O., *MARKAL-MACRO, An overview*, Brookhaven National laboratory, Upton, NY, 1992.
2. Dorfman R., P. Samuelson P., Solow R., *Linear Programming and Economic Analysis*, McGraw-Hill, New York, 1958
3. Contaldi M., Gracceva F., Scenari energetici italiani. Valutazione di misure di politica energetica, ENEA, 2004.
4. Angeloni M., Contaldi M., Gaudioso D. (a cura di ), *III National Communication to the UN Framework Convention on Climate Change*, Environment Ministry, 2003.
5. National Technical University of Athens, *Italy Baseline scenario. Summary results (Primes ver. 2 energy model)*, Athens 11/03/2003.
6. AEEG, *Proposte per l'attuazione dei decreti ministeriali del 24 aprile 2001 per la promozione dell'efficienza energetica negli usi finali*, 4 aprile 2002.
7. IEA/PRESS03)10, 16/04/2003.
8. ECCP, *Second ECCP Progress Report. Can we meet our Kyoto targets ?*, 2003.
9. Energy Journal, *The costs of the Kyoto Protocol. A multi-model evaluation*, special issue, 1999.