

## **Vincolo di Kyoto: scenari e confronti**

di Laura Cozzi\* ed Enzo Di Giulio\*

### ***Abstract.***

*Quanto è distante il vincolo di Kyoto per i diversi paesi? Quali sono i paesi in posizione di maggior debolezza? Sono richiesti sforzi di entità simile tra i diversi paesi? Queste sono alcune delle domande alle quali si cerca di rispondere in questo articolo. Concentrandosi su 15 paesi industrializzati, esso riconduce le emissioni di CO<sub>2</sub> a quattro variabili fondamentali e propone cinque scenari di raggiungibilità del target. Dall'analisi emerge una forte eterogeneità tra i paesi, per alcuni dei quali il raggiungimento del vincolo fissato a Kyoto comporta miglioramenti assolutamente straordinari dell'efficienza energetico-ambientale.*

### ***Abstract.***

*How far the Kyoto target is for the different countries? Which countries are in a very weak position? Are the efforts required to the different countries similar? This article tries to answer issues like these. Focusing on 15 industrialised countries, it links CO<sub>2</sub> emissions to four main variables and proposes five attainability scenarios. The analysis shows the existence of strong differences among countries, some of which are called to extraordinary improvements of their energy-environmental efficiency in order to respect the Kyoto constraint.*

L'obiettivo principale di questo articolo è analizzare quanto i diversi paesi industrializzati siano distanti dall'obiettivo di riduzione dei gas serra fissato a Kyoto<sup>1</sup>. L'analisi sarà incentrata sulla costruzione di scenari che consentano ai paesi di raggiungere l'obiettivo. Per ogni scenario si studierà come devono variare i due principali indicatori energetico-ambientali (intensità di anidride carbonica per unità di energia ed intensità energetica) per rispettare il vincolo. Verrà infine effettuata, per ogni paese, una valutazione della criticità dell'obiettivo.

---

\* Scuola Superiore Enrico Mattei, Eni

<sup>1</sup> "Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change" (disponibile su Internet nel sito: <http://www.unfccc.de>). Sul documento e sugli sviluppi recenti che hanno fatto seguito alla Conferenza di Buenos Aires, si veda in questo stesso numero di Energia l'articolo di L. Cozzi ed E. Di Giulio, "Da Kyoto a Buenos Aires".

## Alcuni indicatori preliminari

In questo paragrafo, si esaminano alcuni indicatori che offrono una prima panoramica sull'entità delle emissioni di CO<sub>2</sub> nei 15 paesi considerati<sup>2</sup>. Tali paesi sono indicati nella figura 1 nella quale si evidenzia come il contributo in termini di emissioni di CO<sub>2</sub> da parte di ciascun paese sia fortemente differenziato. L'entità delle emissioni varia fino a due ordini di grandezza, in relazione alla grandezza del paese, alla sua ricchezza ed alla sua popolazione, assumendo valori compresi tra i 34,9 Mton dell'Irlanda e i 5228,5 Mton degli Stati Uniti.

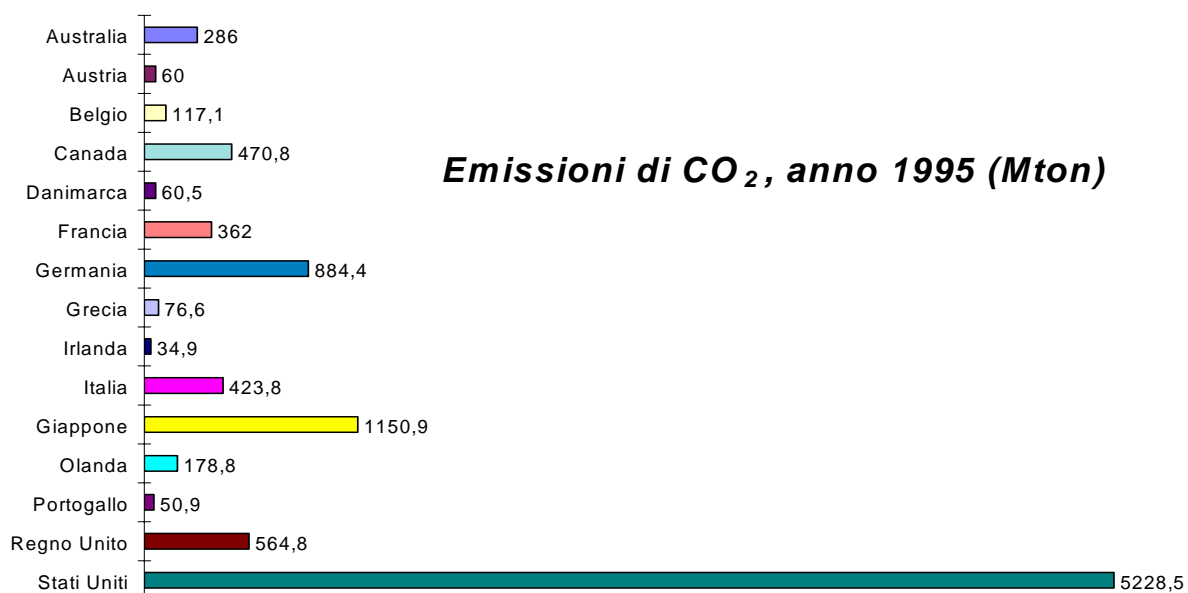


Figura 1: Emissioni di CO<sub>2</sub> al 1995

Gli obiettivi assegnati dal protocollo (tavola 1) sono anch'essi estremamente differenziati, imponendo ad esempio riduzioni dei gas serra del 21%, entro il 2008-2012 rispetto ai valori del 1990, alla Germania e concedendo al Portogallo un incremento del 27%. Tuttavia l'entità del vincolo non ci dice quanto difficile sia per il paese rispettarlo. Un primo indice della distanza dall'obiettivo assegnato è riassunto dall'indicatore "Delta" (tavola 1,  $\Delta = (CO_2 \text{ prevista} - CO_2 \text{ obiettivo Kyoto})_{2010} / (CO_2 \text{ obiettivo Kyoto})_{2010}$ ), ovvero dal rapporto tra l'eccesso di emissione che

<sup>2</sup> Per una visione d'insieme sul problema del cambiamento climatico e sulle implicazioni del Protocollo si suggeriscono, tra le numerose pubblicazioni, le seguenti: Contaldi M. e Tosato G. 1998; Ferriter J. P. 1998; Ghanem S. et al. 1998; IEA 1997 (a) e 1998 (c); Sutherland Ronald J. 1998.

si verificherà nel 2010 in assenza di interventi e il livello da raggiungere per rispettare l'accordo<sup>3</sup>. Osserviamo che tutti i paesi, anche quelli cui è concesso un aumento percentuale delle emissioni, devono adottare delle misure di contenimento delle emissioni che, lasciate inalterate rispetto alle proiezioni, porterebbero a non rispettare il vincolo. Si possono identificare tre fasce di distanza dall'obiettivo: una elevata, con valori di Delta che superano il 30%; una media, con valori di Delta compresi tra il 20 e il 30% ed una bassa con valori di Delta inferiori al 20%. E' da sottolineare come alla prima fascia appartengano ben 3 paesi su 4 cui è stato concesso un aumento delle emissioni (Grecia, Portogallo e Australia), mentre all'ultima fascia appartengono paesi il cui obiettivo di riduzione è fortemente stringente (Germania e Danimarca). Questa considerazione permette di evidenziare che alcuni paesi hanno già intrapreso una politica energetica che li potrebbe portare con sforzi ragionevoli a rispettare il vincolo.

**Tavola 1:**  
**Target Kyoto, Delta rispetto al valore previsto al**  
**2010, CO<sub>2</sub> procapite e CO<sub>2</sub> per unità di reddito al 1995**

	<i>Target</i>	<i>Delta</i>	<i>CO<sub>2</sub>/POP</i> <i>(ton/ab.)</i>	<i>CO<sub>2</sub>/GDP</i> <i>(ton/'90US\$1000)</i>
<i>Grecia</i>	+25%	50,5	7,33	0,85
<i>Stati Uniti</i>	-7%	38,5	19,88	0,85
<i>Canada</i>	-6%	37,0	11,55	0,57
<i>Australia</i>	+8%	30,1	15,84	0,85
<i>Austria</i>	-13%	27,9	7,45	0,34
<i>Portogallo</i>	+27%	25,3	5,13	0,7
<i>Italia</i>	-6,5%	24,6	7,4	0,37
<i>Regno Unito</i>	-12,5%	22,0	9,64	0,55
<i>Belgio</i>	-7,5%	21,2	11,07	0,56
<i>Irlanda</i>	+13%	20,5	9,75	0,58
<i>Germania</i>	-21%	15,2	10,83	0,49
<i>Giappone</i>	-6%	13,8	9,17	0,36
<i>Olanda</i>	-6%	9,0	11,57	0,57
<i>Danimarca</i>	-21%	7,3	11,47	0,42
<i>Francia</i>	0%	7,0	6,23	0,29

Per condurre un'analisi comparata tra paesi così diversi in termini di popolazione e reddito facciamo riferimento a indicatori che scontino l'effetto di tali variabili, ovvero le emissioni di CO<sub>2</sub>

<sup>3</sup> Nello studio si sono considerate le sole emissioni di CO<sub>2</sub> anziché i 6 gas del Protocollo perché, da un parte, esse costituiscono la quota di gran lunga maggiore dei gas serra, dall'altra, si ponevano problemi di disponibilità di dati per i trend passati degli altri gas. Le previsioni e i dati storici cui si fa riferimento nell'intero articolo sono tutti tratti, per uniformità, dalle statistiche IEA (IEA 1994 e IEA 1997 b). L'unica eccezione è costituita dal dato sulle previsioni al 2010 per l'Italia, non presente nelle statistiche IEA. Per esso si è fatto riferimento ad European Commission 1996, scegliendo tra i quattro scenari proposti il Conventional Wisdom, che è il più prudente.

per abitante e per unità di reddito al 1995. Non esiste una correlazione perfetta tra questi due indicatori e Delta. Notiamo, tuttavia, che alla fascia di valori elevati di Delta appartengono, oltre alla Grecia, tre paesi extra-europei (Stati Uniti, Canada e Australia) due dei quali (Stati Uniti e Australia) presentano il più alto valore di emissioni per unità di reddito (0,85), mentre alla fascia bassa appartiene la Francia che ha il minimo valore di emissioni per unità di reddito (0,29). I rimanenti paesi presentano valori compresi tra 0,34 e 0,57 e non si riscontra alcuna correlazione significativa tra tali valori e Delta. L'Italia, come Delta, si colloca nella fascia intermedia e, nel contesto dei paesi europei, è preceduta da 3 paesi con Delta più elevato e seguita da 7 paesi con Delta più basso. Da segnalare l'anomalia del Portogallo che presenta un valore di emissioni per unità di reddito pari a 0,7. Questo alto valore non trova effettivo riscontro nei dati delle emissioni per abitante, ed è giustificabile tenendo presente il basso reddito procapite portoghese che, comparando al denominatore, amplifica il valore dell'indicatore. Una spiegazione analoga interpreta il caso della Grecia che, a fronte di emissioni per unità di reddito pari a 0,85, presenta valori di emissioni per abitante pari a 7,33. Per quanto riguarda quest'ultimo indicatore, trova conferma l'alto livello di emissioni statunitense e australiano (19,88 e 15,84 rispettivamente) e il basso valore francese (6,23). I restanti paesi presentano valori compresi tra 7,33 e 11,57. Infine, per quanto concerne i target dei diversi paesi, e prescindendo da considerazioni di equità che non rappresentano l'obiettivo di quest'articolo<sup>4</sup>, un dato interessante è l'elevato grado di correlazione tra essi e gli incrementi delle emissioni di CO<sub>2</sub> previsti tra il 1990 ed il 2010. Per l'intero gruppo dei 15 paesi il coefficiente di correlazione tra le due variabili è 0,91 ed esso sale a 0,93 qualora si considerino i soli paesi europei. Al contrario, non vi è correlazione significativa né tra target e CO<sub>2</sub> procapite, né tra target e CO<sub>2</sub> per unità di reddito.

## Il metodo

L'analisi della distanza rispetto ai target di Kyoto viene realizzata, per i diversi paesi, attraverso la metodologia della *Kaya identity*<sup>5</sup>. L'identità riconduce le emissioni di CO<sub>2</sub> a quattro coefficienti: l'intensità di anidride carbonica per unità di energia primaria offerta (CT), l'intensità energetica (TG), il reddito procapite (GP), la popolazione (POP). Avremo:

$CO_2 = CO_2/TPES^6 * TPES/GDP * GDP/POP * POP$ , ovvero:

---

<sup>4</sup> Per un inquadramento del problema si suggeriscono due brevi articoli: Rose 1998; Shin 1998.

<sup>5</sup> Numerose analisi hanno utilizzato l'approccio della *Kaya identity*. Qui, come riferimenti, diamo i due seguenti: Kaya Y. 1990; Dougher R. S. and Russell O. Jones 1998.

<sup>6</sup> TPES sta per Total Primary Energy Supply. Si è preferito conservare tale denominazione perché essa rimanda alla classificazione originale dell'IEA (International Energy Agency). Analogamente si è lasciata invariata la sigla GDP, Gross Domestic Product.

$$\text{CO}_2 = \text{CT} * \text{TG} * \text{GP} * \text{POP}$$

L'identità ha tre caratteristiche: è sempre rispettata; non assume alcun legame causale tra i coefficienti CT, TG, GP e POP, da un lato, e le emissioni di CO<sub>2</sub>, dall'altro; individua, comunque, i coefficienti chiave dai quali le emissioni di CO<sub>2</sub> dipendono. In altri termini, qualsiasi politica venga implementata per raggiungere il target di Kyoto essa avrà un effetto su almeno uno dei quattro coefficienti della *Kaya identity*. In tal senso, l'identità offre anche una rappresentazione sintetica delle leve di *policy* sulle quali è necessario intervenire per centrare il target. I coefficienti dell'identità, come illustrato nella tavola 2, dipendono a loro volta da altre variabili<sup>7</sup>. In particolare, avremo:

- CT: dipende, attraverso i coefficienti di emissione, dal mix energetico. *Ceteris paribus*, un'economia che fa largo uso di gas sarà caratterizzata da un coefficiente CT più basso rispetto ad un'altra in cui la fonte primaria è il carbone; *a fortiori* il coefficiente CT diminuirà al crescere della quota di energie rinnovabili e del nucleare. Conseguentemente, l'unico modo per ridurre il coefficiente CT e mitigare le emissioni di CO<sub>2</sub> è l'aumento della quota di energia prodotta attraverso fonti energetiche con bassi o nulli coefficienti di emissione.
- TG: dipende dalla struttura dell'economia, dall'efficienza tecnica nella domanda finale e nella generazione elettrica, dal grado di razionalità dei consumi energetici. *Ceteris paribus*, l'intensità energetica sarà bassa in un paese in cui i servizi e le produzioni leggere hanno un peso cospicuo, l'energia elettrica è generata attraverso tecnologie efficienti (es. cicli combinati), i cittadini e le imprese razionalizzano i consumi energetici evitando gli sprechi.
- GP: dipende, come noto, da una pluralità di fattori sociali ed economici. Pur non essendo in senso stretto una variabile energetica, concorre a determinare le emissioni di CO<sub>2</sub>. A parità di struttura dell'economia, efficienza tecnica, razionalità dei consumi energetici e mix energetico, le emissioni di CO<sub>2</sub> saranno tanto più elevate quanto maggiore è il reddito procapite. L'esistenza di tale relazione è importante poiché sottolinea il costante rischio che politiche di contenimento delle emissioni di anidride carbonica possano avere un impatto depressivo sulla crescita.
- POP: dipende da fattori sociali, economici e culturali. *Ceteris paribus*, un abitante in più implica una crescita delle emissioni di CO<sub>2</sub>. I bassi o nulli tassi di crescita demografica dei paesi industrializzati rendono questo coefficiente poco significativo nell'indagine. Al contrario, esso acquisirebbe un'importanza fondamentale in un'analisi che considerasse i paesi in via di sviluppo.

---

<sup>7</sup> Il dibattito sugli indicatori energetico-ambientali è stato, negli anni recenti, molto vivo. Tra le numerose, qui si segnalano tre pubblicazioni di grande utilità interamente dedicati all'argomento: uno Special Issue di Energy Policy (Shipper L. and Haas R. (Guest editors) 1997) e due volumi dell'IEA (IEA 1997 (c) e (d)).

Sembra importante sottolineare la peculiarità dei coefficienti CT e TG rispetto a GP e POP. Essi, infatti, sono coefficienti energetico-ambientali ed è su di essi che si riflettono tutti gli interventi di politica energetica ed ambientale. Inoltre, miglioramenti della tecnologia possono avere su entrambi un forte impatto (sull'argomento, si suggerisce IEA 1998 (a) e (b) ). La tecnologia può accrescere l'efficienza energetica, ed in tal modo ridurre TG, come pure può modificare l'ordine di convenienza delle fonti e la loro quota, e quindi, in ultimo, CT. Pertanto, nell'adempimento del vincolo di Kyoto, le misure di *policy* agiscono, direttamente o indirettamente, su questi due coefficienti ed è su di essi che si concentrerà l'analisi seguente.

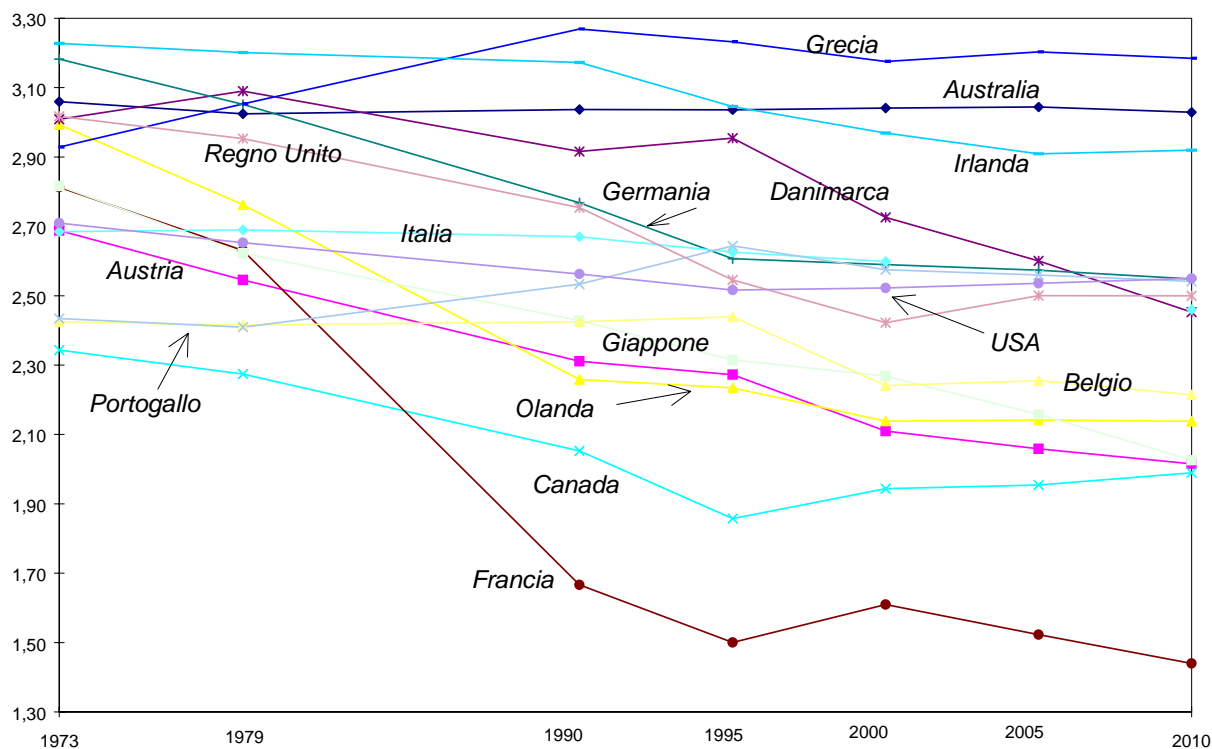
**Tavola 2:**

**Coefficienti della Kaya identity, fattori e politiche che li influenzano**

<b>Coefficienti di Kaya</b>	<b>Unità di misura</b>	<b>Fattori che determinano i coefficienti di Kaya</b>	<b>Principali politiche per mitigare le emissioni di CO<sub>2</sub></b>
CT = CO <sub>2</sub> /TPES intensità di anidride carbonica	tonCO <sub>2</sub> / tep	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mix energetico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• espansione delle energie rinnovabili, del nucleare e del gas</li> </ul>
TG = TPES/GDP intensità energetica	tep/'90US\$1000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• struttura dell'economia</li> <li>• efficienza tecnica</li> <li>• razionalità dei consumi energetici</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• espansione dei servizi, dematerializzazione</li> <li>• diffusione tecnologie efficienti</li> <li>• risparmio energetico, DSM, audit energetici, ecc.</li> </ul>
GP = GDP/POP reddito procapite	'90US\$1000/ab	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fattori socio-economici</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• azioni di contenimento della crescita economica</li> </ul>
POP popolazione	milioni di abitanti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fattori sociali, economici e culturali</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• azioni di contenimento della crescita demografica</li> </ul>

### **L'analisi dei coefficienti di Kaya**

L'analisi dei coefficienti della *Kaya identity* consente di compiere una lettura sintetica della storia energetica dei diversi paesi, individuare i loro punti di forza e di debolezza ed effettuare un primo confronto tra di essi. Gli andamenti dell'intensità di anidride carbonica per unità di offerta primaria di energia (CT) e di intensità energetica (TG) sono riportati, per il periodo dal 1973 al 2010, nelle figure 2 e 3.



**Figura 2: andamento temporale di CT (ton CO<sub>2</sub>/tep)**

Dalla prima figura emerge come la Grecia, l’Australia e l’Irlanda siano caratterizzate da un elevato livello di CT. La ragione di ciò risiede nel dominio, in questi tre sistemi energetici, delle due fonti carbone e petrolio. Al 1995, le quote di tali fonti sul totale TPES erano, rispettivamente, per la Grecia 33,8% e 56%, per l’Australia 37,5% e 33,9%, per l’Irlanda 26% e 51,8%. La Danimarca, anche, è caratterizzata da un elevato valore di CT legato ad ampie quote di carbone e petrolio (32,4% e 45,4% al 1995), tuttavia le previsioni per gli anni seguenti indicano una riduzione dell’intensità di anidride carbonica per unità di TPES a ragione della diminuzione della quota di carbone (14,3% al 2010), della forte espansione del gas (28,9% al 2010) e delle rinnovabili (circa il 15% al 2010). Tra gli andamenti spicca quello della Francia che ha abbattuto drasticamente il suo CT grazie, principalmente, allo sviluppo del nucleare, passato dal 2,2% del 1973 al 40,7% del 1995. Nello stesso anno, la maggior parte dei paesi si colloca in una fascia di valori di CT compresa tra il 2,44 (Olanda) e il 2,64 (Portogallo). E’ interessante osservare come CT sia compreso tra un valore minimo pari a 1,5 (Francia) ed uno massimo pari a 3,23. In altri termini, strutture dell’offerta di energia diverse possono dare luogo a differenze nell’ammontare di tonnellate di CO<sub>2</sub> per tep dell’ordine del 100%.

Per quanto concerne TG, nella figura 3 risaltano gli andamenti di Canada e Stati Uniti (al 1995, rispettivamente 0,414 e 0,338) i cui trend sono sempre superiori, anche per gli anni seguenti, a quelli degli altri paesi. Tale alto valore è legato, più che alla struttura dell’economia fortemente

spostata verso i servizi in entrambi i paesi, alle abitudini di consumo energetico degli agenti. Al contrario, nel grafico, spiccano i trend di Danimarca, Italia<sup>8</sup>, Austria e Giappone (al 1995, TG rispettivamente pari a 0,143; 0,144; 0,151; 0,157) la cui intensità energetica è sui valori più bassi del mondo. In posizione centrale, si collocano paesi come la Germania, la Francia e il Regno Unito (al 1995, TG rispettivamente pari a 0,190; 0,191; 0,212). Di nuovo, le differenze nei valori del coefficiente TG tra paesi collocati nella fascia alta e bassa sono cospicue e superiori, in termini percentuali, a quelle rilevate per CT. In particolare, la differenza percentuale esistente tra Danimarca e Canada (minimo e massimo TG al 1995) è di poco inferiore al 300%. Tuttavia, in generale, nel futuro la distanza tra paesi tenderà sempre più a ridursi come pure le intensità energetiche dei diversi paesi diminuiranno, salvo le eccezioni della Grecia ed, in minor misura, dell'Austria. Ciò è legato al fatto che i 15 paesi qui considerati sono tutti caratterizzati da economie già industrializzate, che tendono all'espansione dei servizi ed, in generale, alla crescita di settori a bassa intensità energetica. Naturalmente, anche il miglioramento dell'efficienza tecnica nella generazione elettrica e negli usi finali svolge un ruolo importante nell'abbassamento del coefficiente TG. Per quanto concerne, invece, la razionalità dei consumi energetici, occorre sottolineare come tale fattore, di grande potenzialità nella riduzione di TG, sia stato fino ad oggi relativamente poco sfruttato.

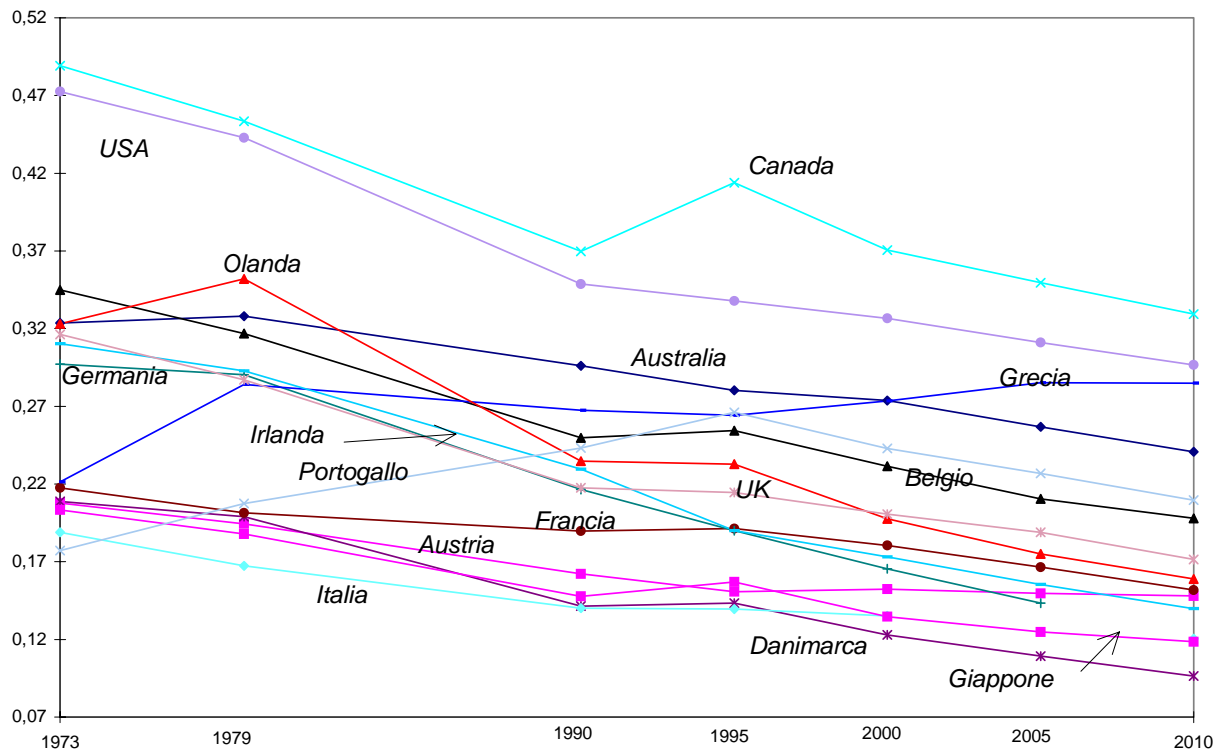


Figura 3: andamento temporale di TG (tep/'90US\$1000)

<sup>8</sup> Per un approfondimento sull'Italia si vedano: Coiante D., Lombard P.L., Molocchi A. 1998; Molocchi A. (a cura di ) 1998; Bianchi A. e Di Giulio E. 1998 e, in questo stesso numero di Energia, l'articolo di ...

Il quadro sintetico dei valori dei due coefficienti al 1995 è proposto nelle figure 4 e 5. Interessanti sono i due casi di Canada e Danimarca: il primo è caratterizzato da un valore molto basso di CT (quota di idro + nucleare + rinnovabili + gas di poco inferiore al 60%) e da uno molto alto di TG; il secondo, al contrario, da una bassissima intensità energetica e da un valore molto elevato di CT. E' inoltre interessante osservare come i paesi con elevata intensità energetica (Canada, Stati Uniti, Australia, Portogallo e Grecia) siano quelli con un elevato coefficiente Delta (vedi tavola 1). In altri termini, l'elevata intensità energetica allontana questi paesi dal target di Kyoto. Inoltre, Australia e Grecia hanno anche un elevato CT. Le previsioni al 2010 mostrano - con l'eccezione della Grecia, ancora nel tratto crescente della curva dell'intensità energetica - un decremento di TG per Canada, Stati Uniti, Australia e Portogallo (vedi figura 3). L'analisi degli scenari che segue confermerà l'insufficienza di tale decremento nel garantire loro il raggiungimento dell'obiettivo.

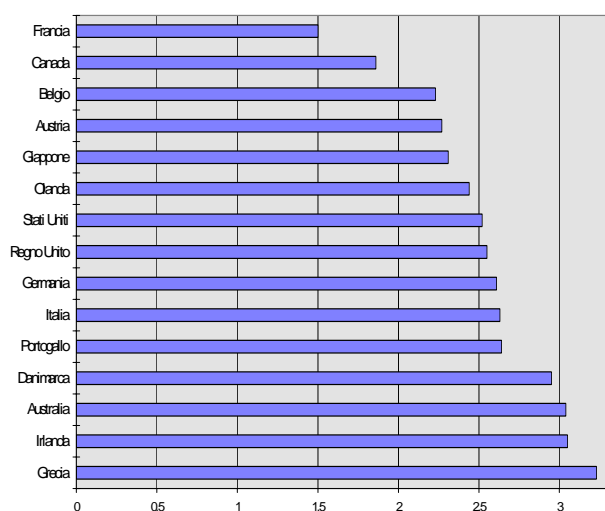


Figura 4: CT '95 (ton CO2/tep)

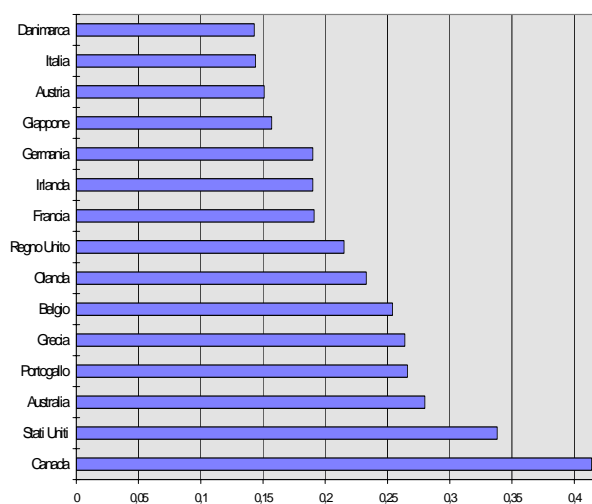


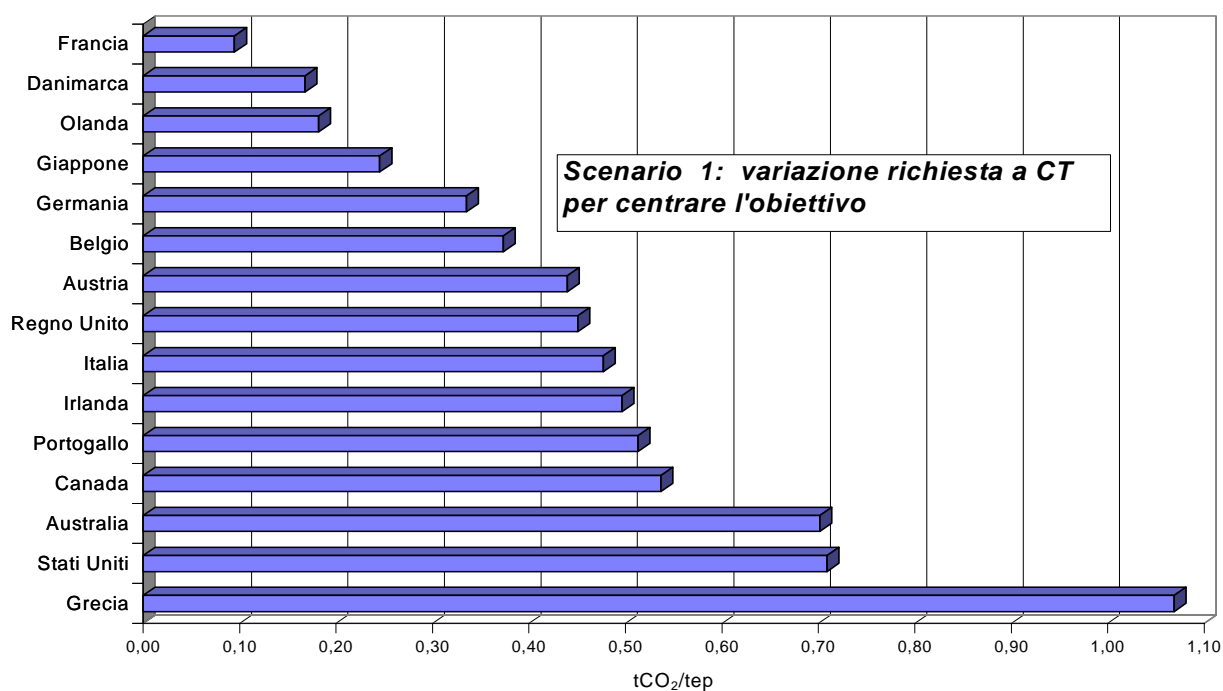
Figura 5: TG '95 (tep/'90US\$1000)

### L'analisi degli scenari

L'analisi degli scenari viene condotta assumendo che solo i coefficienti CT e TG della *Kaya identity* vengano utilizzati come variabili di controllo, ovvero che il target di Kyoto venga centrato attraverso la loro riduzione. In altri termini, per ogni paese, ci si chiede di quanto i due coefficienti dell'identità debbano diminuire al fine di rispettare il vincolo ad esso assegnato. In tutti i cinque scenari che verranno proposti, si esclude che i coefficienti reddito procapite e popolazione vengano utilizzati come strumenti per centrare il target. Questa scelta dipende, per un verso, dall'irrelevanza della dinamica della variabile popolazione nei paesi considerati, per un altro, dall'ipotesi ottimistica che il raggiungimento del target di Kyoto non abbia ripercussioni negative sulla crescita economica. Certo, come evidenziato in precedenza, il reddito procapite è un elemento che concorre alla

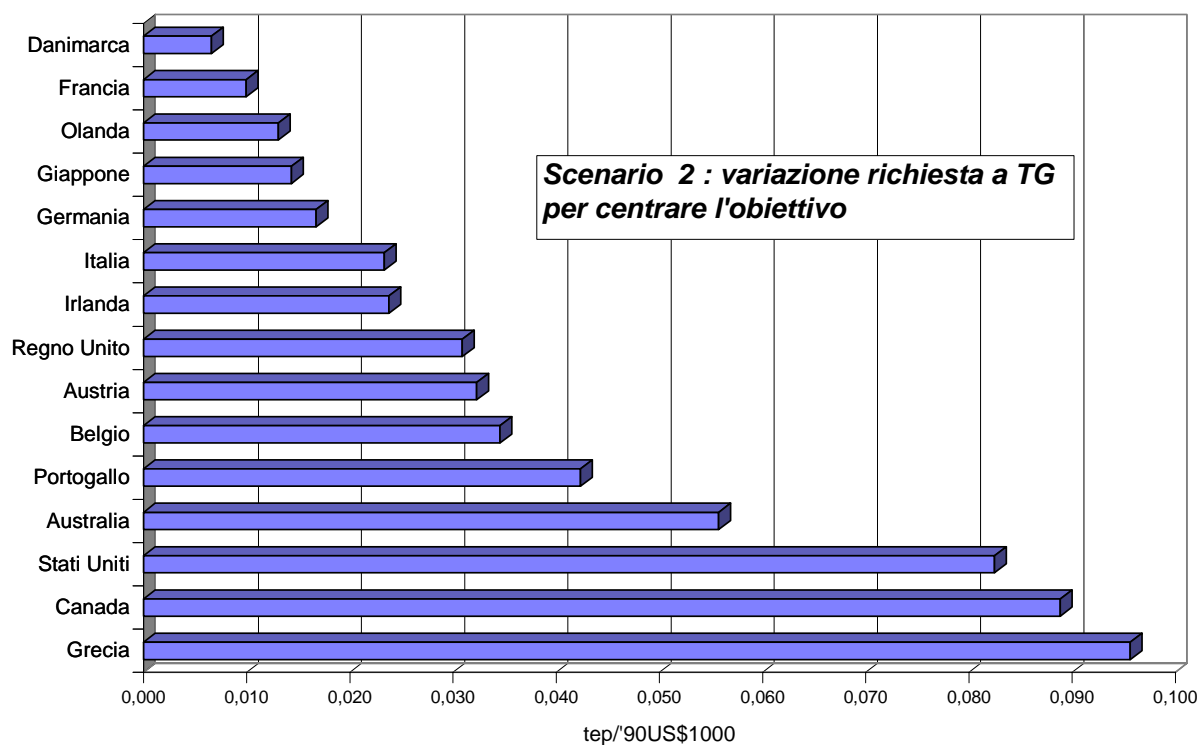
generazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e la loro diminuzione può avere un impatto negativo su di esso. Tuttavia, qui si assume che le politiche attivate per rispettare il vincolo siano virtuose e che, pertanto, non avranno un effetto depressivo sull'economia. I primi due scenari sono costruiti nel modo seguente: ceteris paribus, nel primo scenario il target viene raggiunto attraverso la sola diminuzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> per unità di offerta di energia primaria (CT), nel secondo scenario, invece, attraverso la sola diminuzione dell'intensità energetica (TG). I risultati delle due simulazioni sono riassunti nei grafici delle figure 6 e 7, nei quali i 15 paesi sono ordinati per ampiezza della variazione dei due coefficienti necessaria a centrare l'obiettivo di Kyoto. Tale variazione è pari alla differenza tra i valori previsti al 2010 e quelli stimati negli scenari come necessari a centrare il target.

**Scenario 1.** Questo scenario evidenzia forti disparità tra i paesi. In posizione migliore sono Francia, Danimarca e Olanda, paesi ai quali si richiede una diminuzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> per TPES inferiore a 0,20 ton/tep. Ciò sarà sufficiente, ceteris paribus, a centrare il target. Al contrario, in posizione peggiore sono l'Australia, gli Stati Uniti e la Grecia. La variazione di CT richiesta a quest'ultima è circa 12 volte superiore quella richiesta alla Francia (1,07 contro 0,09 tCO<sub>2</sub>/tep) mentre per Stati Uniti (0,71) ed Australia (0,70) sarà necessaria una variazione di CT quasi 8 volte superiore a quella della Francia. I restanti 9 paesi sono piuttosto vicini e si collocano nella fascia di riduzione 0,25-0,54 tCO<sub>2</sub>/tep. E' interessante osservare come, a parte la Grecia, i paesi in posizioni di debolezza siano extra-europei (Stati Uniti, Australia, Canada).



**Figura 6: distanza di CT rispetto all'obiettivo per i diversi paesi (scenario 1)**

- Scenario 2.** I risultati di questa simulazione confermano, parzialmente, quelli dello scenario 1. Di nuovo, la Grecia è il paese in posizione peggiore. La variazione di TG ad essa necessaria per raggiungere il target (0,096 tep/'90US\$1000) è circa 14 volte superiore a quella richiesta alla Danimarca (0,007), paese in posizione migliore. Come già nello scenario 1, Stati Uniti e Grecia, da una parte, e Danimarca e Francia, dall'altra, compaiono nel blocco dei tre paesi, rispettivamente, più e meno distanti dal target. Relativamente agli altri paesi, l'Italia migliora la sua posizione (dal 9° al 6° posto): ad essa è necessaria, per rispettare il target, una diminuzione della propria intensità energetica pari a 0,023 tep/'90US\$1000 rispetto al livello previsto al 2010.



**Figura 7: distanza di TG rispetto all'obiettivo per i diversi paesi (scenario 2)**

I due scenari confermano, a grandi linee, le indicazioni date dall'indicatore Delta nel primo paragrafo (vedi tavola 1). Anche la considerazione dei singoli coefficienti evidenzia due paesi costantemente in posizione privilegiata (Danimarca e Francia) ed un paese, la Grecia, in posizione peggiore, nonostante un target pari al + 25%. Inoltre, come già visto attraverso l'indicatore Delta, tre paesi sui quattro più distanti dal target sono extra-europei (Stati Uniti, Australia e Canada). L'Italia conferma la sua posizione intermedia.

Tuttavia, l'analisi condotta negli scenari 1 e 2 ha il limite di un basso grado di realismo. Infatti, è difficile immaginare politiche di raggiungimento del target incentrate esclusivamente sul mix di

fonti (variazione di CT) oppure sulla diminuzione dell'intensità energetica (TG). Il *policy maker*, nella ricerca di una via *cost effective* al raggiungimento del target, cercherà, appropriatamente, di sfruttare entrambe le leve a sua disposizione. Inoltre, al di là dell'azione delle politiche, c'è da rilevare che solo nell'astrazione del modello, CT e TG possono variare indipendentemente l'uno dall'altro. Al contrario, nella realtà, variazioni di CT comporteranno, nella maggior parte dei casi, anche variazioni di TG. Ad esempio, la penetrazione del gas attraverso la diffusione della tecnologia a cicli combinati abbassa CT e, nello stesso tempo, eleva l'efficienza energetica e, pertanto, riduce TG. Per questa ragione, nell'analisi di scenario che segue verranno prese in considerazione variazioni congiunte dei due coefficienti. In particolare, la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> necessaria a rispettare il vincolo di Kyoto viene conseguita ripartendo l'entità dello sforzo sulle due variabili di controllo secondo le seguenti modalità:

- Scenario 3. Sforzo per raggiungere il target: 1/2 su CT, 1/2 su TG.
- Scenario 4. Sforzo per raggiungere il target: 2/3 su CT, 1/3 su TG.
- Scenario 5. Sforzo per raggiungere il target: 1/3 su CT, 2/3 su TG.

I risultati delle tre simulazioni per CT e TG sono riportati nella tavola 3.

**Tavola 3:**

**CT e TG: variazione media annua per centrare l'obiettivo (scenari 3, 4, 5)  
e massima variazione media annua storica (1973/1995)**

	Scenario 3		Scenario 4		Scenario 5		Max 1973/1995	
	CTVMAK kg CO <sub>2</sub> / tep	TGVMAK tep/ MUS\$'90	CTVMAK kg CO <sub>2</sub> / tep	TGVMAK tep/ MUS\$'90	CTVMAK kg CO <sub>2</sub> / tep	TGVMAK tep/ MUS\$'90	CTVMAS kg CO <sub>2</sub> / tep	TGVMAS tep/ MUS\$'90
<i>Australia</i>	31,2	2,5	50,4	0,8	10,0	4,0	5,7	3,1
<i>Austria</i>	19,4	1,4	31,6	0,5	6,2	2,3	23,8	2,9
<i>Belgio</i>	16,3	1,5	26,6	0,5	5,3	2,5	45,8	6,1
<i>Canada</i>	24,1	4,0	37,5	1,5	9,3	6,2	39,0	7,6
<i>Danimarca</i>	7,1	0,3	11,7	0,1	2,4	0,5	5,8	5,2
<i>Francia</i>	4,0	0,4	6,6	0,1	1,4	0,7	87,6	2,7
<i>Germania</i>	14,5	0,7	23,7	0,2	4,8	1,2	32,3	6,7
<i>Grecia</i>	49,1	4,4	77,8	1,4	15,9	7,0	7,3	1,5
<i>Irlanda</i>	21,6	1,0	34,8	0,4	7,7	1,7	25,5	7,9
<i>Italia</i>	20,9	1,0	34,1	0,3	6,7	1,7	25,5	9,2
<i>Giappone</i>	10,6	0,6	17,2	0,2	3,6	1,0	32,3	3,6
<i>Olanda</i>	7,7	0,6	12,8	0,2	2,5	0,9	1,6	10,7
<i>Portogallo</i>	22,6	1,9	36,1	0,7	8,0	3,0	4,1	0
<i>Regno Unito</i>	19,7	1,4	31,7	0,5	6,9	2,2	41,7	6,3
<i>Stati Uniti</i>	31,9	3,7	51,0	1,2	10,6	5,9	23,8	2,9

In questa tavola, si mostra la variazione media annua di CT e di TG necessaria a centrare il target nei tre scenari. In altri termini si ipotizza, per facilitare il confronto con la storia energetica passata,

che il vincolo venga rispettato attraverso miglioramenti costanti di CT e di TG conseguiti anno per anno. La variazione media annua per centrare il target di Kyoto (VMAK) è calcolata su un periodo di 12 anni (1998-2010) poiché, in linea con un'interpretazione diffusa, si è scelto il 2010 come *deadline* del Protocollo. Nella tavola 3, è possibile vedere come la variazione media annua di CT necessaria a centrare il target (CTVMAK) assuma, per tutti i paesi, il valore più elevato nello scenario 4 nel quale si ipotizza che 2/3 dello sforzo per rispettare il vincolo di Kyoto sia concentrato su CT. Al contrario, nello stesso scenario 4, la variazione media annua richiesta a TG (TGVMAK) assume il valore minore. specularmente, tra i tre scenari, è nel 5 che la VMAK assume per CT e TG rispettivamente il valore minimo e massimo. Valori intermedi sono invece raggiunti nello scenario 3 che, più equilibrato, ripartisce gli sforzi equamente tra i due coefficienti. Questi tre scenari confermano, con qualche cambiamento poco significativo, le indicazioni dei precedenti scenari 1 e 2 in cui gli sforzi erano ripartiti, nel primo, solo su CT e, nel secondo, solo su TG. Rispetto a CTVMAK, la Grecia è in tutti i tre scenari, il paese in posizione più critica. Altri paesi in posizione critica, in tutti gli scenari, sono gli Stati Uniti, l'Australia ed il Canada, mentre quelli in posizione migliore sono la Francia, la Danimarca e l'Olanda. Per quanto concerne la TGVMAK, emerge un unico scenario, il 4, in cui la Grecia non sia in posizione peggiore, essendo superata dal Canada (1,4 contro 1,5 tep/MUS\$'90). In tutti i tre scenari, comunque, Grecia, Canada e Stati Uniti appaiono i tre paesi in posizione più critica. Nelle posizioni migliori, invece, si trovano, in tutti gli scenari, Danimarca, Francia e Olanda. Anche la Germania e il Giappone sono caratterizzati da buone posizioni in tutti i tre scenari. Come già negli scenari 1 e 2, sia per CT che per TG, le differenze tra paesi nella fascia alta e paesi in quella bassa sono consistenti e superano, in alcuni casi, il 1000%.

In sintesi, le simulazioni dei 5 scenari possono essere riassunte nei seguenti punti:

- esistenza, in tutti gli scenari, di una divisione ampia tra due gruppi di paesi, uno regolarmente in posizione peggiore (Grecia, Stati Uniti, Canada, Australia) ed un altro regolarmente in posizione migliore (Danimarca, Francia, Olanda);
- esistenza, in tutti gli scenari, di ampie differenze tra le variazioni di CT e TG, necessarie per centrare il target, dei paesi in posizione di debolezza e di quelli in posizione di forza;
- distanza indipendente dal target: la Grecia e la Danimarca (target + 25% e -21%) sono in posizione rispettivamente di debolezza e di forza.

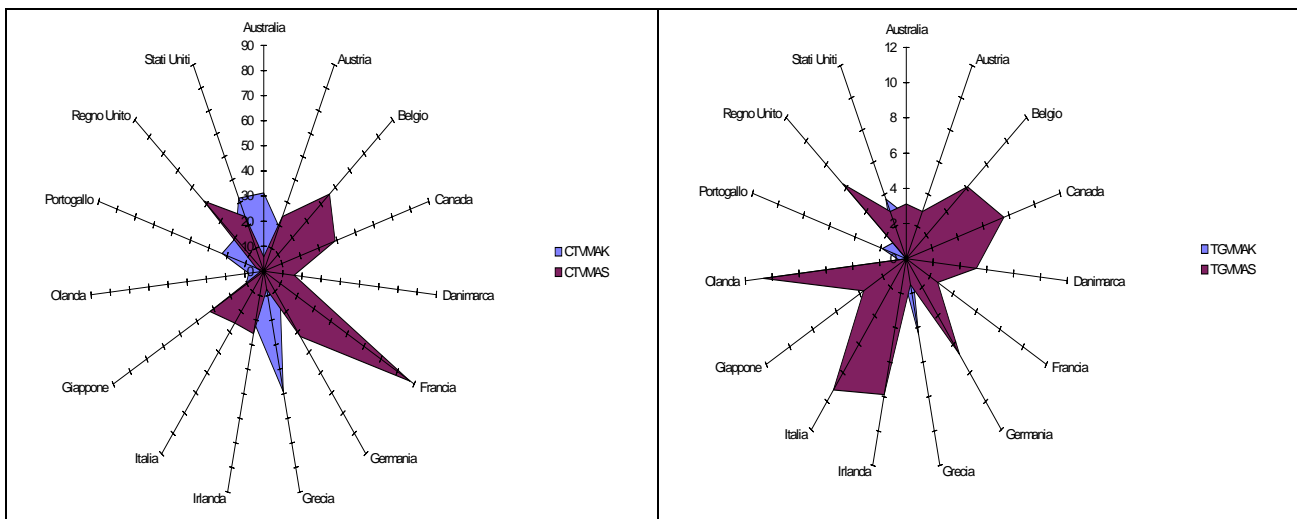
### **Considerazioni sulla distanza dei diversi paesi dal target**

E' utile, a questo punto, dopo aver esaminato le posizioni relative dei diversi paesi, soffermarsi sul significato dei numeri e fare alcune considerazioni sulla distanza dal target. Infatti, l'informazione contenuta nelle variazioni richieste a CT e a TG nei diversi scenari, pur offrendo indicazioni rilevanti nella comprensione di quanto ogni singolo paese sia distante dall'obiettivo, deve essere integrata con il dato relativo ai livelli di CT e TG al 2010 in assenza di interventi. Una medesima distanza dal target, infatti, ha un significato diverso in relazione al livello assoluto assunto dall'indicatore: maggiore è il valore assoluto di TG e maggiori saranno i margini di intervento del *policy maker*. Analoghe considerazioni valgono per CT: paesi con alte emissioni di CO<sub>2</sub> per TPES dovute, ad esempio, ad un'elevata quota di consumo di carbone, hanno maggiori gradi di libertà rispetto a paesi nei quali la penetrazione del gas è già elevata. Ciò non implica necessariamente che i costi per abbassare CT e TG siano sempre maggiori nei paesi in cui i due coefficienti assumono valori bassi, a ragione della possibilità che si manifestino tanto economie di scala (es. sfruttamento della rete esistente di trasporto del gas) quanto economie di apprendimento (es. possesso di know how nelle tecnologie ad elevata efficienza tecnica come la cogenerazione). Al di là dell'aspetto economico, è tuttavia certo che paesi caratterizzati da valori elevati di CT e TG hanno, quantitativamente, un'area di intervento più ampia. Per tale ragione, nella tavola 4 si riportano le variazioni minime, medie e massime necessarie a CT e TG per rispettare il vincolo, in percentuale rispetto ai valori previsti al 2010 in assenza di interventi (variazione percentuale =  $(X_{2010} - X_k)/X_{2010}$ ; X= CT, TG). Poiché, data la struttura del modello, tali variazioni sono per CT e TG uguali (scenario 3) e simmetriche (scenari 4 e 5), esse vengono proposte in un unico quadro (tavola 4) per i due indicatori. E' possibile vedere come l'analisi delle variazioni percentuali confermi le conclusioni emerse dall'esame dei valori assoluti. Di nuovo Grecia, Canada, Stati Uniti e Australia sono caratterizzati da elevate percentuali mentre Francia, Danimarca, Olanda e Giappone sono ancora caratterizzati da bassi valori percentuali. Ciò significa che le posizioni di forza e di debolezza dei paesi che emergono dagli scenari sono ancora validi qualora si considerino le distanze dal target in valore percentuale. E' però molto importante sottolineare come tale conclusione prescindendo del tutto dalla considerazione di effetti soglia, soprattutto rispetto a TG: in particolare, l'intensità energetica di alcuni paesi (es. Italia, Danimarca, Giappone) è così bassa che si può ipotizzare che essa non sia molto distante dal suo limite inferiore. La possibilità di tale effetto soglia - la cui rilevanza, per molti paesi industrializzati, è certamente maggiore per TG che per CT - non deve essere trascurata.

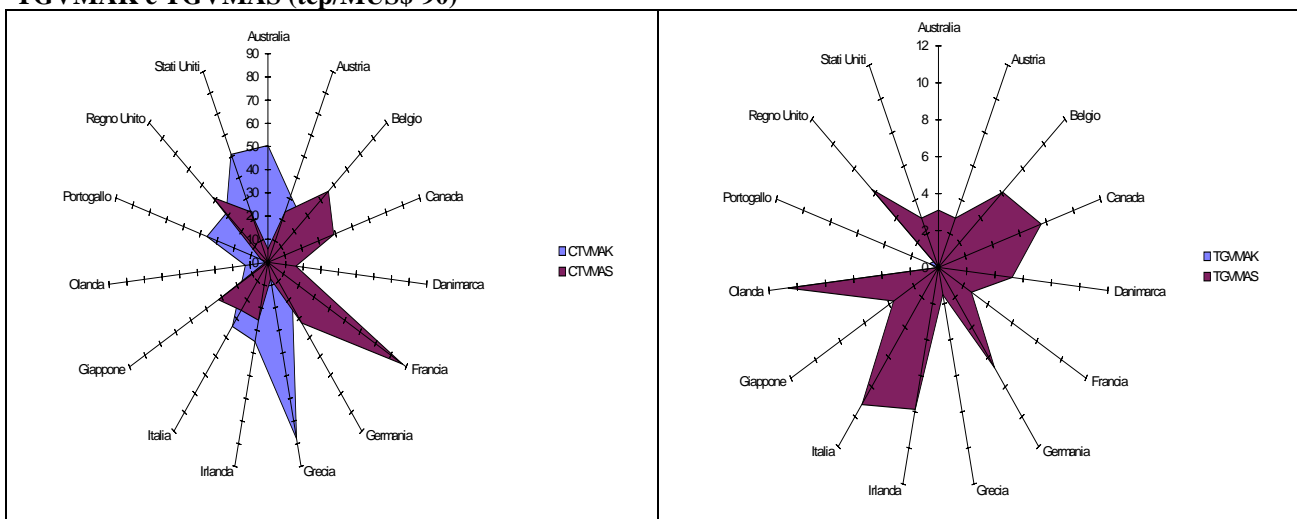
**Tavola 4: CT e TG: variazione minima, media e massima richiesta per centrare l'obiettivo in % sulla previsione al 2010**

	<i>Variazione minima</i>	<i>Variazione media</i>	<i>Variazione massima</i>
<i>Australia</i>	4,0%	12,3%	20,0%
<i>Austria</i>	3,7%	11,6%	18,8%
<i>Belgio</i>	3,0%	9,2%	14,9%
<i>Canada</i>	5,6%	14,6%	22,6%
<i>Danimarca</i>	1,2%	3,5%	5,7%
<i>Francia</i>	1,1%	3,3%	5,5%
<i>Germania</i>	2,3%	6,5%	11,1%
<i>Grecia</i>	6,0%	18,5%	29,3%
<i>Irlanda</i>	3,2%	8,9%	14,3%
<i>Italia</i>	3,3%	10,2%	16,6%
<i>Giappone</i>	2,1%	6,3%	10,2%
<i>Olanda</i>	1,4%	4,2%	6,9%
<i>Portogallo</i>	3,8%	10,7%	17,1%
<i>Regno Unito</i>	3,3%	9,5%	15,2%
<i>Stati Uniti</i>	5,0%	15,0%	24,0%

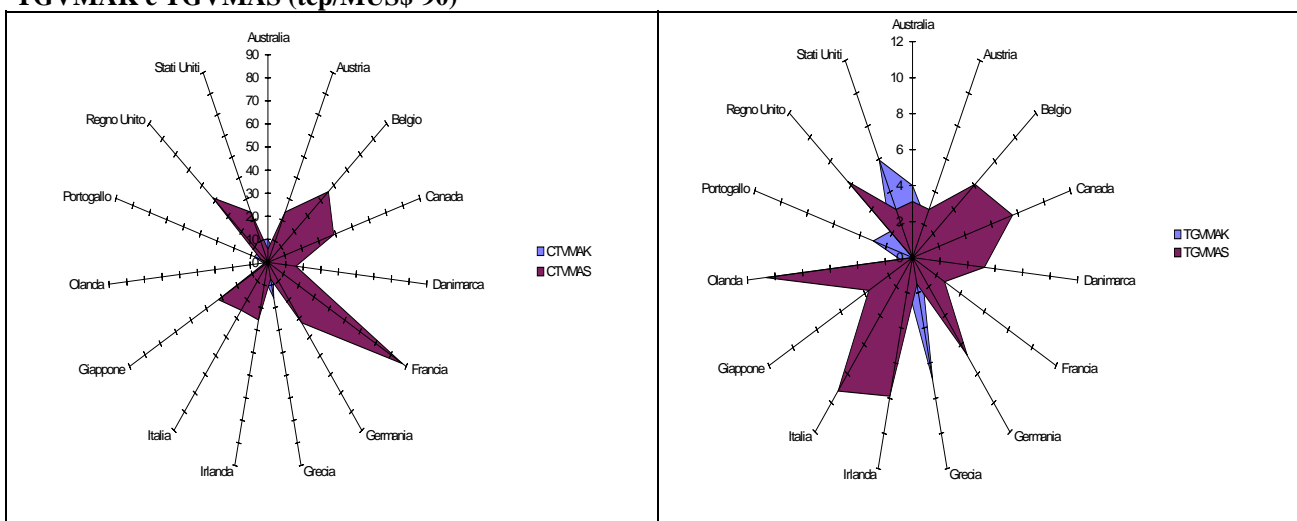
Le considerazioni sulla distanza dal target vengono approfondite con un ultimo esercizio nel quale si confronta la variazione media annua di CT e TG necessaria a rispettare il vincolo con la massima variazione media annua storica calcolata sui 3 intervalli 1973-1979, 1979-1990, 1990-1995 (vedi tavola 3). Il confronto fornisce un'ulteriore indicazione della difficoltà nel raggiungimento dal target: infatti, è plausibile ritenere che un paese che abbia già nel passato realizzato, per un numero significativo di anni (minimo 5), un abbassamento medio annuo di CT e TG maggiore o uguale a quello richiesto per centrare il target sia in grado, prescindendo da effetti soglia, di ripetere lo sforzo. Il confronto tra VMAK e massima variazione media annua storica (VMAS) è sintetizzato nelle figure 8, 9 e 10 nelle quali sono riportati, per ogni scenario e per CT e TG, i due valori. Il criterio di costruzione della figure è, concentrandosi per semplicità solo su CT, il seguente: su ogni asse, corrispondente ad un paese diverso, sono stati riportati i valori di CTVMAK e della massima variazione media annua storica di CT (CTVMAS). Si è poi proceduto, distintamente per CTVMAK e per CTVMAS, ad unire i punti dei diversi paesi. Si sono ricavate così due aree, una chiara (per CTVMAK) ed una scura (per CTVMAS). Pertanto, ogni volta che l'area chiara è più esterna di quella scura avremo  $CTVMAK > CTVMAS$ , ovvero la variazione media annua richiesta per centrare Kyoto è maggiore della massima variazione media annua storica. Tale relazione ( $CTVMAK > CTVMAS$ , ovvero area chiara più esterna di quella scura) viene qui interpretata come indizio di criticità nel raggiungimento del target. E' importante sottolineare come, poiché gli scenari assumono variazioni congiunte di CT e TG, la criticità nel raggiungimento dell'obiettivo emerge anche quando l'area chiara sia più esterna di quella scura per uno solo dei coefficienti.



**Figura 8:**  
**Scenario 3 - Confronto tra:**  
**CTVMAK e CTVMAS (kgCO<sub>2</sub>/tep);**  
**TGVMAK e TGVMAS (tep/MUS\$'90)**



**Figura 9:**  
**Scenario 4 - Confronto tra:**  
**CTVMAK e CTVMAS (kgCO<sub>2</sub>/tep);**  
**TGVMAK e TGVMAS (tep/MUS\$'90)**



**Figura 10:**  
**Scenario 5 - Confronto tra:**  
**CTVMAK e CTVMAS (kgCO<sub>2</sub>/tep);**  
**TGVMAK e TGVMAS (tep/MUS\$'90)**

I risultati vengono sintetizzati nella tavola 5 nella quale si mostrano, per ogni scenario, i paesi che sono caratterizzati da  $VMAK > VMAS$  rispetto ad un solo indicatore (media criticità) oppure rispetto ad entrambi (elevata criticità):

**Tavola 5: Confronto VMAK-VMAS: gradi di criticità nel raggiungimento dell'obiettivo**

	<b>Media Criticità</b>	<b>Elevata Criticità</b>
<b>Scenario 3</b>	Australia, Olanda	Grecia, Portogallo, Stati Uniti
<b>Scenario 4</b>	Australia, Grecia, Italia, Irlanda, Olanda, Stati Uniti	Portogallo
<b>Scenario 5</b>	Olanda, Stati Uniti	Australia, Grecia, Portogallo

La tavola conferma, con l'eccezione del Canada, la debolezza del medesimo gruppo di paesi (Grecia, Portogallo, Stati Uniti, Australia). Inoltre, essa mostra come presentino una criticità media anche paesi che nelle analisi sin qui svolte non erano in posizioni di debolezza (Irlanda, Italia, Olanda). Certamente, il confronto effettuato rappresenta solo un'indicazione di criticità e da esso non bisogna far scaturire, meccanicamente, la raggiungibilità o meno del target. Tuttavia, va sottolineato come anche questa analisi, che chiama in causa la storia energetica dei diversi paesi - e non si sofferma, quindi, come gli scenari, sul solo futuro - confermi le indicazioni dell'analisi per scenari ed evidenzi criticità anche per nuovi paesi. Inoltre, il confronto tra VMAK e VMAS evidenzia come il grado di criticità sia più forte per CT che per TG (vedi figure 8, 9, 10). Ciò a ragione del fatto che, nel passato, si sono realizzati - come effetto della crescita economica, di shock energetici o di azioni di politica energetica - forti decrementi dell'intensità energetica mentre la variabile CT ha subito minori variazioni. Il grande valore che CTVMAS raggiunge per la Francia dà un'idea delle potenzialità di abbassamento di CT ottenibile attraverso espansioni del nucleare e/o delle rinnovabili.

## **Conclusioni**

Le elaborazioni fin qui illustrate (Delta; scenari estremi: 1 e 2; scenari intermedi: 3, 4 e 5; variazioni medie annue e variazioni percentuali di CT e TG; confronto VMAK e VMAS) evidenziano un alto livello di coerenza. Tutte segnalano un'elevata eterogeneità nelle posizioni dei 15 paesi rispetto all'obiettivo di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> assegnato a ciascuno di essi. Rispetto a Grecia, Stati Uniti, Canada e Australia il target appare particolarmente lontano. Al

contrario, per Danimarca e Francia la distanza è di gran lunga minore. L'Italia e i rimanenti paesi, con tipicità diverse, si collocano nella fascia intermedia. Da ciò, è bene ripeterlo, non è opportuno far discendere conclusioni né sulla raggiungibilità del target, né sull'onerosità economica dell'eventuale raggiungimento dell'obiettivo, né sull'equità dei target stabiliti. La pluralità dei fattori coinvolti nel tema "Protocollo di Kyoto" è così ampia da non poter essere esaurita da una semplice analisi dei coefficienti energetico-ambientali. La molteplicità delle vie percorribili per soddisfare il vincolo, la rilevanza di elementi extra-economici e le questioni ancora aperte - come i meccanismi di flessibilità (Emissions Trading, Joint Implementation e Clean Development Mechanism) e la stessa ratifica dell'accordo - rendono l'intera materia estremamente complessa. Inoltre, è importante richiamare l'attenzione sul fatto che tutta l'analisi è condizionata alle previsioni utilizzate come base per l'elaborazione degli scenari. La considerazione di statistiche diverse da quelle impiegate in questo studio permetterebbe di condurre un'utile analisi di sensitività sulle variabili di controllo. Ciononostante, ci sembra di poter affermare che, data la fonte qui impiegata - peraltro tra le più affidabili -, rispetto a due variabili fondamentali quali l'intensità di CO<sub>2</sub> per offerta di energia primaria e l'intensità energetica, le posizioni dei paesi industrializzati sono spesso considerevolmente distanti ed alcuni di essi potrebbero essere chiamati, nel futuro, a sforzi straordinari e mai compiuti in passato.

## **Bibliografia**

Bianchi A. e Di Giulio E. 1998, "Il sistema elettrico europeo tra liberalizzazione e Kyoto", *Energia* n. 2.

Coiante D., Lombard P.L., Molocchi A. 1998, "Alternative energetiche per un'Italia sostenibile", *Economia delle Fonti di Energia e dell'Ambiente*, n. 1.

Contaldi M. e Tosato G. 1998, "Il Protocollo di Kyoto e le sue implicazioni", *Energia* n. 1.

Dougher R. S. and Russell O. Jones 1998, "Implications of the Kyoto protocol targets for OECD countries", *Research Study # 093*, American Petroleum Institute.

European Commission 1996, "European Energy to 2020", Bruxelles.

Ferriter J. P. 1998, "Global energy outlook in the post Kyoto environment", paper presented at the 21st IAEE Conference, Quebec, Canada.

Ghanem S., Lounnas R., Ghasemzadeh and Brennend G. 1998, "Oil and energy outlook to 2020: implications of the Kyoto Protocol", *Opec Review*, Vol. XXII, N° 2.

IEA 1995, "Energy policies of IEA countries. 1994 Review", OECD, Paris.

IEA 1997 (a), *Energy and climate change*, OECD/IEA, Paris.

IEA 1997 (b) "Energy policies of IEA countries. 1997 Review", OECD, Paris.

IEA 1997 (c) "Indicators of energy use and efficiency", OECD/IEA, Paris.

IEA 1997 (d) “The link between energy & human activity” OECD/IEA, Paris.

IEA 1998 (a), “Energy efficiency initiative Vol. I: energy policy analysis”, OECD/IEA, Paris.

IEA 1998 (b), “Energy efficiency initiative Vol. II: country profiles and case studies”, OECD/IEA, Paris.

IEA 1998 (c), “World energy prospects to 2020”, paper prepared by IEA for the G8 Energy Ministers’ Meeting, Moscow, March.

Kaya Y. 1990, “Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: interpretation of proposed scenarios”, paper presented to the IPCC (Paris, France).

Molocchi A. (a cura di) “La scommessa di Kyoto. Politiche di protezione del clima e sviluppo sostenibile”, Franco Angeli.

Rose A. 1998, “Viewpoint. Global warming policy: who decides what is fair?”, Energy Policy, Volume 26, Number 1.

Schipper L. and Haas R. (Guest editors) 1997, “Energy Policy - Special Issue. Cross-country comparisons of indicators of energy use, energy efficiency and CO<sub>2</sub> emissions”, Energy Policy, Volume 25, Number 7-9.

Shin S. 1998, “Viewpoint. Developing country’s perspective on COP3 development (Kyoto Protocol)”, Energy Policy, Volume 26, Number 7.

Sutherland Ronald J. 1998, “Achieving the Kyoto Protocol: an analysis of policy options”, Issue Analysis # 103R, American Petroleum Institute.

***Pubblicato su Energia 4/99***