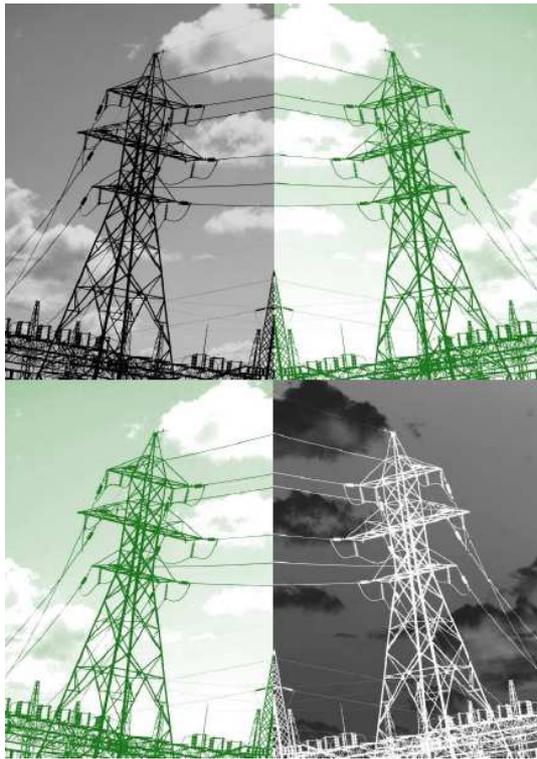


ENERGIA DA RIFIUTI IN ITALIA



2010

**Energia da rifiuti in Italia:
potenzialità di generazione e contributo alle
politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici**

Il progetto **E=mc²** “Energia da rifiuti in Italia: potenzialità di generazione e contributo alle politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici”, finanziato da Ecocerved e Unioncamere, è stato realizzato dal Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC) in collaborazione con Ecocerved.

www.cmcc.it/ricerca/progetti/e-mc2

Responsabile scientifico:

Prof. Carlo Carraro

*Università Ca' Foscari di Venezia, Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici,
Fondazione Eni Enrico Mattei*

Gruppo di ricerca:

Francesco Bosello

*Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, Fondazione Eni Enrico Mattei,
Università Statale di Milano*

Marco Botteri

Ecocerved

Lorenza Campagnolo

Fondazione Eni Enrico Mattei

Fabio Eboli

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

Manuela Medoro

Ecocerved

Ramiro Parrado

Fondazione Eni Enrico Mattei

Il Gruppo di lavoro presenta in questo volume la relazione finale sui risultati del progetto E=mc². Si ringraziano, in particolare, Ing. Stefano Ciampicacigli, Elisabetta Perrotta (FISE Assoambiente) e Donato Molino (Ecocerved) per i preziosi suggerimenti ricevuti nel corso dello studio. Si ringrazia, inoltre, Martina Marian (CMCC) per le attività di *project management*.

I diritti di proprietà intellettuale sui contenuti del presente volume appartengono congiuntamente a Ecocerved e CMCC. Chiunque utilizzi informazioni e dati riportati nella pubblicazione deve menzionare la fonte e chi intende riprodurre i contenuti – parzialmente o integralmente – è invitato a chiedere l'autorizzazione ai soggetti indicati.

Unioncamere è l'ente pubblico che ha il compito di rappresentare e curare gli interessi generali delle Camere di Commercio italiane nei confronti di tutti gli interlocutori istituzionali a livello locale, regionale, nazionale e sovranazionale, incluse le organizzazioni imprenditoriali, dei consumatori e dei lavoratori. A livello europeo, l'Unioncamere assicura la rappresentanza delle Camere di Commercio italiane in seno a *Eurochambres*, l'associazione che riunisce i sistemi camerali d'Europa. La normativa italiana, soprattutto negli anni più recenti, ha ampliato significativamente il ruolo e le funzioni attribuite agli enti camerali, valorizzandone la natura di rete istituzionale al servizio delle imprese e dei territori.

www.unioncamere.gov.it

Ecocerved è la società consortile delle Camere di Commercio per l'ambiente. La società sviluppa e gestisce sistemi informativi per trasferire dati e informazioni dal mondo dell'impresa alla Pubblica Amministrazione, con riferimento agli adempimenti previsti dalla normativa ambientale, nazionale e comunitaria. Si occupa, inoltre, della formazione e della sensibilizzazione alle tematiche ambientali nei confronti delle imprese e cura la progettazione di iniziative, cofinanziate da istituzioni nazionali e comunitarie, per l'adozione di sistemi di gestione e qualità ambientale. Ecocerved realizza anche studi di tipo scientifico/tecnologico e ricerche di marketing - in collaborazione con l'Università, Centri di Ricerca, Enti pubblici e privati - per approfondire le tematiche ambientali.

www.ecocerved.it

Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC) è il centro di ricerca nazionale sulla scienza e le politiche del clima. Il CMCC si prefigge di approfondire le conoscenze nel campo della variabilità climatica, le sue cause e le sue conseguenze, attraverso lo sviluppo di simulazioni ad alta risoluzione con modelli globali del sistema terra e con modelli regionali. Il CMCC si occupa inoltre degli aspetti socio-economici dei cambiamenti climatici e fornisce supporto al *policy making* nelle negoziazioni sul clima.

www.cmcc.it

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	7
2. SETTORE ENERGETICO IN ITALIA	9
2.1 Produzione e offerta di energia in Italia	9
2.2 Domanda di energia in Italia.....	11
2.3 Elementi di efficienza ambientale ed energetica	14
3. SETTORE ELETTRICO IN ITALIA	17
3.1 Produzione.....	17
3.2 Consumo	21
3.3 Elementi di efficienza ambientale ed energetica	23
3.4 Caratteristiche del mercato dell'energia elettrica in Italia.....	25
4. PRODUZIONE E GESTIONE DEI RIFIUTI IN ITALIA	29
4.1 Introduzione.....	29
4.2 Produzione dei rifiuti	29
4.3 Confronto a livello europeo	33
4.4 Opzioni gestionali.....	36
4.5 Rilevanza economica	37
4.6 Impatto ambientale.....	39
5. VALORIZZAZIONE ENERGETICA DEI RIFIUTI	41
5.1 Introduzione.....	41
5.2 Aspetti tecnologici	41
5.3 Tendenze evolutive	42
5.4 Potenzialità di sviluppo.....	43
5.5 Elementi di efficienza energetica.....	44
5.6 Elementi di efficienza ambientale.....	46
6. STRUMENTO DI INDAGINE ED ESERCIZIO MODELLISTICO	49
6.1 Obiettivi generali e metodologia	49
6.2 Aggiornamento del database	50
6.3 Il Modello ICES e sue modifiche	51
7. SCENARI DI RIFERIMENTO ED EFFETTI SULLA POLITICA DI MITIGAZIONE DELLA VALORIZZAZIONE ENERGETICA DEI RIFIUTI	55
7.1 Il contesto di riferimento.....	55
7.2 Sviluppo ed analisi degli scenari di riferimento.....	58
7.3 Termovalorizzazione e biogas nel contesto di una politica di mitigazione: implicazioni per il mix produttivo del settore elettrico.....	62
7.4 Termovalorizzazione e biogas nel contesto di una politica di mitigazione: implicazioni per i costi di implementazione ("valore d'opzione").....	65
8. CONCLUSIONI	67
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	69

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4.1 - Produzione di rifiuti urbani (t) (2002-2006).....	30
Tabella 4.2 - Produzione di rifiuti speciali (t) (2002-2006).....	32
Tabella 4.3 - Produzione totale di rifiuti in Europa (migliaia di t) (2006)	34
Tabella 4.4 - Produzione di rifiuti urbani pro capite in Europa (t) (2002-2007)	35
Tabella 4.5 - Rifiuti avviati a recupero e smaltimento: valori percentuali rispetto al totale gestito (2002-2006).....	37
Tabella 4.6 - Rifiuti smaltiti in discarica (t) (2002-2006)	37
Tabella 4.7 - Spesa nazionale per la gestione dei rifiuti (milioni di € a prezzi correnti) (1997-2007)	38
Tabella 4.8 - Emissioni di gas-serra nel settore rifiuti per tipologia di trattamento (migliaia di t) (2007).....	39
Tabella 4.9 - Emissioni di gas-serra nel settore rifiuti per contaminante (migliaia di t) (2007).....	40
Tabella 4.10 - Emissioni di gas-serra nel settore rifiuti (migliaia di t) (1990, 1995, 2000-2007)....	40
Tabella 5.1 - Rifiuti avviati a termovalorizzazione (t) (2002-2006)	42
Tabella 5.2 - Biogas da discarica recuperato per produrre energia (t) (2002-2006).....	43
Tabella 5.3 - Rifiuti idonei al recupero energetico (t) (2004-2006).....	44
Tabella 5.4 - Potere calorifico dei rifiuti idonei al recupero tramite termovalorizzazione (MJ/kg)..	45
Tabella 5.5 - Emissioni derivanti dalla termovalorizzazione dei rifiuti (migliaia di t) (1990, 1995, 2000-2007)	46
Tabella 6.1 - Dettaglio regionale e settoriale nel modello ICES.....	52
Tabella 7.1 - Valori d'opzione (milioni di € 2009) associati a diverse tecnologie nel contesto della politica di riduzione delle emissioni di CO ₂ del 20% rispetto al 1990 nel 2020: Italia.....	65
Tabella 7.2 - Valori d'opzione (milioni di € 2009) associati a diverse tecnologie nel contesto della politica di riduzione delle emissioni di CO ₂ del 20% rispetto al 1990 nel 2020: media EU-27	66
Tabella 7.3 - Valori d'opzione (milioni di € 2009) associati a diverse tecnologie nel contesto della politica di riduzione delle emissioni di CO ₂ del 20% rispetto al 1990 nel 2020: media Francia, Germania, Spagna, Regno Unito.....	66

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.1 - Offerta di energia primaria in Italia per provenienza	10
Figura 2.2 - Produzione di energia in Italia per fonte	11
Figura 2.3 - Domanda totale di energia in Italia per macrosettori di utilizzo.....	12
Figura 2.4 - Domanda di energia nel settore industriale in Italia	12
Figura 2.5 - Domanda di energia nel settore trasporti in Italia	13
Figura 2.6 - Domanda di energia in "altri settori" in Italia.....	13
Figura 2.7 - Intensità energetica in Italia e confronto con media europea e mondiale (intensità energetica media mondiale nel 1997 = 100)	14
Figura 2.8 - Intensità di carbonio in Italia e confronto con media europea e mondiale (intensità di carbonio media mondiale nel 1997 = 100).....	14
Figura 2.9 - Intensità energetica per settore in Italia (intensità energetica del settore famiglie al 1990 = 100).....	15
Figura 2.10 - Intensità di carbonio per settore in Italia (intensità energetica del settore famiglie al 1990 = 100).....	16
Figura 2.11 - Emissioni di anidride carbonica per settore in Italia	16
Figura 3.1 - Totale offerta di energia elettrica in Italia	17
Figura 3.2 - Importazioni italiane di energia elettrica per provenienza (GWh)	18
Figura 3.3 - Esportazioni italiane di energia elettrica per destinazione (GWh).....	18
Figura 3.4 - Composizione della produzione di energia elettrica in Italia per fonte – anno 2006..	19
Figura 3.5 - Produzione di energia elettrica in Italia per fonte	19
Figura 3.6 - Confronto mix energetico a livello europeo (anno 2007).....	20
Figura 3.7 - Produzione di energia elettrica in Italia per fonte rinnovabile.....	21
Figura 3.8 - Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili (%).....	21
Figura 3.9 - Domanda totale di energia elettrica in Italia per macrosettori di utilizzo.....	22
Figura 3.10 - Domanda di energia elettrica nel settore industriale in Italia	22
Figura 3.11 - Domanda di energia elettrica in "altri settori" in Italia	23
Figura 3.12 - Intensità energetica (per energia elettrica) in Italia e confronto con media europea e mondiale (intensità energetica media mondiale nel 1997 = 100).....	23
Figura 3.13 - Intensità di carbonio per produzione termoelettrica in Italia e confronto con media europea e mondiale (intensità di carbonio media mondiale nel 1997 = 100).....	24
Figura 3.14 - Intensità di carbonio per produzione elettrica in Italia e confronto con media europea e mondiale (intensità di carbonio media mondiale nel 1997 = 100)	24
Figura 3.15 - Emissioni di CO ₂ e gas-serra da produzione di energia elettrica in Italia.....	25
Figura 3.16 - Contributo dei principali operatori alla produzione lorda di energia elettrica in Italia (%).....	26
Figura 3.17 - Distribuzione tra utenze libere e vincolate - imprese.....	27
Figura 3.18 - Distribuzione tra utenze libere e vincolate - famiglie.....	27
Figura 3.19 - Prezzo medio per kWh per famiglia italiana (media dimensione).....	28
Figura 3.20 - Prezzo medio per kWh per impresa italiana (media dimensione)	28
Figura 4.1 - Produzione di rifiuti urbani: variazioni percentuali cumulate (2002-2006).....	31
Figura 4.2 - Produzione di rifiuti speciali: variazioni percentuali cumulate (2002-2006).....	32

Figura 4.3 - Produzione di rifiuti in Europa, EU-15 (migliaia di t) (2004 e 2006).....	34
Figura 4.4 - Produzione di rifiuti urbani pro capite in alcuni Paesi europei (t) (2002-2007)	36
Figura 6.1 - Albero produttivo dell'input energia in ICES.....	52
Figura 6.2 - Albero produttivo dell'input energia in ICES con termovalorizzazione e biogas da discarica	53
Figura 7.1 - Variazione emissioni gas-serra – totale.....	57
Figura 7.2 - Variazione emissioni gas-serra – settore energetico.....	57
Figura 7.3 - Andamento storico e proiezioni PIL italiano per gli scenari “ottimistico” e “prudenziale” (a sinistra) e confronto dei tassi di crescita stimati nel periodo 2005-2020 con altre fonti (a destra)	59
Figura 7.4 - Andamento storico e proiezioni emissioni CO2 in Italia per gli scenari “ottimistico” e “prudenziale”	59
Figura 7.5 - Andamento storico e proiezioni del contributo energetico della termovalorizzazione alla produzione di energia elettrica in Italia: valori assoluti (a sinistra), variazione % 2007-2020 (al centro) e variazione % annua (a destra).....	60
Figura 7.6 - Andamento storico e proiezioni del contributo energetico del biogas alla produzione di energia elettrica in Italia: valori assoluti (a sinistra), variazione % 2007-2020 (al centro) e variazione % annua (a destra).....	60
Figura 7.7 - Composizione energetica della domanda del settore elettrico in Italia – scenario prudenziale.....	61
Figura 7.8 - Composizione energetica della domanda del settore elettrico in EU-27 – scenario prudenziale.....	61
Figura 7.9 - Impatto sulle emissioni della politica di mitigazione nel 2020 (variazione % rispetto agli scenari di riferimento)	62
Figura 7.10 - Impatto sul PIL della politica di mitigazione nel 2020 (variazione % rispetto agli scenari di riferimento).....	63
Figura 7.11 - Impatto sulla domanda di fonti energetiche da parte del settore elettrico, in Italia nel 2020 della politica di mitigazione (variazione % rispetto agli scenari di riferimento).....	64
Figura 7.12 - Impatto sulla composizione energetica della domanda del settore elettrico in Italia della politica di mitigazione (variazione % delle share)	64

1. INTRODUZIONE

La presente ricerca si propone di analizzare le potenzialità di generazione energetica dei rifiuti in Italia sotto il duplice aspetto del contributo alla produzione di energia e al conseguimento di specifici *target* di abbattimento delle emissioni, nel contesto dell'attuazione del sistema di scambio dei permessi di emissione attualmente vigente nell'Unione Europea (Direttiva 2003/87/CE). L'orizzonte temporale dell'analisi è il 2020, quando dovrebbe essere conseguito l'obiettivo europeo di riduzione delle emissioni di anidride carbonica (CO₂) del 20% rispetto al 1990.

Lo studio parte dalle indicazioni della Commissione Europea che individua, nell'ambito della gerarchia integrata della gestione dei rifiuti, il recupero di energia come una delle opzioni praticabili, seppure in chiaro subordine rispetto alla prevenzione e riduzione della produzione e al recupero di materia. Il recupero energetico è quindi sicuramente preferenziale al mero smaltimento in discarica che in Italia molto spesso non è tuttora accompagnato dal recupero di biogas.

Il recupero di energia dai rifiuti può assumere ulteriore importanza se inquadrato nell'ambito generale del settore elettrico italiano. Questo deve far fronte ad una domanda crescente in un contesto di elevati prezzi dei combustibili fossili e di politiche europee di contenimento dei cambiamenti climatici. Il recupero energetico da incenerimento dei rifiuti, in particolare, non è evidentemente pulito: dipende dalla composizione merceologica di ciò che viene avviato al processo di combustione, ma, in generale, l'impatto ambientale è simile a quello del meno inquinante tra i combustibili fossili (gas naturale) e gli impianti dedicati sono dotati di sistemi di controllo e di abbattimento degli inquinanti. Dal punto di vista meramente economico, i rifiuti rappresentano una risorsa (purtroppo) abbondante che non dipende da forniture estere.

Il lavoro si sviluppa in due parti. La prima (cap. 2-5) presenta la base dati raccolta per l'analisi seguente: offre un quadro generale sulla situazione tecnologica ed economica del settore energetico (cap. 2), elettrico (cap. 3) e dei rifiuti (cap. 4 e 5) in Italia, evidenziando modalità di produzione, domanda per settore, tecnologie produttive e risvolti ambientali.

La seconda parte (cap. 6 e 7) svolge l'analisi prospettica vera e propria applicando un modello di equilibrio economico generale, opportunamente modificato, alla valorizzazione energetica dei rifiuti. Il capitolo 8 conclude.

2. SETTORE ENERGETICO IN ITALIA

2.1 Produzione e offerta di energia in Italia

Il fabbisogno energetico italiano, quasi 185.000 ktep¹ nel 2006, terzo per grandezza in ambito europeo dopo quello di Germania e Francia², è prevalentemente soddisfatto con le importazioni. Questo è dovuto:

- (a) alla limitatezza delle risorse energetiche domestiche. Le riserve stimate (0,6 miliardi di barili di greggio e 85 milioni di metri cubi di gas naturale³, nel 2007) e la produzione interna (circa 100 mila barili al giorno) sono largamente insufficienti a soddisfare la domanda. Nel 2006 la produzione domestica energetica totale (di circa 27.500 ktep) ha coperto meno del 15% del consumo nazionale.
- (b) alla scelta di non produrre energia nucleare, a seguito del referendum del 1987. L'Italia peraltro importa energia elettrica prodotta con il nucleare dalla Francia (nel 2006 per il 3,35% della domanda totale di energia elettrica) e recentemente sembra aver mutato orientamento riguardo questa opzione.
- (c) al difficoltoso sviluppo del contributo delle fonti rinnovabili alla produzione di energia elettrica. Sebbene superiore alla media dei 27 Paesi dell'Unione Europea (EU-27) (21% dell'Italia contro il 17% dell'EU-27 nel 2008⁴), questo rimane appannaggio prevalente dei settori idroelettrico e geotermico, i quali presentano entrambi limiti di sviluppo sia tecnologico (le tecnologie ormai sono mature) che morfologico (quasi tutti i siti idonei sono già utilizzati).

L'Italia presenta anche un basso grado di differenziazione tra le fonti energetiche: il 52% dell'offerta primaria di energia proviene, infatti, dal petrolio e il 41% dal gas naturale; solo il rimanente 7% è prodotto da carbone e rinnovabili in senso lato. Conseguentemente, il petrolio rappresenta circa la metà delle importazioni energetiche italiane (Federazione Russa, Libia e Medio Oriente sono nell'ordine i maggiori fornitori), seguito dal gas naturale (in questo caso Federazione Russa, Libia, Paesi Bassi e Norvegia sono i maggiori fornitori).

¹ ktep = migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio.

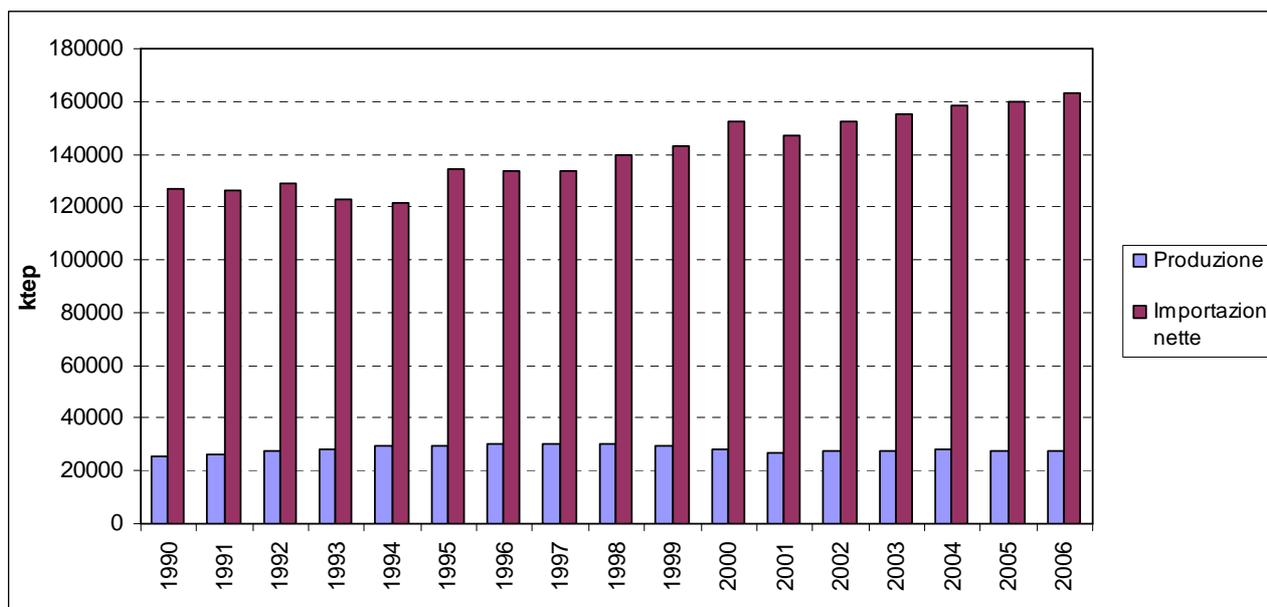
² AIE - Agenzia Internazionale dell'Energia (2009).

³ www.terna.it => Dati statistici: confronti internazionali.

⁴ Enerdata, Yearbook 2009 - 2008 World energy review.

In risposta ad una domanda crescente e nel tentativo di ridurre la dipendenza dal petrolio, le importazioni di gas naturale sono aumentate del 150% nel periodo 1990-2006. L'indice di dipendenza energetica per l'Italia rimane tra i più alti d'Europa: nel 2006 le importazioni nette di petrolio e gas naturale hanno superato le 86.000 e 63.000 ktep rispettivamente, 15 e 7 volte la relativa produzione domestica, con una crescita dell'esposizione nei confronti dei mercati esteri dall'83,4% del 1990 all'85,6% del 2006 (si veda Figura 2.1).

Figura 2.1 - Offerta di energia primaria in Italia per provenienza



Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE (2009a)

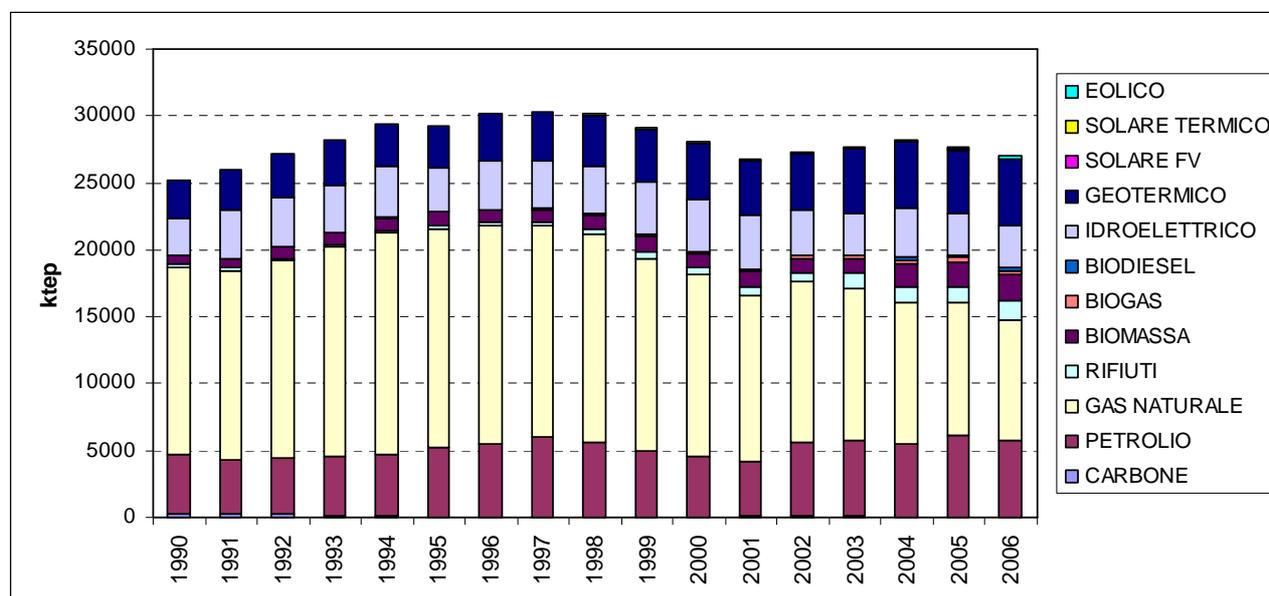
Pur nell'ambito di un limitato contributo all'offerta di energia complessiva, la produzione domestica di energia evidenzia un *trend* crescente nel periodo 1990-1997, ed altalenante negli anni successivi. In termini di *mix* produttivo, si osserva soprattutto una riduzione della quota di produzione energetica da gas naturale, che, pur rimanendo sempre la fonte principale (32,8% nel 2006), è calata rispetto a quella da petrolio, passata dal 17,4% del 1990 al 21% del 2006.

È interessante notare il ruolo delle fonti non fossili: la principale è la geotermica (18,1% della produzione totale nel 2006), seguita dall'idroelettrica (11,6%) e dalla biomassa (7%). In particolare la produzione energetica da rifiuti (sia urbani sia speciali) è cresciuta da 175,45 ktep (0,7%) nel 1990 a 1.406,44 ktep (5,1%) nel 2006. Nel complesso, la produzione energetica da rinnovabili è destinata a crescere, dal momento che l'Italia si è impegnata a raggiungere l'obiettivo del 17% (rispetto al 5,2% nel 2005) di energia da risorse rinnovabili sul consumo finale lordo di energia entro il 2020⁵.

⁵ La Direttiva 3736/08 del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili che modifica ed in seguito abroga le direttive 2001/77/EC e 2003/30/EC, considera come fonti rinnovabili "l'energia non fossile rinnovabile ed in particolare l'energia eolica, solare, aereotermica, geotermica, idrotermica, oceanica, idroelettrica, da biomassa, gas di discarica, gas da trattamenti di rifiuti e biogas".

L'offerta totale di energia (domestica e importata) è cresciuta da 148.079 ktep nel 1990 a 184.158 ktep nel 2006⁶, con un aumento del 24%.

Figura 2.2 - Produzione di energia in Italia per fonte



Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE (2009a)

2.2 Domanda di energia in Italia

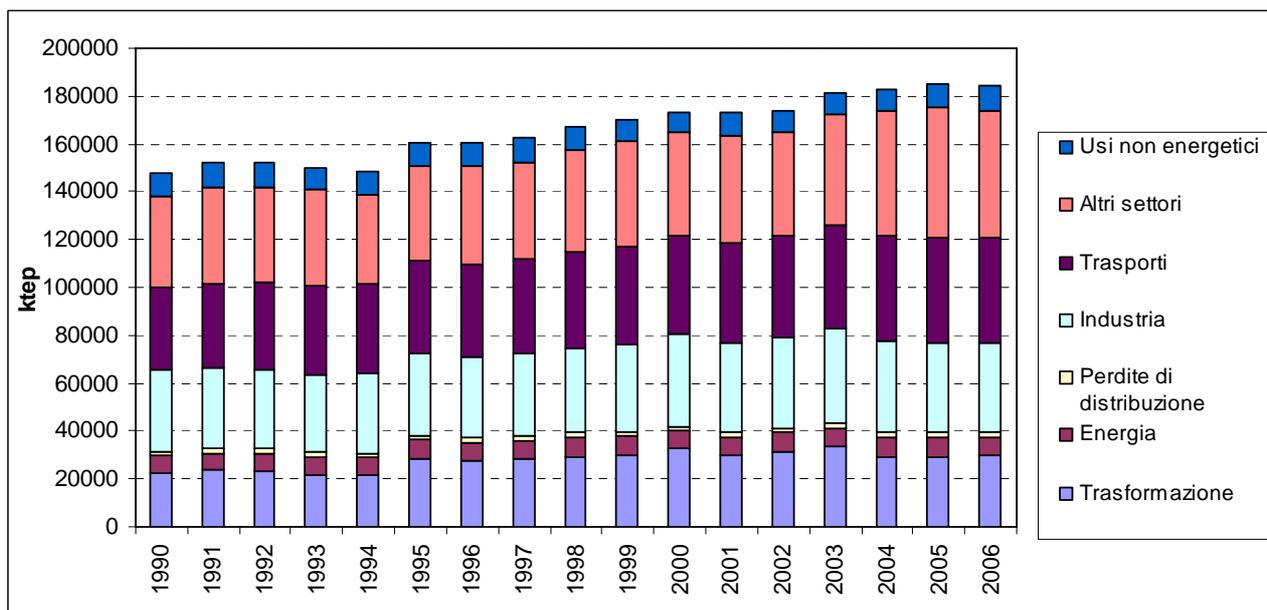
La domanda di energia in Italia è costantemente aumentata passando da 148.079 ktep del 1990 a 184.158 ktep del 2006 (Figura 2.3).

Questo aumento ha investito tutti i macrosettori, ma soprattutto i trasporti – passati da un consumo di 34.224 ktep nel 1990 a 44.238 ktep nel 2006, principalmente a causa dello sviluppo del trasporto su strada (che da solo costituisce oltre l'88% del consumo dell'intero settore) – e l'aggregato "altri settori", tra cui spiccano il residenziale ed il commerciale, che ha evidenziato un incremento nei consumi energetici del 41,5% nello stesso periodo (Figure 2.4 e 2.5).

La quota di consumo per macrosettore sul totale è rimasta grosso modo stabile: si evidenzia una riduzione contenuta di quella dell'industria (dal 23% nel 1990 al 20% nel 2006) a favore di un incremento di trasporti (dal 23% nel 1990 al 24% nel 2006) e "altri settori" (dal 25,5% nel 1990 al 29% nel 2006).

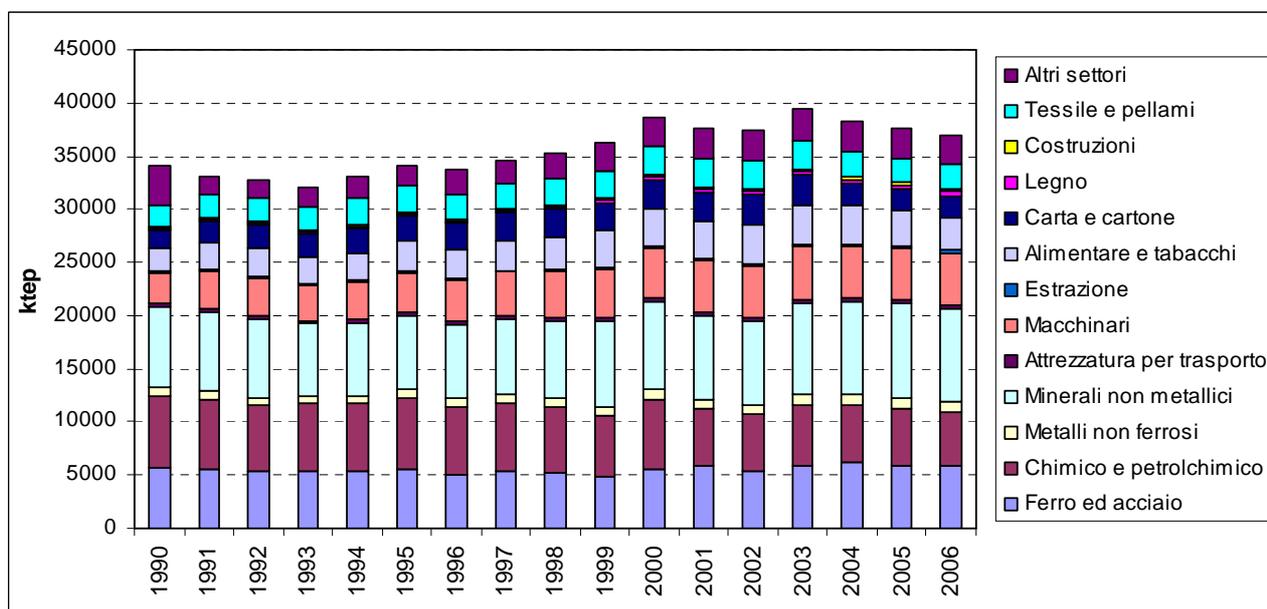
⁶ In questo dato sono considerati anche: depositi marini internazionali; variazioni di stock; trasferimenti; differenze statistiche.

Figura 2.3 - Domanda totale di energia in Italia per macrosettori di utilizzo



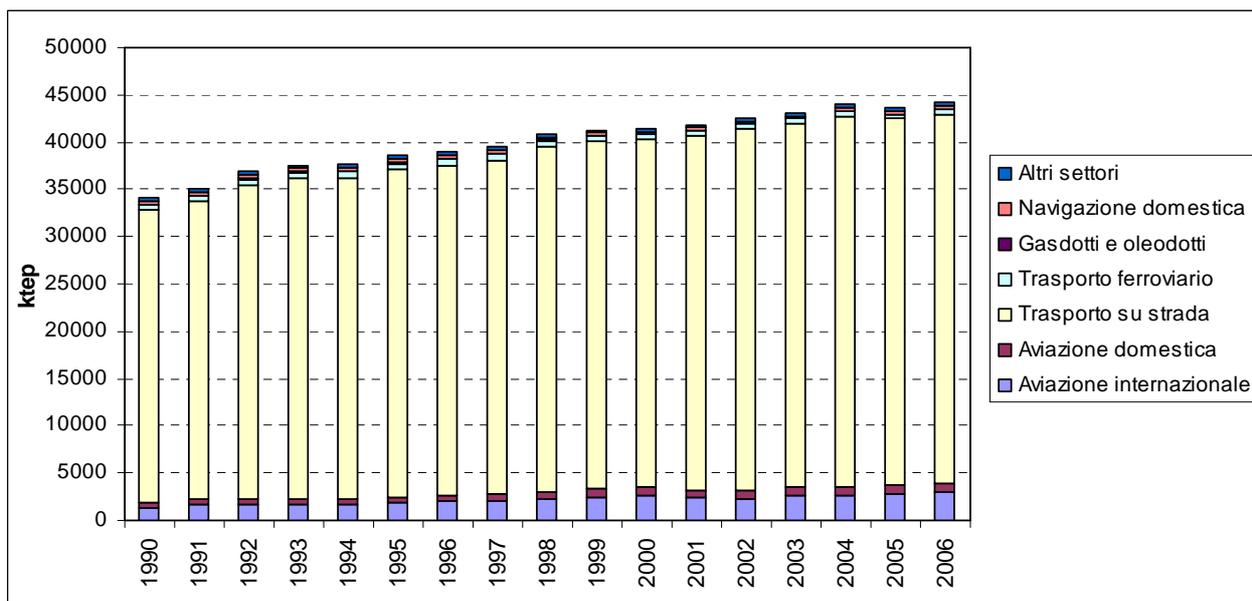
Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE (2009a)

Figura 2.4 - Domanda di energia nel settore industriale in Italia



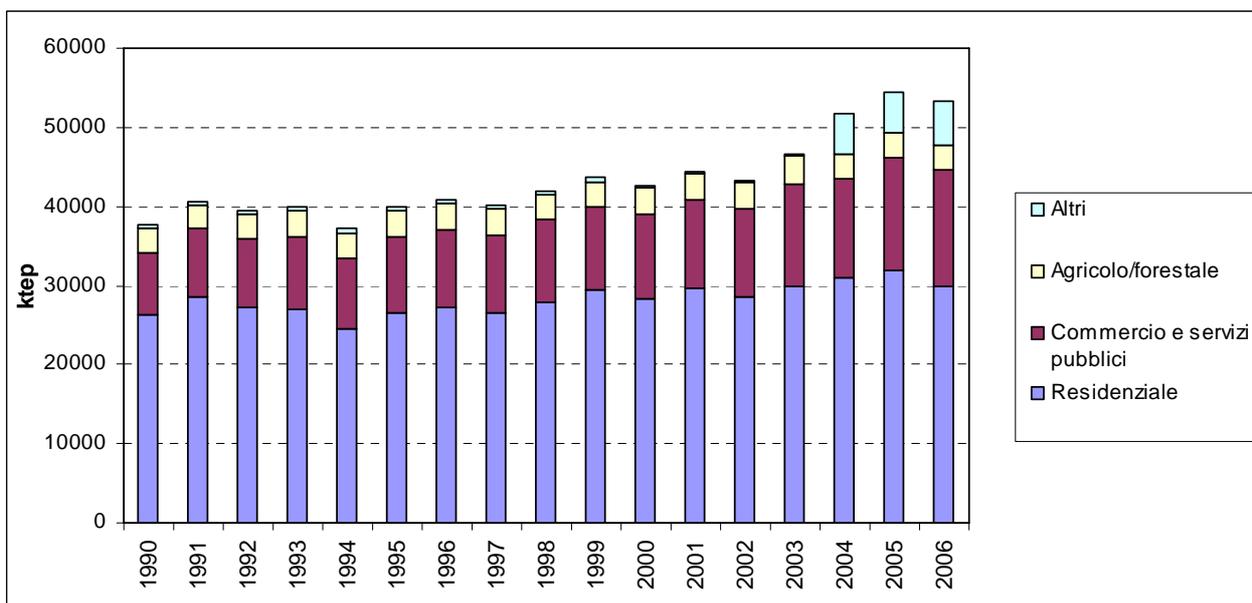
Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE (2009a)

Figura 2.5 - Domanda di energia nel settore trasporti in Italia



Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE (2009a)

Figura 2.6 - Domanda di energia in "altri settori" in Italia

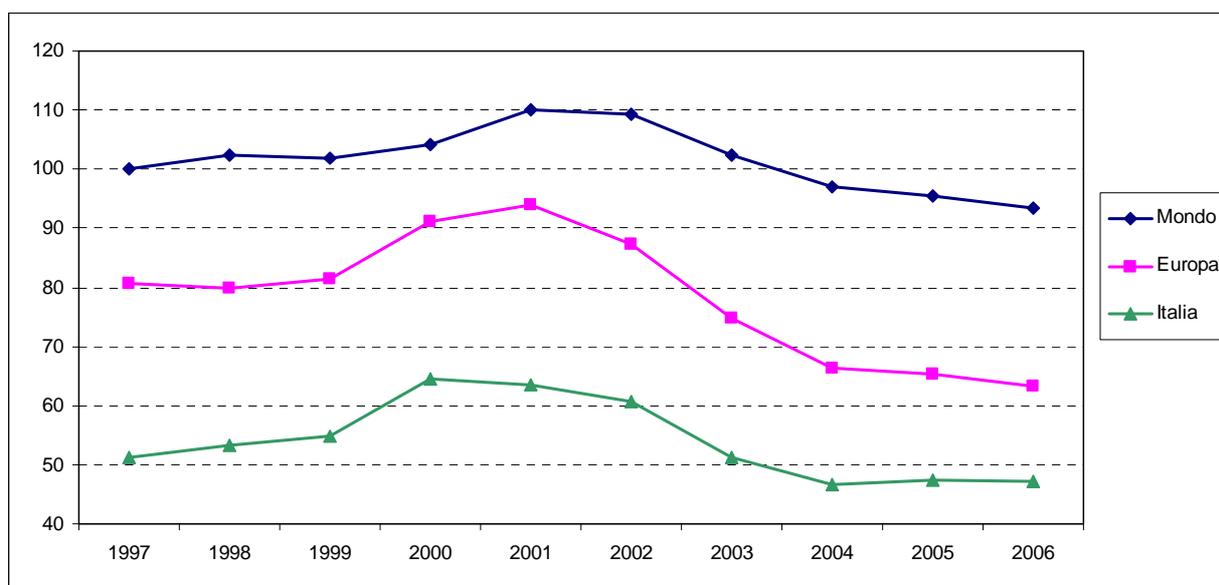


Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE (2009a)

2.3 Elementi di efficienza ambientale ed energetica

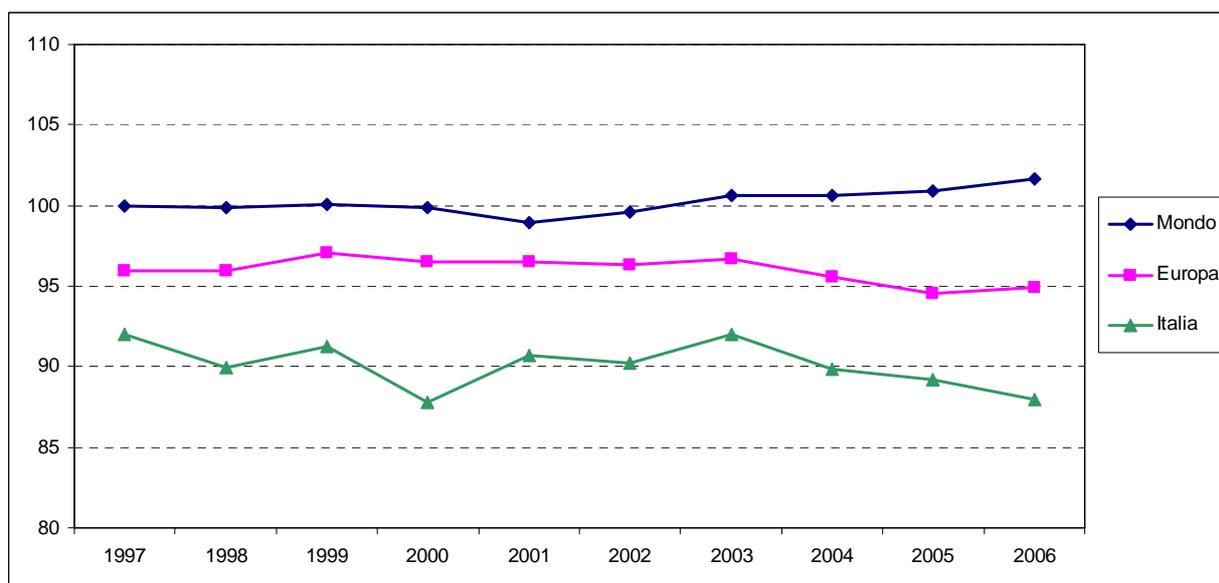
L'intensità energetica⁷ del PIL italiano così come l'intensità di carbonio⁸ della sua produzione sono relativamente più basse della media europea e mondiale (si vedano le Figure 2.7 e 2.8). Questo è il risultato di prezzi energetici mediamente più alti rispetto alla media europea, che hanno spinto ad un costante aumento dell'efficienza energetica.

Figura 2.7 - Intensità energetica in Italia e confronto con media europea e mondiale
(intensità energetica media mondiale nel 1997 = 100)



Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE e Worldbank

Figura 2.8 - Intensità di carbonio in Italia e confronto con media europea e mondiale
(intensità di carbonio media mondiale nel 1997 = 100)



Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE e Worldbank

⁷ Rapporto tra quantità totale di energia consumata in tep e Prodotto Interno Lordo (PIL) in un dato anno.

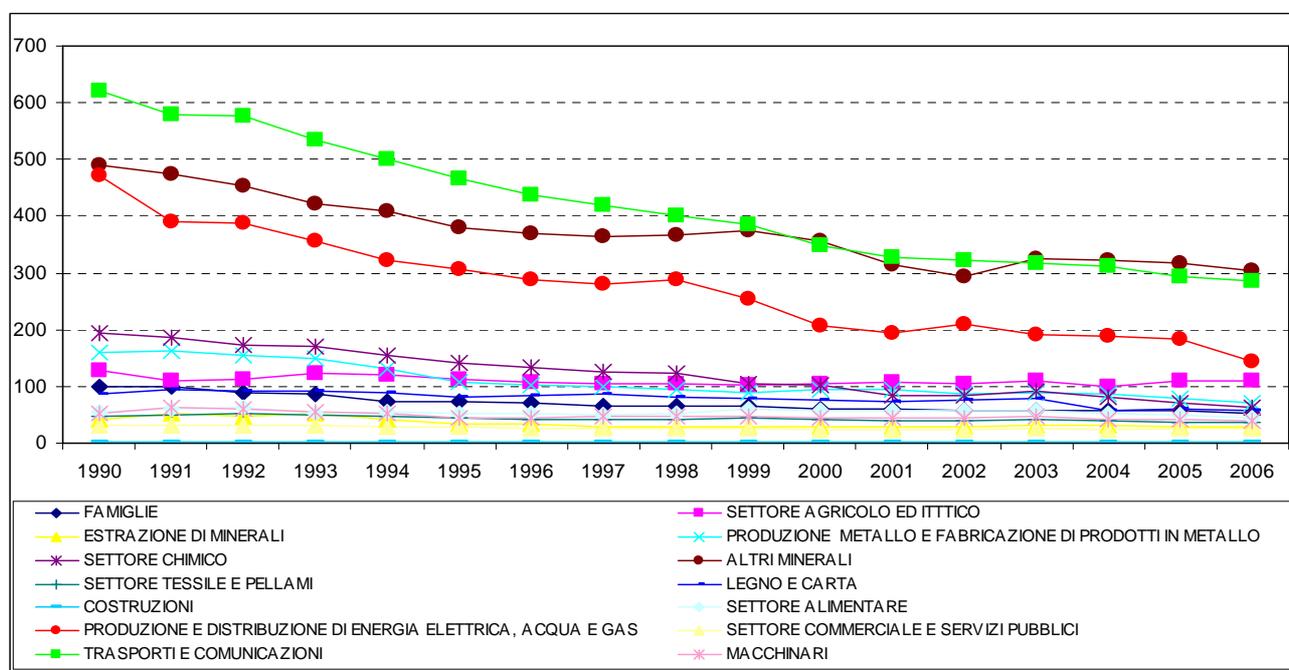
⁸ Rapporto tra emissioni di anidride carbonica o di gas-serra totali e consumo di energia in un dato anno.

I settori con la più alta intensità energetica sono i “trasporti e comunicazioni”, “altri minerali” e “produzione e distribuzione di energia elettrica, acqua e gas”. Tutti e tre i settori hanno comunque evidenziato consistenti miglioramenti dell'intensità energetica nell'orizzonte temporale considerato (si veda Figura 2.9).

I settori a più alta intensità di carbonio sono invece i settori “costruzioni” e “produzione e distribuzione di energia elettrica, acqua e gas”. Entrambi evidenziano inoltre segnali di peggioramento, in particolare dal 1997 al 2002 (si veda Figura 2.10)⁹.

Per completare il quadro ambientale, la Figura 2.11 riporta le emissioni per settore in valori assoluti. Il principale emettitore è la “produzione e distribuzione di energia elettrica, acqua e gas” (quasi il 30% del totale nel 2006), seguito dal residenziale (circa il 22%), “altri minerali” (10,65%) e “trasporti” (9%).

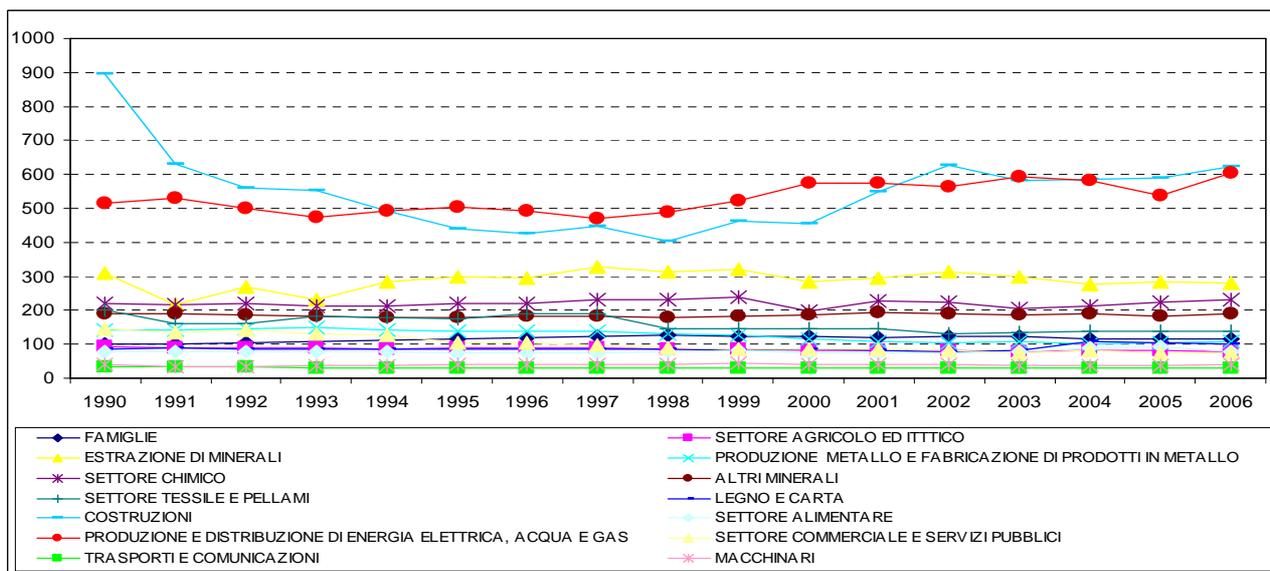
Figura 2.9 - Intensità energetica per settore in Italia
(intensità energetica del settore famiglie al 1990 = 100)



Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE e NAMEA

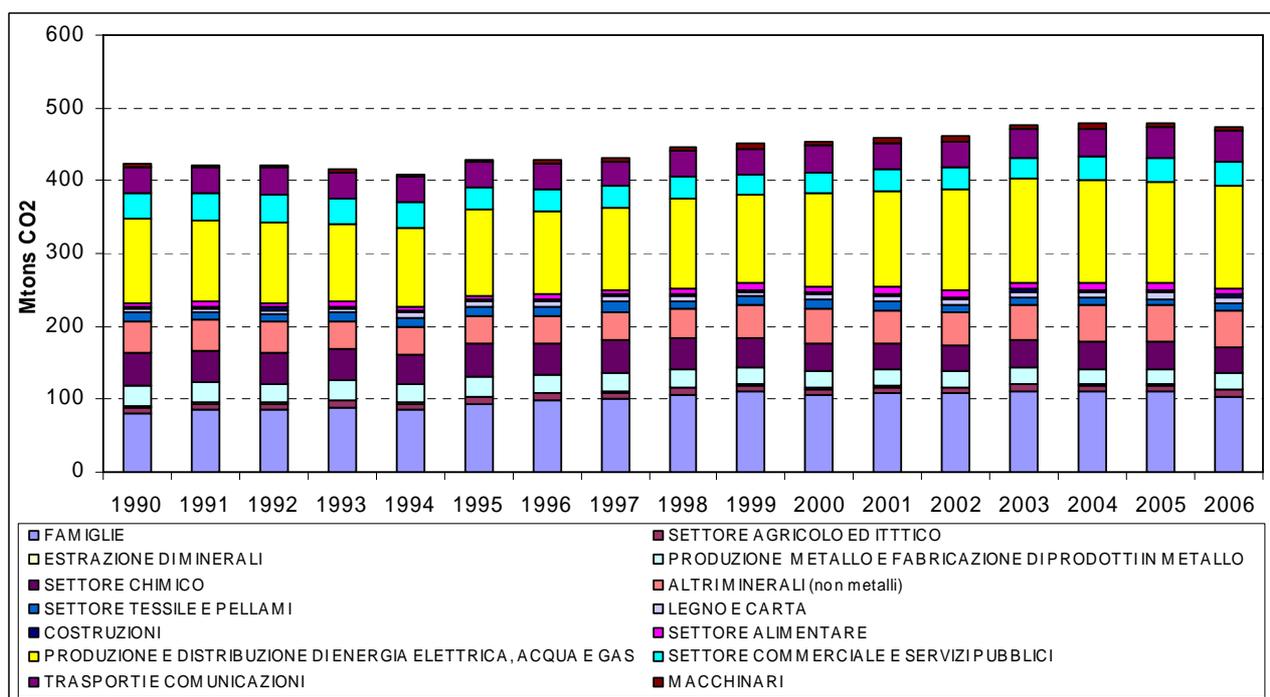
⁹ Le Figure 2.9 e 2.10 riportano l'intensità energetica e l'intensità di carbonio in Italia per i diversi settori produttivi e per il settore residenziale. Tali indicatori sono stati costruiti utilizzando i dati prodotti dall'Istat nelle matrici NAMEA (*National Accounts Matrix including Environmental Economics*) che integrano i conti economici nazionali con i dati ambientali relativi a produzione di emissioni atmosferiche di gas-serra e metalli pesanti e prelievi di risorse naturali e i dati dell'Agenzia Internazionale dell'Energia per quanto concerne i volumi di energia. La classificazione settoriale è fatta sulla base delle macro-categorie presenti nei conti NAMEA. La serie storica va dal 1990 al 2006.

Figura 2.10 - Intensità di carbonio per settore in Italia
(intensità energetica del settore famiglie al 1990 = 100)



Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE e NAMEA

Figura 2.11 - Emissioni di anidride carbonica per settore in Italia



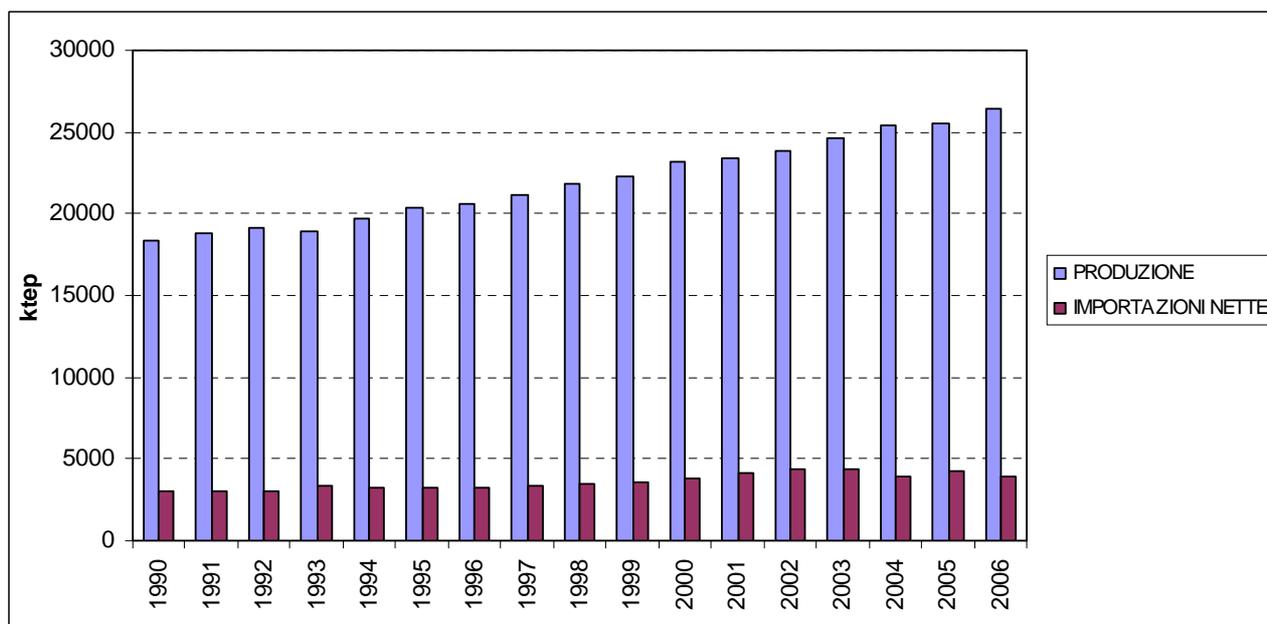
Fonte: elaborazione degli autori su dati NAMEA (<http://www.istat.it/ambiente/contexto/namea.html>)

3. SETTORE ELETTRICO IN ITALIA

3.1 Produzione

Diversamente dal caso della produzione di energia da fonti primarie, nella produzione di energia elettrica la componente domestica riveste un ruolo preponderante rispetto alle importazioni. Nel 2006 queste rappresentano solo il 12,7% dell'offerta totale, dato in calo rispetto al passato (nel 2002 le importazioni erano oltre il 15%, Figura 3.1). Ciò nonostante, la produzione domestica di elettricità è largamente basata su combustibili fossili di cui l'Italia è scarsamente dotata. Pertanto la dipendenza energetica dall'estero rimane anche per il settore elettrico sebbene in forma indiretta.

Figura 3.1 - Totale offerta di energia elettrica in Italia

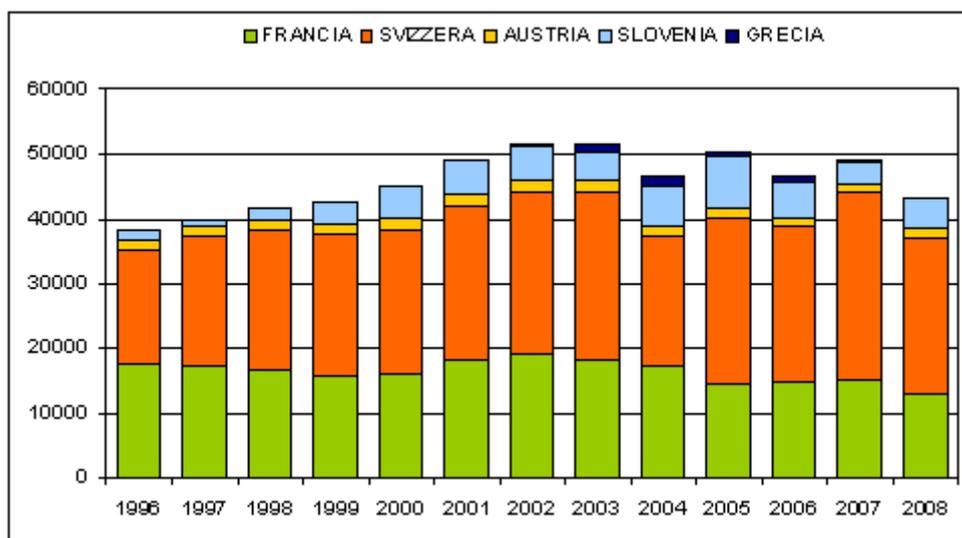


Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE (2009a)

La maggior parte dell'energia elettrica importata proviene dalla Svizzera e dalla Francia (Figura 3.2); l'Italia esporta principalmente in Francia e Grecia (Figura 3.3).

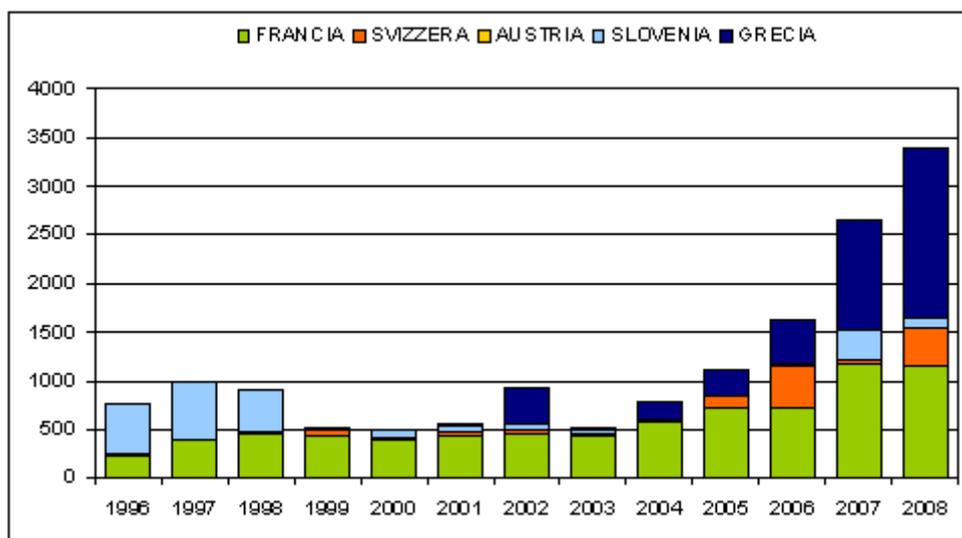
La struttura del sistema di generazione elettrica in Italia è estremamente articolata. Il gas naturale vi contribuisce per oltre la metà (54%), seguito a grande distanza da petrolio e prodotti petroliferi (15%), carbone (14%) e idroelettrico (12%). Il rimanente 5% si ripartisce tra "altre rinnovabili", in particolare geotermico (2%), eolico (1%), biomassa (1%) e rifiuti urbani o municipali (1%).

Figura 3.2 - Importazioni italiane di energia elettrica per provenienza (GWh)



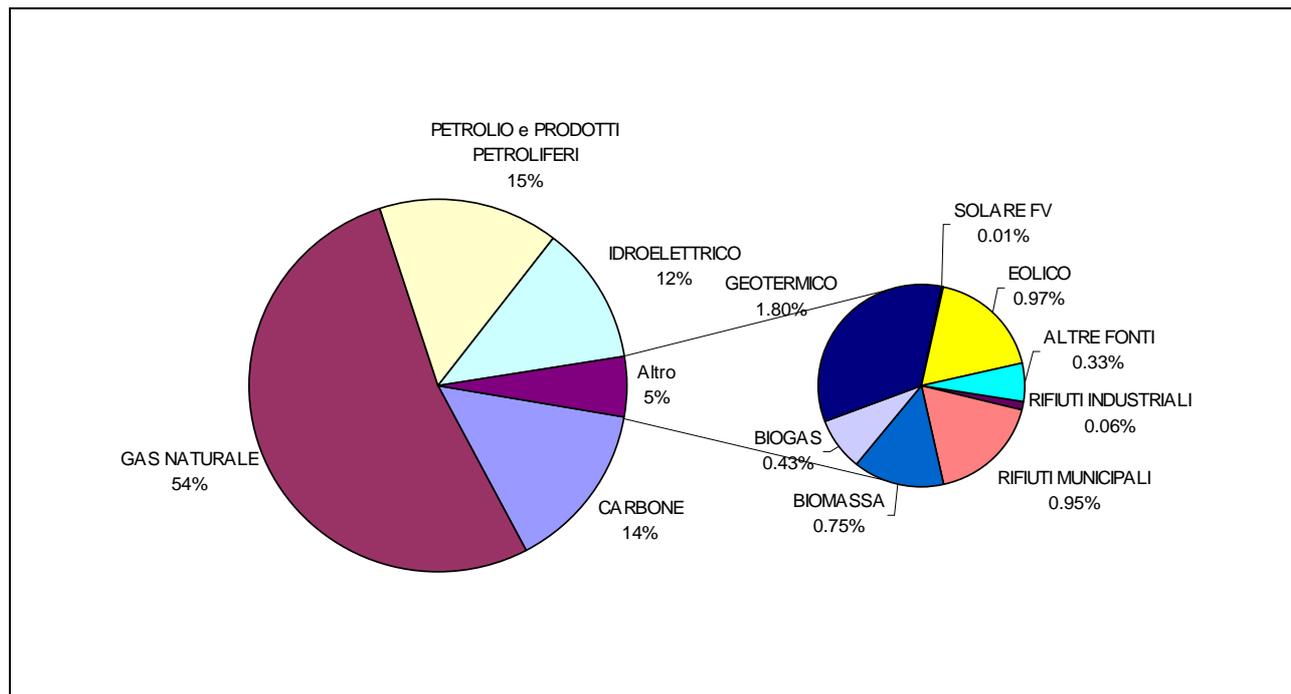
Fonte: <http://www.autorita.energia.it/it/dati/eem49.htm>

Figura 3.3 - Esportazioni italiane di energia elettrica per destinazione (GWh)



Fonte: <http://www.autorita.energia.it/it/dati/eem50.htm>

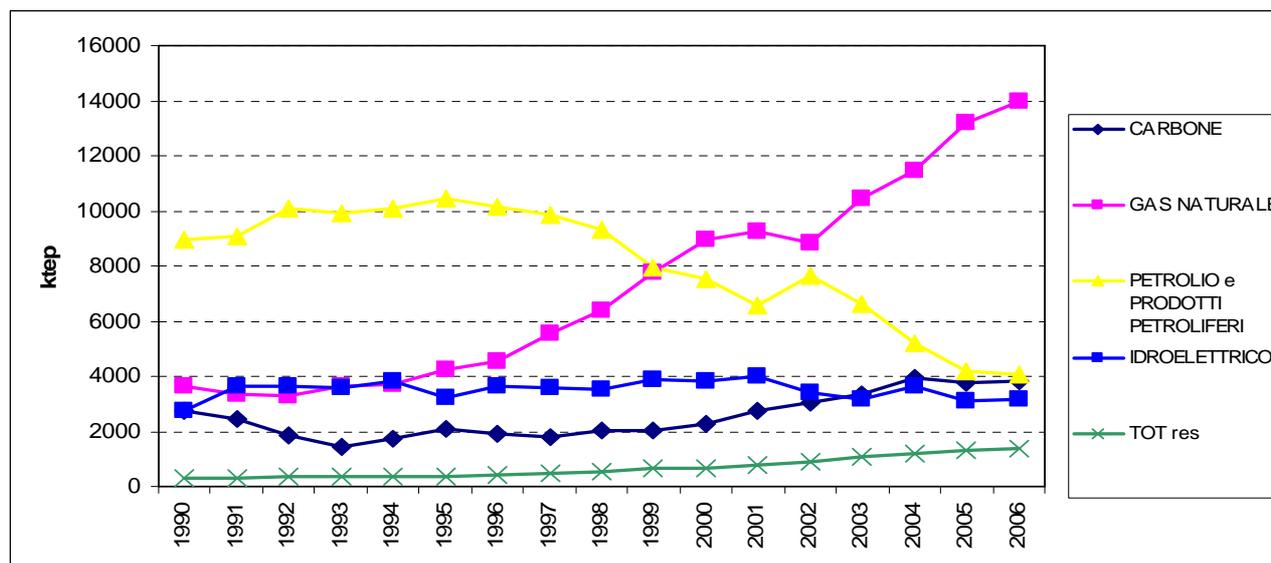
Figura 3.4 - Composizione della produzione di energia elettrica in Italia per fonte – anno 2006



Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE (2009a)

Nel periodo considerato il gas naturale ha gradualmente rimpiazzato l'utilizzo del petrolio nella produzione di energia elettrica (Figura 3.5). Dal 2000 è la fonte principale per la produzione di elettricità e nel 2006 produceva energia elettrica in misura oltre 3 volte superiore rispetto al petrolio ed ai prodotti petroliferi. Un *trend* analogo, seppur su scala molto più contenuta, può essere identificato per le risorse rinnovabili. L'idroelettrico rimane pressoché stabile nel periodo analizzato e nel 2006 costituisce ancora il 70% (nel 1990 era il 90%) della generazione elettrica da rinnovabili, tuttavia il contributo alla produzione di elettricità delle "altre rinnovabili" è aumentato da 286 ktep nel 1990 a 1.402 ktep per coprire nel 2006 il 5% della produzione totale.

Figura 3.5 - Produzione di energia elettrica in Italia per fonte

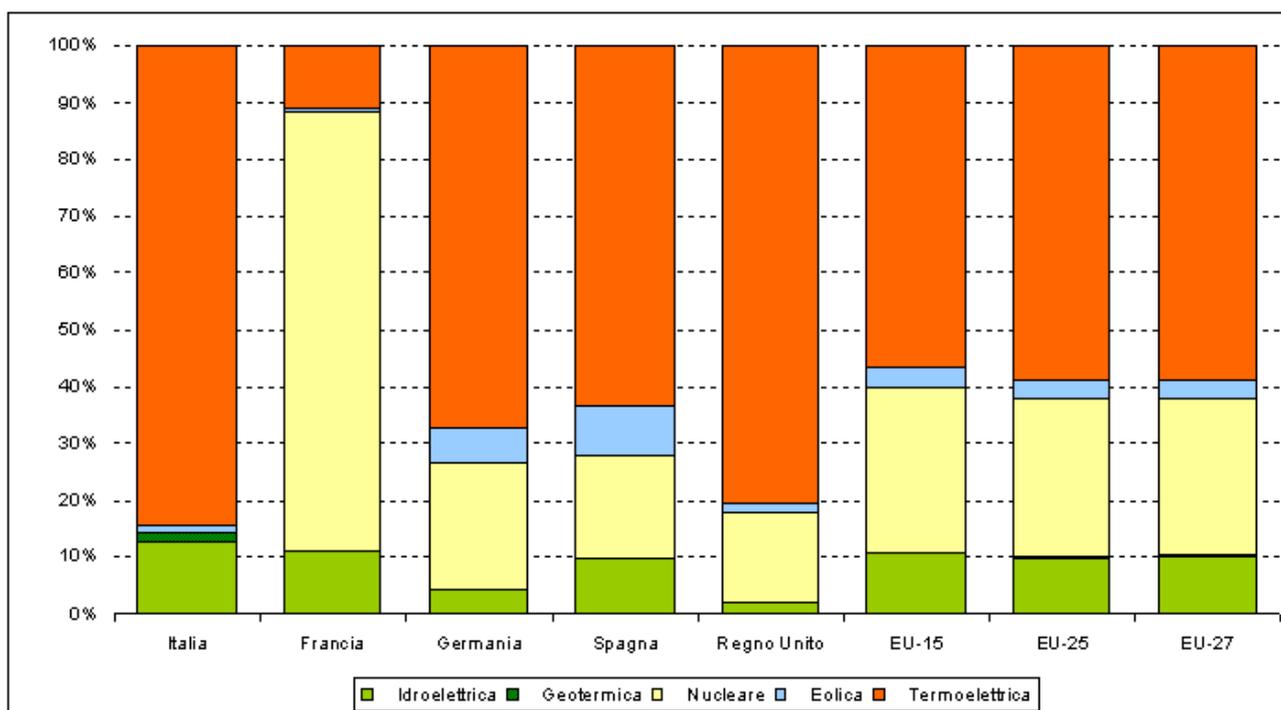


Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE (2009a)

Nel complesso, la produzione da fonti energetiche rinnovabili è aumentata di oltre il 50% nel periodo 1990-2006 e, includendo l'idroelettrico, contribuisce per il 17% alla produzione di elettricità nel 2006 collocando l'Italia leggermente al di sopra della media europea e mondiale (la Figura 3.8 evidenzia come nel 2008 tale quota superi il 20%). Tuttavia, rispetto agli altri Paesi europei maggiormente sviluppati, la produzione di energia elettrica è ancora fortemente sbilanciata in favore della produzione termoelettrica basata su combustibili fossili (Figura 3.6).

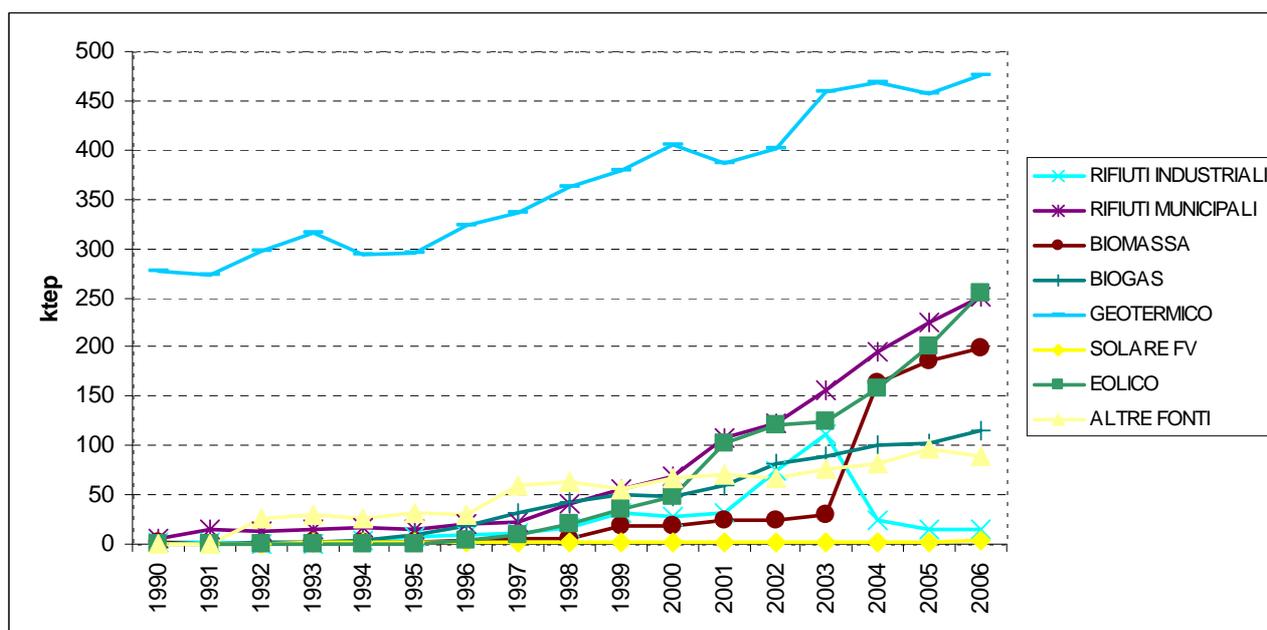
Nell'ambito delle rinnovabili, escludendo l'idroelettrico, il contributo maggiore alla produzione di elettricità deriva dal geotermico (34% sul totale nel 2006 a fronte del 97% nel 1990), tuttavia interessanti *trend* di crescita possono essere individuati, soprattutto dalla metà degli anni '90, per l'eolico, i rifiuti municipali e la biomassa (che nel 2006 rappresentano rispettivamente il 18%, 18% e 14% della produzione elettrica da rinnovabili). La crescita della produzione di energia elettrica da biogas è un po' più lenta (8% della produzione di energia elettrica da rinnovabili nel 2006) mentre quella da rifiuti industriali dopo una rapida crescita dal 2001 al 2003 appare essersi ridotta drasticamente. L'energia prodotta da impianti solari fotovoltaici rimane una percentuale molto bassa del totale (0,21%).

Figura 3.6 - Confronto mix energetico a livello europeo (anno 2007)



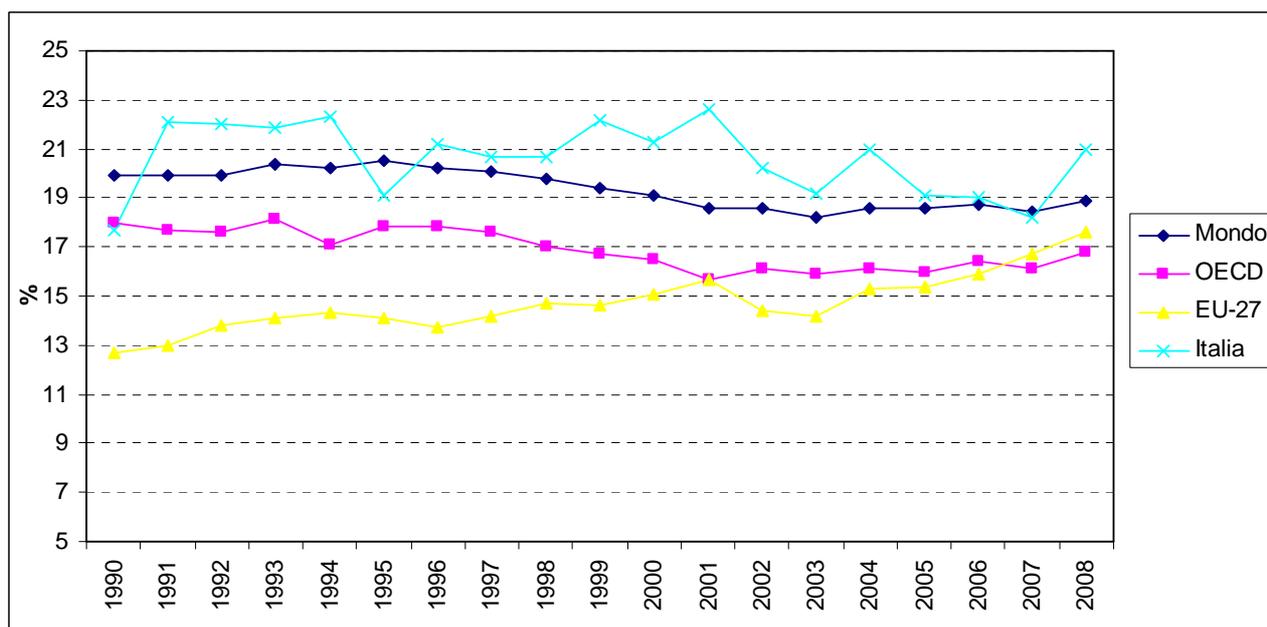
Fonte: <http://www.autorita.energia.it/dati/int04.htm>

Figura 3.7 - Produzione di energia elettrica in Italia per fonte rinnovabile



Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE (2009a)

Figura 3.8 - Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili (%)



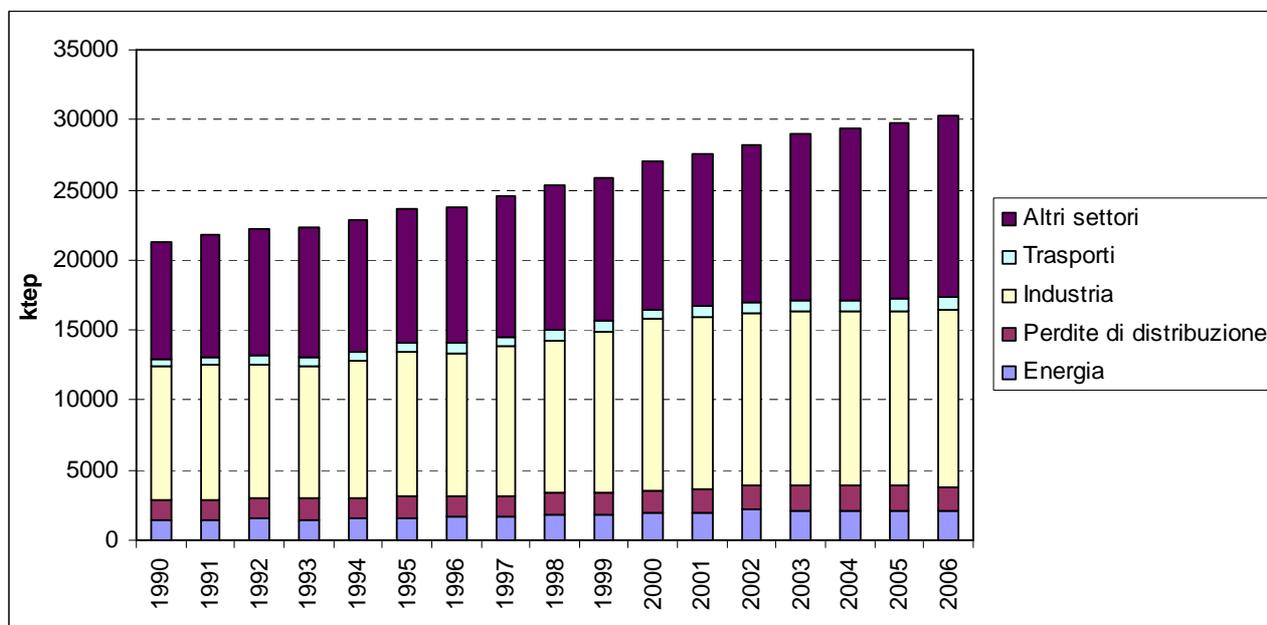
Fonte: elaborazione degli autori su dati ENERDATA (Yearbook 2009 – 2008 World energy review)

3.2 Consumo

Il consumo di energia elettrica in Italia è aumentato del 42,3% dal 1990 al 2006 evidenziando un *trend* di crescita uniforme nel periodo e superando le 30.000 ktep, circa 1/5 del consumo energetico nazionale. È assorbito quasi esclusivamente dai comparti industriale (41,8% nel 2006), commerciale (22,1% nel 2006) e residenziale (19,2% nel 2006) (in Figura 3.9 il settore commerciale e residenziale sono inclusi negli “altri settori”).

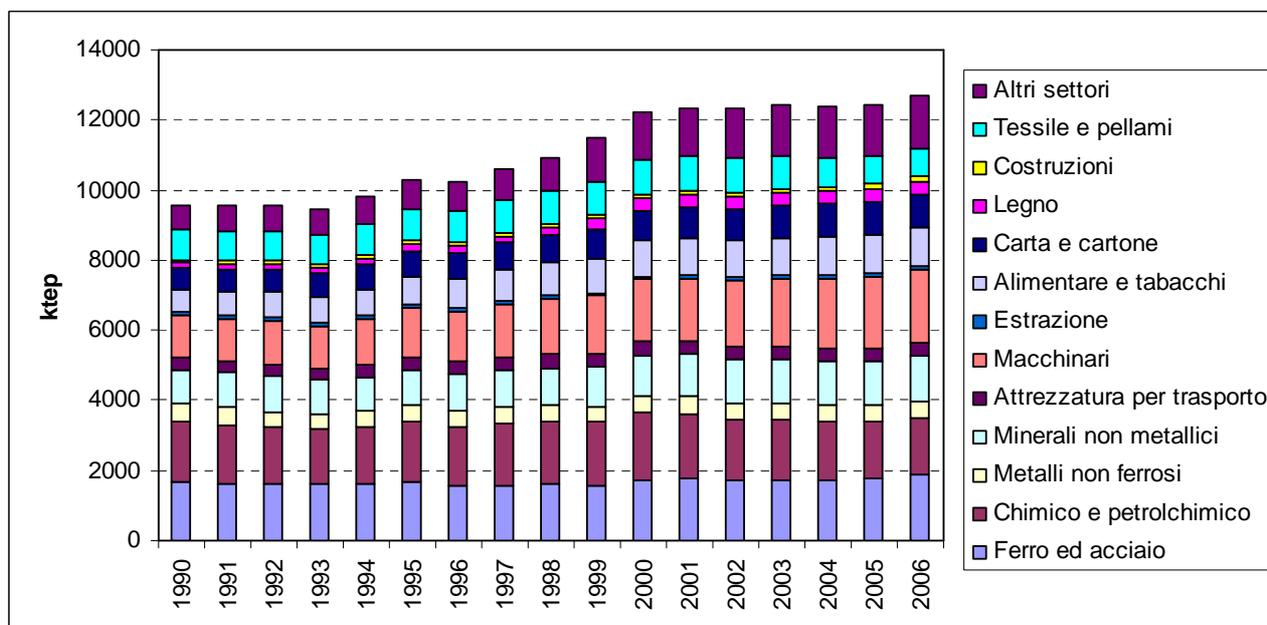
All'interno del settore industriale spiccano i comparti "ferro ed acciaio", "chimico e petrolchimico" e "macchinari" come i maggiori determinanti della domanda di elettricità (14,7%, 12,8%, 16,4% rispettivamente), mentre all'interno di "altri settori" tale ruolo è rivestito soprattutto dai comparti residenziale e commerciale che rappresentano da soli oltre il 95% del totale macro-settoriale (l'ultimo dei due ha praticamente raddoppiato il consumo di energia dal 1990 al 2006).

Figura 3.9 - Domanda totale di energia elettrica in Italia per macrosettori di utilizzo



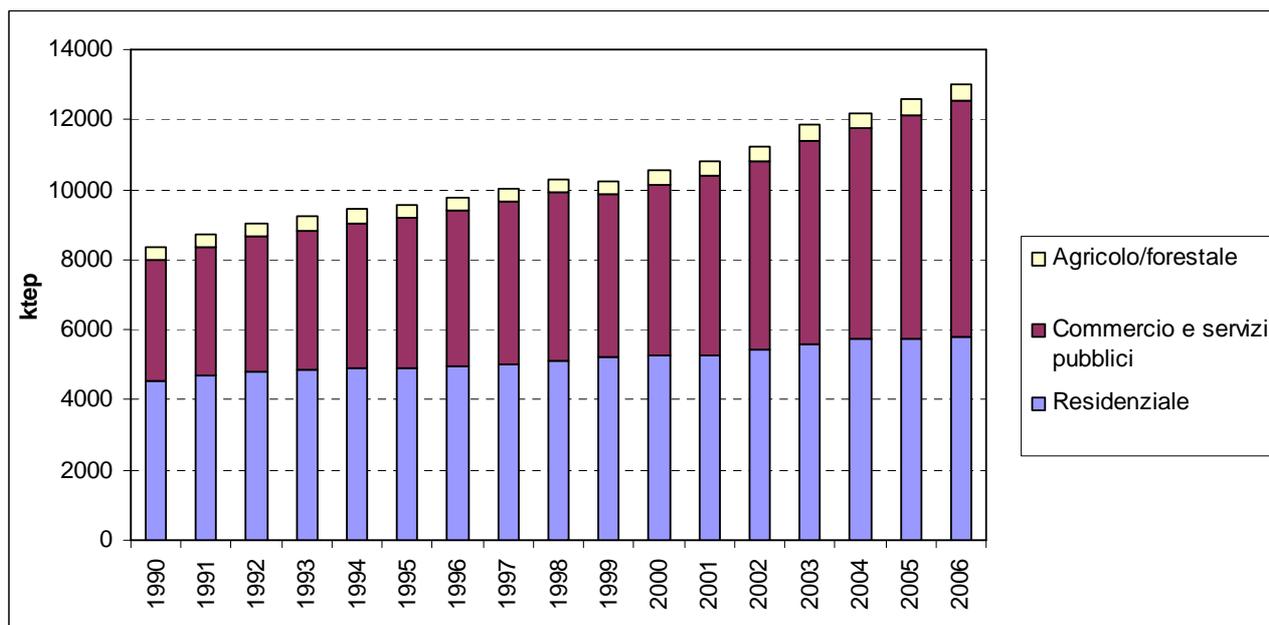
Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE (2009a)

Figura 3.10 - Domanda di energia elettrica nel settore industriale in Italia



Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE (2009a)

Figura 3.11 - Domanda di energia elettrica in "altri settori" in Italia

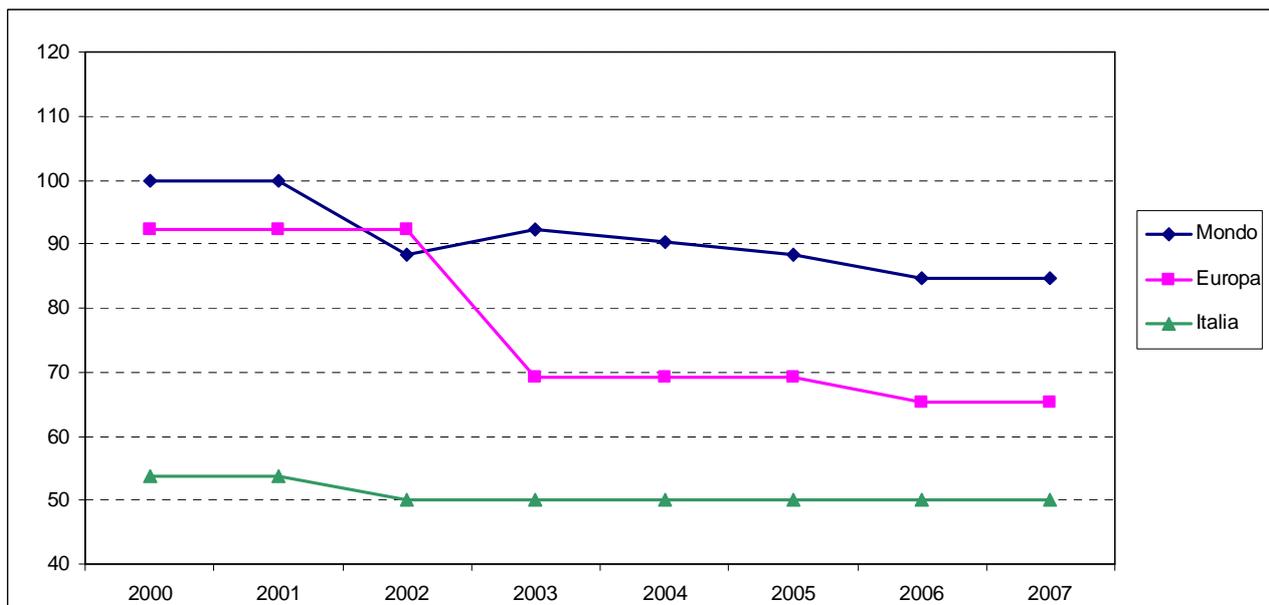


Fonte: elaborazione degli autori su dati AIE (2009a)

3.3 Elementi di efficienza ambientale ed energetica

L'intensità energetica della produzione elettrica italiana è al di sotto della media europea e mondiale (Figura 3.12), combinazione di fattori di prezzo e ambientali.

Figura 3.12 - Intensità energetica (per energia elettrica) in Italia e confronto con media europea e mondiale (intensità energetica media mondiale nel 1997 = 100)

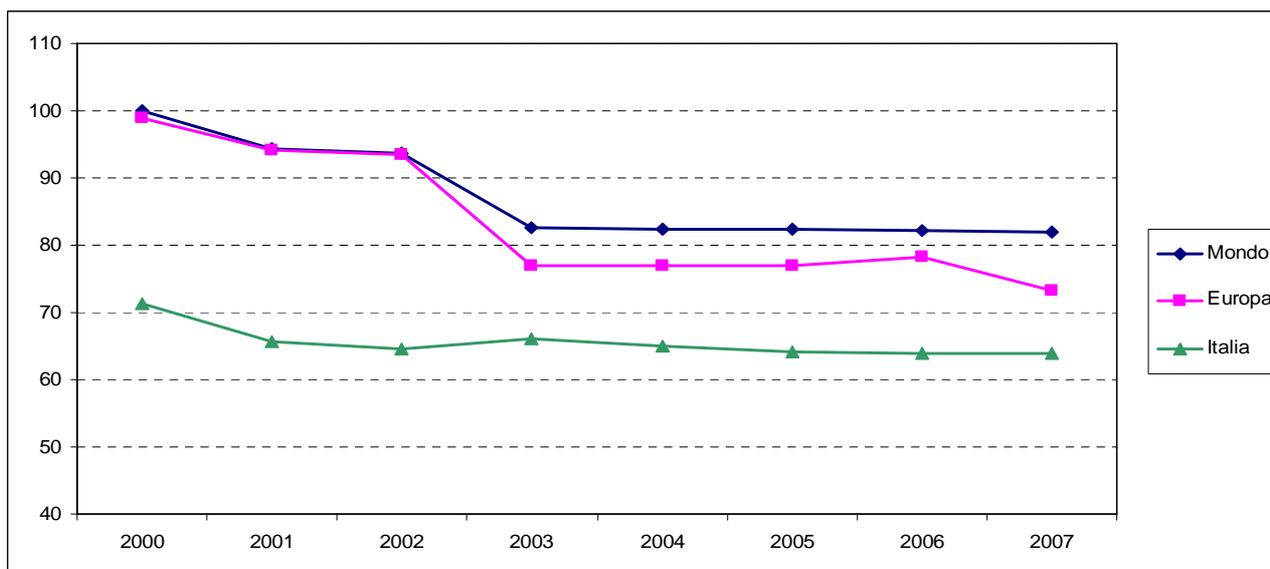


Fonte: elaborazione degli autori su dati Terna

(http://www.terna.it/default/Home/SISTEMA_ELETTRICO/statistiche/dati_statistici.aspx)

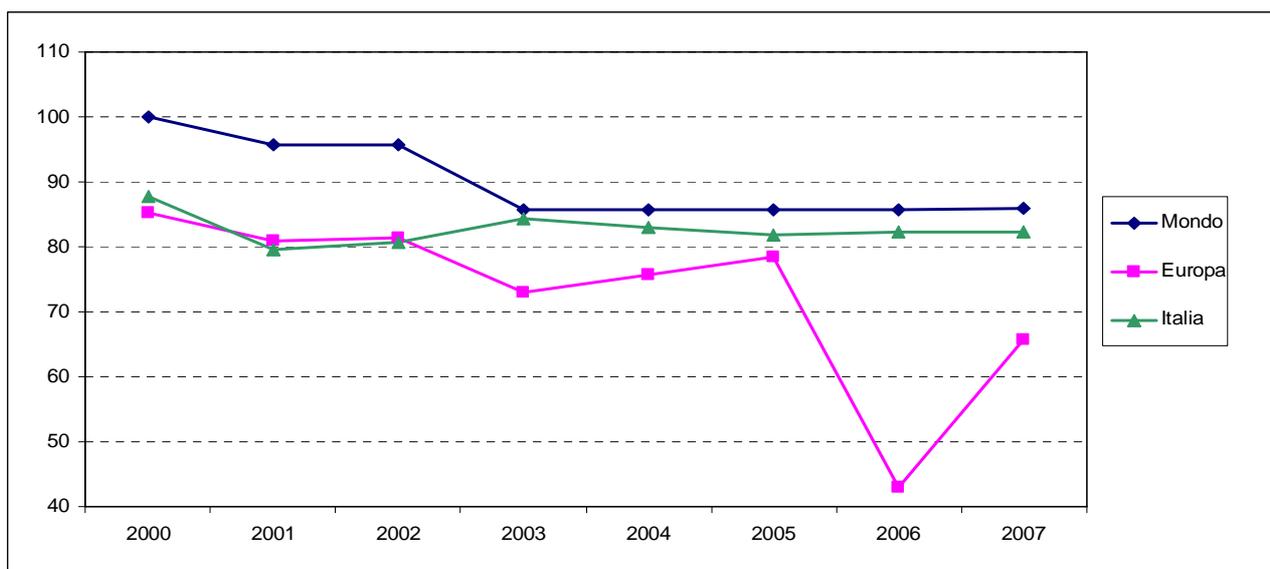
Anche per quanto concerne l'intensità di carbonio, l'Italia vanta performance migliori rispetto alla media europea e mondiale nella produzione termoelettrica (Figura 3.13). Il gap si è però gradualmente ridotto dalla metà degli anni '90 a causa dell'aumento della produzione di energia elettrica da carbone, triplicata rispetto al 1993 (Figura 3.5), che ha causato un aumento della produzione di anidride carbonica e gas-serra in particolare dal 1999 al 2002 (Figura 3.15). L'intensità di carbonio dell'intera produzione elettrica italiana è invece al di sopra della media europea ma leggermente al di sotto della media mondiale (Figura 3.14).

Figura 3.13 - Intensità di carbonio per produzione termoelettrica in Italia e confronto con media europea e mondiale (intensità di carbonio media mondiale nel 1997 = 100)

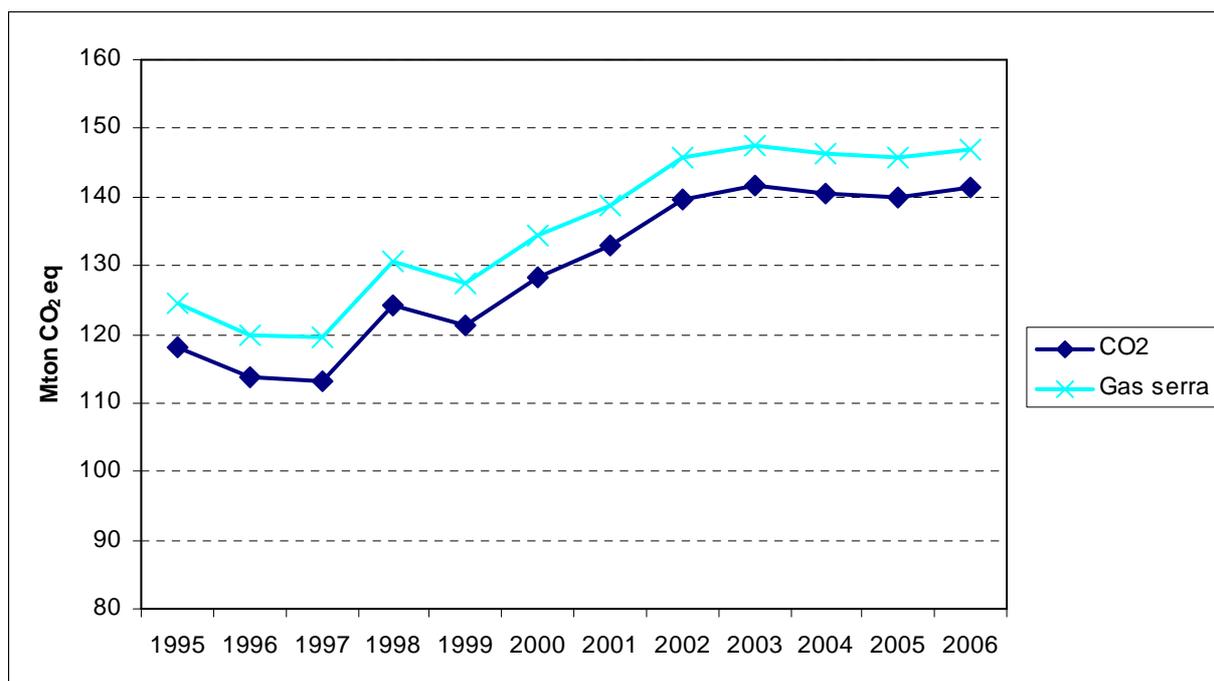


Fonte: elaborazione degli autori su dati Terna
 (http://www.terna.it/default/Home/SISTEMA_ELETRICO/statistiche/dati_statistici.aspx)

Figura 3.14 - Intensità di carbonio per produzione elettrica in Italia e confronto con media europea e mondiale (intensità di carbonio media mondiale nel 1997 = 100)



Fonte: elaborazione degli autori su dati Terna
 (http://www.terna.it/default/Home/SISTEMA_ELETRICO/statistiche/dati_statistici.aspx)

Figura 3.15 - Emissioni di CO₂ e gas-serra da produzione di energia elettrica in Italia

Fonte: elaborazione degli autori su dati Istat – NAMEA (<http://www.istat.it/ambiente/contesto/namea.html>)

3.4 Caratteristiche del mercato dell'energia elettrica in Italia

Il Decreto Legislativo 16 marzo 1999, n. 79 (in attuazione della Direttiva 96/92/CE recante norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica), ha sancito la liberalizzazione del mercato dell'energia elettrica in Italia, per quanto concerne le attività di produzione, importazione, esportazione, acquisto e vendita. A seguito di ciò, il precedente unico operatore dell'intera filiera produzione-trasmissione-distribuzione (ENEL) ha visto ridurre il suo ruolo nelle fasi di produzione e distribuzione. Infatti, sebbene rappresenti tuttora l'operatore dominante con una quota di produzione del 31,7% nel 2007, ENEL sta comunque gradualmente riducendo la sua quota di mercato a favore di nuovi operatori tra cui spiccano Edison (13,5%) ed ENI (9,7%) (Figura 3.16)¹⁰.

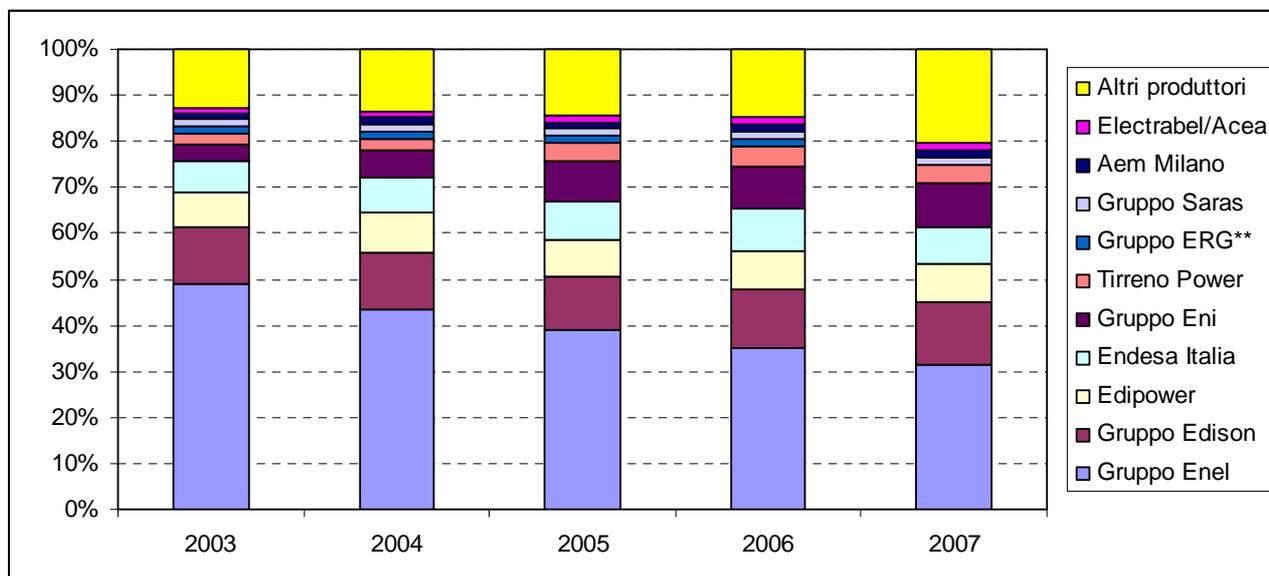
La fase di trasmissione è rimasta sostanzialmente in regime di monopolio (costituendo di fatto un monopolio naturale) con la creazione di GRTN prima e Terna poi (che oggi controlla oltre il 98% della rete di trasmissione nazionale). A tal proposito, vale la pena di osservare che l'Italia ha una grande capacità di interconnessione, tuttavia la crescente domanda e le infrastrutture elettriche non sempre adeguate a sopportare i carichi di picco, spesso causano fenomeni di congestione della rete. Attualmente si sta sviluppando una strategia di espansione e potenziamento della rete (Piano di sviluppo della rete elettrica di trasmissione nazionale¹¹), anche al fine di renderla maggiormente

¹⁰ In base al già citato D. Lgs. n. 79 del 1999, ogni produttore è vincolato alla produzione di una minima quota di energia da fonti rinnovabili, inizialmente stabilita al 2% ed incrementata gradualmente fino al limite posto dalla Finanziaria 2008 al 7,55%, dell'energia elettrica prodotta per la vendita domestica eccedente i 100 GWh, eventualmente acquistabile attraverso il meccanismo dei certificati verdi.

¹¹ http://www.terna.it/default/Home/SISTEMA_ELETRICO/programma_triennale_sviluppo/pds_2009/tabid/2701/Default.aspx

adeguata alla gestione di flussi intermittenti che caratterizzano alcune produzioni di energia da rinnovabili, come quella eolica e solare.

Figura 3.16 - Contributo dei principali operatori alla produzione lorda di energia elettrica in Italia (%)



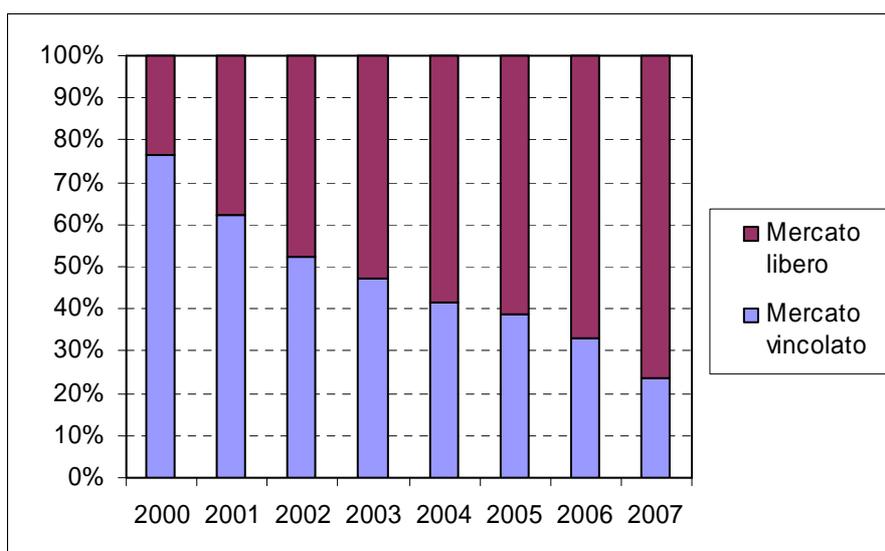
Fonte: elaborazione degli autori su dati dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas

** I dati relativi alla produzione lorda 2007 del gruppo ERG non sono stati comunicati

Per quanto riguarda il lato della domanda di energia elettrica, a partire dal 2000 i clienti "idonei" (definiti all'art. 14 del D. Lgs. n. 79 del 1999) hanno la possibilità di scegliere il proprio fornitore di energia elettrica. Dal 1 luglio 2004 sono state considerate idonee tutte le utenze non domestiche. La Legge n. 125 del 12 agosto 2007 (legge di conversione del Decreto legge n. 73 del 18 giugno 2007), in attuazione delle disposizioni comunitarie della Direttiva 2003/54/CE, ha poi sancito la completa apertura del mercato dell'energia elettrica dal 1 luglio 2007, estendendo dunque la libertà di scelta del fornitore anche alle utenze domestiche, prima ritenute clienti "vincolati". A partire dalla stessa data, sono stati predisposti servizi di maggior tutela e di salvaguardia in difesa degli interessi dei clienti domestici e delle piccole imprese che non si fossero avvalsi dell'opzione di acquisto sul mercato libero, o che si fossero trovati sprovvisti di un fornitore.

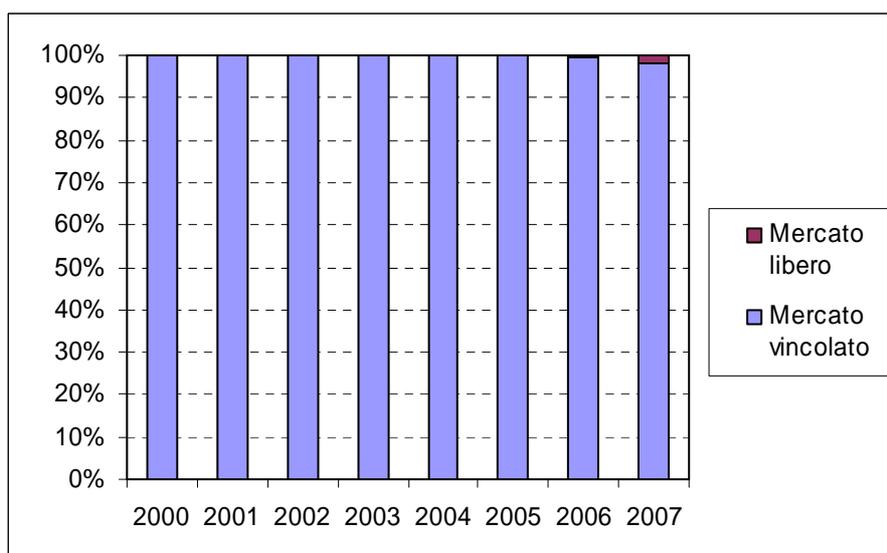
Le Figure 3.17 e 3.18 rappresentano graficamente la variazione nella quota di mercato libero e vincolato in relazione alle utenze produttive e domestiche, rispettivamente. Come atteso, mentre per le utenze produttive il mercato libero sta rappresentando un'opportunità colta da un numero sempre crescente di imprese (dal 2007 oltre il 76% dell'energia elettrica è acquistata in regime di mercato libero), per le utenze domestiche i risultati sono ancora minimi, essendo l'ultimo dato disponibile relativo a soli 6 mesi dopo l'apertura del mercato a tali utenze.

Figura 3.17 - Distribuzione tra utenze libere e vincolate - imprese



Fonte: elaborazione degli autori su dati dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas

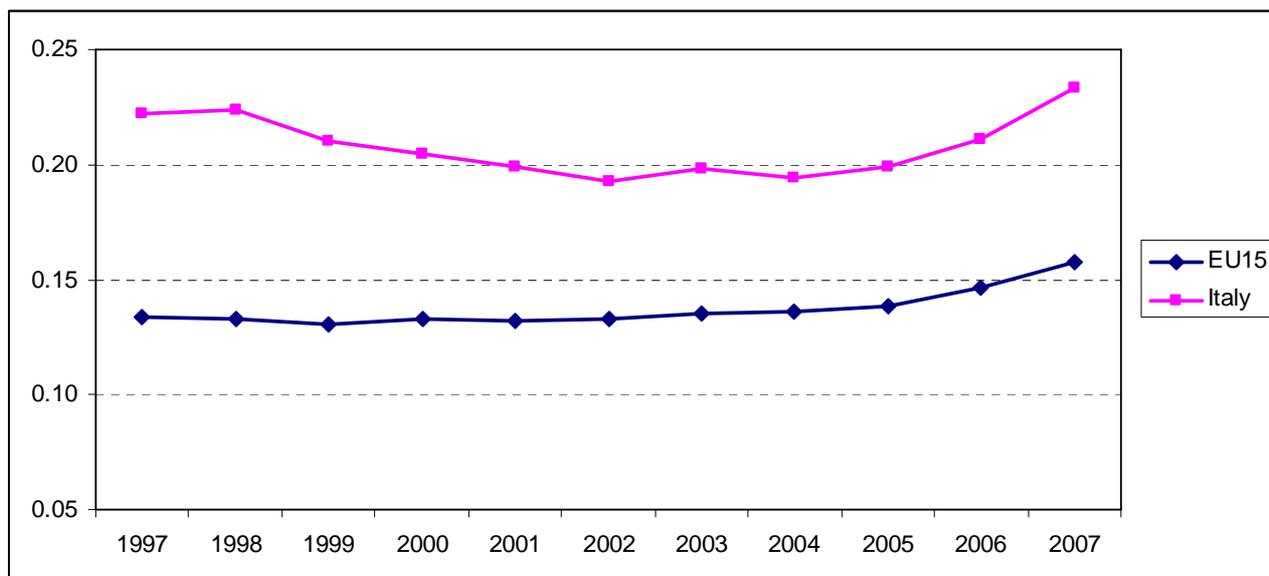
Figura 3.18 - Distribuzione tra utenze libere e vincolate - famiglie



Fonte: elaborazione degli autori su dati dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas

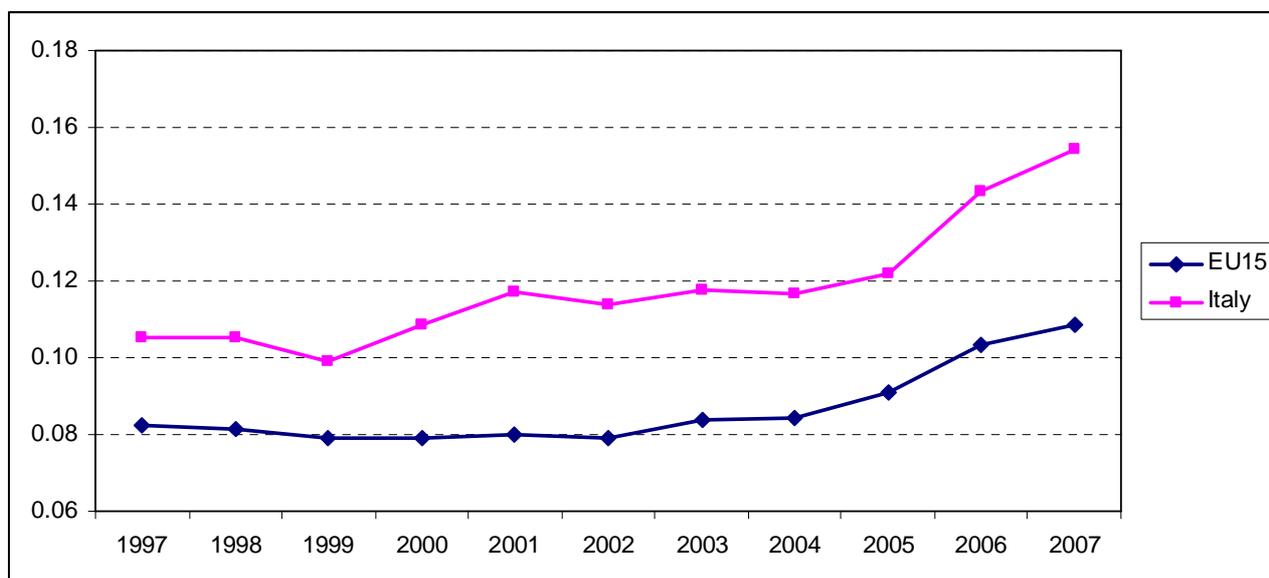
La liberalizzazione non ha sortito tutti gli effetti sperati: i prezzi dell'elettricità per le famiglie si sono mantenuti abbastanza stabili nell'ultimo decennio, pur rimanendo però in media i più elevati tra quelli degli Stati Membri (38% sopra la media dell'Europa a 15 Paesi (EU-15) nel 2007, Figura 3.19). Il prezzo medio per gli utilizzatori industriali ha, d'altro canto, seguito un *trend* crescente negli ultimi 10 anni, particolarmente accentuato negli ultimi anni (23% sopra la media EU-15, si veda Figura 3.20).

Figura 3.19 - Prezzo medio per kWh per famiglia italiana (media dimensione)



Fonte: elaborazione degli autori su dati Eurostat
 (http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database)

Figura 3.20 - Prezzo medio per kWh per impresa italiana (media dimensione)



Fonte: elaborazione degli autori su dati Eurostat
 (http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database)

4.

PRODUZIONE E GESTIONE DEI RIFIUTI IN ITALIA

4.1 Introduzione

L'obiettivo finale del presente studio è valutare il potenziale contributo della produzione di energia dai rifiuti alle strategie di mitigazione dei cambiamenti climatici. L'analisi del fenomeno della produzione dei rifiuti in Italia è, quindi, di importanza rilevante per impostare la ricerca su delle solide basi conoscitive. A tal fine, questo capitolo presenta una serie di definizioni introduttive e prosegue con una panoramica sulle quantità prodotte a livello nazionale negli ultimi anni. Si descrivono, poi, le opzioni gestionali riguardanti i rifiuti in Italia e si propone un'analisi della rilevanza economica del settore. Il capitolo si chiude con una valutazione dell'impatto ambientale che la gestione dei rifiuti nel suo complesso genera a livello nazionale, considerando, in particolare, le emissioni di gas-serra.

4.2 Produzione dei rifiuti

I rifiuti, a seconda della loro origine, si possono distinguere in due tipologie:

- rifiuti urbani, anche detti “rifiuti municipali” in altre sezioni della presente pubblicazione (rifiuti domestici, rifiuti non pericolosi provenienti da luoghi non adibiti ad uso abitativo, ma assimilati ai rifiuti domestici per quantità e qualità, rifiuti provenienti dallo spazzamento delle strade ecc.)¹²;
- rifiuti speciali (generati da attività agricole e agroindustriali, da lavorazioni industriali, artigianali, commerciali ecc.)¹³.

La Legge n. 70/1994 introduce l'obbligo, per enti e imprese che producono o gestiscono rifiuti, di presentare alle Camere di commercio, con cadenza annuale, il Modello Unico di Dichiarazione

¹² Secondo il Decreto legislativo n. 152/2006, sono rifiuti urbani: a) i rifiuti domestici, anche ingombranti, provenienti da locali e luoghi adibiti ad uso di civile abitazione; b) i rifiuti non pericolosi provenienti da locali e luoghi adibiti ad usi diversi da quelli di cui alla lettera a), assimilati ai rifiuti urbani per qualità e quantità, ai sensi dell'articolo 198, comma 2, lettera g); c) i rifiuti provenienti dallo spazzamento delle strade; d) i rifiuti di qualunque natura o provenienza, giacenti sulle strade ed aree pubbliche o sulle strade ed aree private comunque soggette ad uso pubblico o sulle spiagge marittime e lacuali e sulle rive dei corsi d'acqua; e) i rifiuti vegetali provenienti da aree verdi, quali giardini, parchi e aree cimiteriali; f) i rifiuti provenienti da esumazioni ed estumulazioni, nonché gli altri rifiuti provenienti da attività cimiteriale diversi da quelli di cui alle lettere b), c) ed e).

¹³ Secondo il Decreto legislativo n. 152/2006, sono rifiuti speciali: a) i rifiuti da attività agricole e agro-industriali; b) i rifiuti derivanti dalle attività di demolizione, costruzione, nonché i rifiuti pericolosi che derivano dalle attività di scavo, fermo restando quanto disposto dall'articolo 186; c) i rifiuti da lavorazioni industriali, fatto salvo quanto previsto dall'articolo 185, comma 1, lettera i); d) i rifiuti da lavorazioni artigianali; e) i rifiuti da attività commerciali; f) i rifiuti da attività di servizio; g) i rifiuti derivanti dalla attività di recupero e smaltimento di rifiuti, i fanghi prodotti dalla potabilizzazione e da altri trattamenti delle acque e dalla depurazione delle acque reflue e da abbattimento di fumi; h) i rifiuti derivanti da attività sanitarie; i) i macchinari e le apparecchiature deteriorati ed obsoleti; l) i veicoli a motore, rimorchi e simili fuori uso e loro parti; m) il combustibile derivato da rifiuti; n) i rifiuti derivati dalle attività di selezione meccanica dei rifiuti solidi urbani.

ambientale (MUD), con riferimento ai rifiuti prodotti, raccolti e/o gestiti l'anno precedente¹⁴. Dai dati MUD bonificati¹⁵, risulta che la produzione totale di rifiuti urbani in Italia dal 2002 al 2006 è passata da poco più di 30 a oltre 32,7 milioni di tonnellate (Tabella 4.1). La ripartizione tra le macroregioni italiane si è mantenuta stabile negli anni considerati; infatti, in linea di massima circa il 45% della raccolta dei rifiuti urbani avviene al Nord, il 33% al Sud e nelle Isole e il 22% al Centro¹⁶.

Tabella 4.1 - Produzione di rifiuti urbani (t) (2002-2006)

REGIONE	2002	2003	2004	2005	2006
PIEMONTE	2.126.360	2.139.108	2.205.191	2.197.922	2.231.207
VALLE D'AOSTA	68.765	71.069	72.740	70.182	72.911
LOMBARDIA	4.686.110	4.618.703	4.781.227	4.788.919	5.025.638
TRENTINO-ALTO ADIGE	451.318	437.175	494.005	475.964	493.457
VENETO	2.232.807	2.201.913	2.279.492	2.327.360	2.426.736
FRIULI-VENEZIA GIULIA	608.296	592.552	613.425	611.362	605.860
LIGURIA	946.403	991.871	983.587	965.138	988.937
EMILIA-ROMAGNA	2.670.336	2.664.166	2.778.269	2.891.170	2.951.646
NORD	13.790.393	13.716.557	14.207.937	14.328.016	14.796.392
TOSCANA	2.331.159	2.342.990	2.484.557	2.503.391	2.565.212
UMBRIA	447.535	456.515	496.387	498.263	509.688
MARCHE	770.496	794.795	818.587	826.821	874.012
LAZIO	2.937.413	2.956.183	3.279.076	3.338.255	3.416.093
CENTRO	6.486.603	6.550.483	7.078.608	7.166.731	7.365.005
ABRUZZO	628.234	636.087	676.752	694.277	699.513
MOLISE	120.117	122.508	130.664	131.589	129.721
CAMPANIA	2.704.453	2.745.070	2.809.122	3.047.260	2.865.580
PUGLIA	1.983.572	2.012.649	2.101.103	2.139.098	2.180.491
BASILICATA	211.764	216.457	221.616	234.717	234.276
CALABRIA	842.197	843.996	914.327	914.368	928.869
SICILIA	2.418.024	2.527.517	2.639.197	2.621.355	2.703.041
SARDEGNA	822.408	877.924	915.793	887.264	869.788
SUD E ISOLE	9.730.769	9.982.209	10.408.575	10.669.927	10.611.278
ITALIA	30.007.765	30.249.249	31.695.119	32.164.674	32.772.675

Fonte: Ecocerved (MUD, 2003-2007)

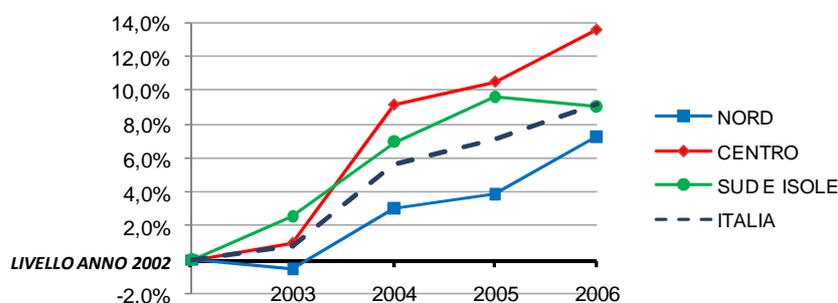
¹⁴ I soggetti per i quali vige attualmente l'obbligo di presentare la dichiarazione MUD sono elencati nel Decreto legislativo 152/2006 (e successive modifiche e integrazioni – nel seguito: s.m.i.).

¹⁵ Le dichiarazioni, presentate principalmente su supporto magnetico e per via telematica, possono contenere degli errori di compilazione dovuti, per esempio, all'errata attribuzione dei dati nei campi previsti dal modello oppure alla mancata valorizzazione dell'unità di misura utilizzata o ancora all'incongruenza con i dati inseriti nei moduli allegati. Per questo motivo dal 1996 Ecocerved svolge un'attività di validazione dei dati MUD detta "bonifica": con una serie di procedure di controllo finalizzate a correggere – laddove possibile – i casi di errore, si ottiene, così, un maggiore livello di affidabilità delle analisi statistiche svolte utilizzando i dati in questione.

¹⁶ Coerentemente con la classificazione Istat, le regioni italiane sono raggruppate in tre macroaree: Nord (Piemonte, Valle d'Aosta, Lombardia, Trentino-Alto Adige, Veneto, Friuli-Venezia Giulia, Liguria, Emilia-Romagna), Centro (Toscana, Umbria, Marche, Lazio), Sud e Isole (Abruzzo, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia, Sardegna).

Tra il 2002 e il 2006 la quantità di rifiuti urbani aumenta del 9,2% a livello nazionale. La dinamica negli anni considerati si differenzia tra le varie macroregioni, infatti si verifica una crescita dei rifiuti urbani più contenuta al Nord-Italia (+7,3%) – inferiore a quella nazionale – rispetto al Sud-Isole (+9,0%), ma soprattutto rispetto al Centro (+13,5%) (Figura 4.1).

Figura 4.1 - Produzione di rifiuti urbani: variazioni percentuali cumulate (2002-2006)



Fonte: Ecocerved (MUD, 2003-2007)

I rifiuti speciali ammontano, invece, a più di 95 milioni di tonnellate nel 2005 e risultano in aumento del 16,9% rispetto al 2002 a livello nazionale, mentre nel 2006 scendono a 84,4 milioni di tonnellate, per effetto di una variazione normativa, che ha ridimensionato la platea dei soggetti tenuti a presentare la dichiarazione¹⁷ (Tabella 4.2). Le quantità, a partire dal 2002, sono cresciute a una velocità decisamente più sostenuta al Sud e nelle Isole (+47,5% nel 2005) che non al Centro-Nord (+9,7% al Centro, +9,1% al Nord) (Figura 4.2).

Una prima lettura dei dati suggerisce che i rifiuti speciali crescono più velocemente di quanto avviene per i rifiuti urbani, a più del doppio della velocità (+17% contro +7% tra il 2002 e il 2005, a livello nazionale). Bisogna precisare, però, che la differenza nella dinamica è riconducibile all'andamento rilevato nel Sud-Isole, dovuto in parte alla generazione di rifiuti derivanti da operazioni di bonifica dei siti inquinati (per quanto riguarda, in particolare, la Sicilia), in parte a tendenze del tessuto industriale locale (per la Puglia, per esempio, nel settore dell'acciaio) e in parte all'avvio di talune operazioni di trattamento dei rifiuti (soprattutto in Campania).

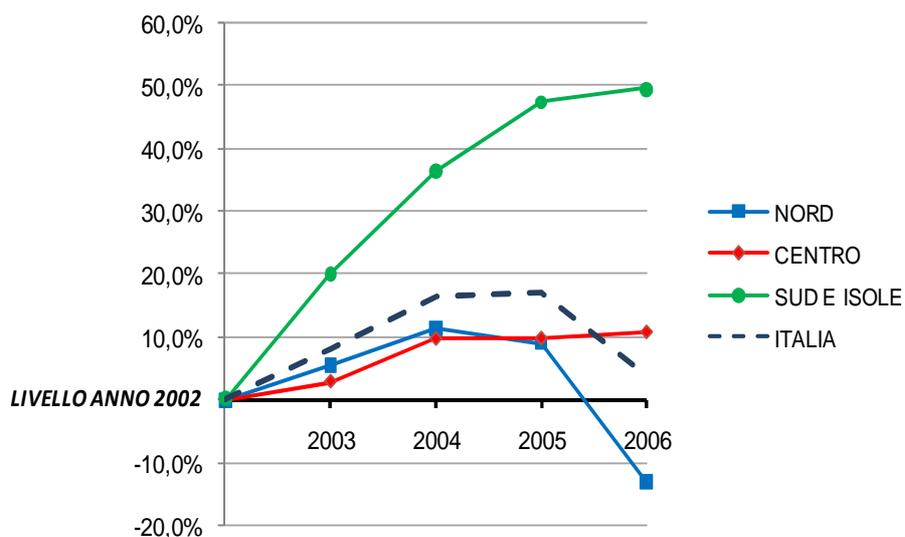
¹⁷ D.Lgs.152/2006.

Tabella 4.2 - Produzione di rifiuti speciali (t) (2002-2006)

REGIONE	2002	2003	2004	2005	2006
PIEMONTE	5.577.823	6.262.354	7.233.246	6.491.405	5.330.951
VALLE D'AOSTA	179.173	163.549	217.308	202.794	68.539
LOMBARDIA	17.760.595	18.392.768	19.777.069	19.522.794	15.718.967
TRENTINO-ALTO ADIGE	1.557.792	1.644.837	1.688.035	1.836.288	1.809.217
VENETO	11.581.378	11.957.333	12.382.585	11.723.186	9.358.368
FRIULI-VENEZIA GIULIA	2.821.834	2.657.924	2.827.969	2.634.087	2.084.015
LIGURIA	2.510.915	3.087.357	3.094.306	2.887.025	2.166.684
EMILIA-ROMAGNA	8.984.434	9.607.317	9.604.407	10.310.263	7.806.412
NORD	50.973.944	53.773.439	56.824.925	55.607.843	44.343.153
TOSCANA	7.251.038	7.372.615	7.838.572	7.790.889	7.108.785
UMBRIA	1.828.963	1.693.806	1.880.040	1.918.848	1.099.203
MARCHE	2.061.665	2.191.072	2.320.124	2.355.410	3.820.852
LAZIO	2.955.970	3.237.413	3.424.466	3.406.891	3.582.781
CENTRO	14.097.636	14.494.906	15.463.202	15.472.038	15.611.621
ABRUZZO	1.144.138	1.235.705	1.314.651	1.528.426	1.230.434
MOLISE	383.773	425.622	357.848	378.886	392.868
CAMPANIA	4.533.419	5.877.548	5.126.028	5.232.036	4.752.508
PUGLIA	4.710.034	5.969.278	7.086.259	7.509.053	7.786.511
BASILICATA	439.907	433.200	518.270	527.462	575.468
CALABRIA	437.618	572.533	791.962	990.286	922.414
SICILIA	1.703.494	2.117.254	3.681.877	4.419.008	4.182.235
SARDEGNA	2.989.320	2.981.361	3.405.529	3.513.395	4.599.492
SUD E ISOLE	16.341.703	19.612.501	22.282.424	24.098.552	24.441.930
ITALIA	81.413.282	87.880.846	94.570.551	95.178.433	84.396.704

Fonte: Ecocerved (MUD, 2003-2007)

Figura 4.2 - Produzione di rifiuti speciali: variazioni percentuali cumulate (2002-2006)



Fonte: Ecocerved (MUD, 2003-2007)

La quantità di rifiuti complessivamente prodotta nel nostro Paese non equivale alla mera somma di rifiuti urbani e speciali, dato che la normativa prevede una serie di categorie di imprese non obbligate a presentare il MUD. Le quantità di rifiuti speciali riportate in Tabella 4.2, infatti, sono riferite specificamente ai soggetti produttori contemplati dalla legge e che adempiono all'obbligo della dichiarazione. Le imprese esentate dal MUD devono, comunque, conferire i rifiuti che producono a soggetti deputati alla gestione degli stessi, per attività di trasporto, recupero e smaltimento. Tali soggetti gestori hanno l'obbligo di dichiarare, attraverso l'apposito modulo RT (Rifiuti ricevuti da Terzi) allegato al MUD, la tipologia e la quantità di rifiuti che prendono in consegna, oltre che i dati identificativi dell'unità produttiva "mittente".

Tramite accurate elaborazioni dei dati MUD provenienti sia dai produttori sia dai gestori è stato possibile, a partire dall'anno di riferimento 2005 (dichiarazione 2006)¹⁸, quantificare un valore della produzione di rifiuti speciali cosiddetta "ricalcolata", che tiene conto anche dei rifiuti prodotti dalle unità produttive non soggette all'obbligo di presentare la dichiarazione. In Italia la produzione di rifiuti complessiva (considerando, cioè, i rifiuti urbani e i rifiuti speciali "ricalcolati") si attesta sui 154 milioni di tonnellate nel 2005 e raggiunge 164 milioni di tonnellate nel 2006, con una crescita di circa il 6,5% tra il 2005 e il 2006.

4.3 Confronto a livello europeo

Nel 2006 la produzione totale di rifiuti nei 27 Paesi dell'Unione Europea (EU-27) raggiunge quasi 3 miliardi di tonnellate e per oltre due terzi riguarda i membri dell'EU-15¹⁹ (Tabella 4.3). Secondo Eurostat, i primi cinque Paesi EU-15 per quantità di rifiuti prodotti sono – in ordine decrescente – Francia, Germania, Regno Unito, Spagna e Italia (Figura 4.3), responsabili di quasi 1,5 miliardi di tonnellate di rifiuti nel 2006, equivalenti a metà della produzione complessiva a livello di EU-27. In particolare l'Italia, che rappresenta l'11,9% della popolazione europea e il 12,4% del PIL, produce il 5,2% dei rifiuti generati a livello di EU-27; anche in Spagna, dove vive l'8,9% dei cittadini europei e si produce il 9,3% del PIL, i rifiuti pesano sul totale per il 5,5%. Sia in Germania sia in Regno Unito, invece, che rappresentano rispettivamente il 17% e il 12% della popolazione e generano reddito per il 20% e il 15% rispetto al totale europeo, si producono oltre il doppio dei rifiuti rispetto all'Italia (rispettivamente 11,7% e 12,3%). In Francia, infine, dove vive il 13% dei cittadini e si produce il 14% della ricchezza dell'EU-27, i rifiuti prodotti sono quasi il triplo rispetto a quelli dell'Italia (15,1% vs EU-27).

¹⁸ L'attività di "ricalcolo" della produzione di rifiuti speciali nasce dall'esigenza di valorizzare il patrimonio informativo legato alle dichiarazioni MUD dei gestori, attraverso le quali è stato possibile recuperare i dati a seguito del suddetto cambiamento normativo.

¹⁹ I 27 Paesi membri dell'Unione Europea sono i seguenti: Austria, Belgio, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Regno Unito, Irlanda, Italia, Lussemburgo, Paesi Bassi, Portogallo, Spagna, Svezia (che formano il nucleo dei 15 Paesi indicato convenzionalmente con la sigla EU-15) e Bulgaria, Cipro, Estonia, Lettonia, Lituania, Malta, Polonia, Repubblica ceca, Romania, Slovacchia, Slovenia, Ungheria.

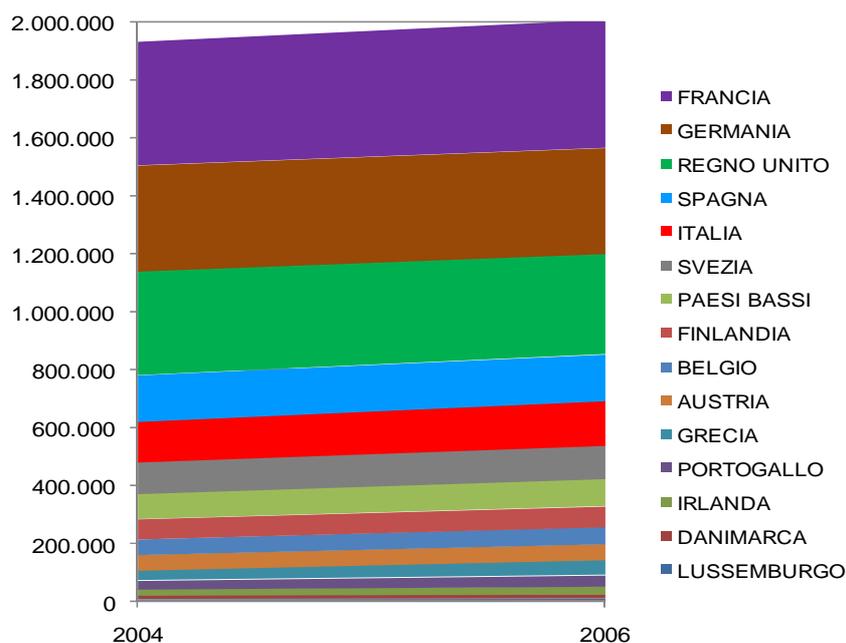
Il dato da fonte Eurostat riferito al nostro Paese si discosta dalla produzione complessiva da fonte Ecocerved (vedi sezione 4.2), a causa dei differenti approcci metodologici seguiti nel calcolo della quantità totale di rifiuti; le principali tipologie che determinano la differenza tra i due dati sono, in particolare, i rifiuti delle operazioni di costruzione e demolizione e i rifiuti prodotti dagli impianti di trattamento dei rifiuti urbani.

Tabella 4.3 - Produzione totale di rifiuti in Europa (migliaia di t) (2006)

PAESE	2006
AUSTRIA	54.287
BELGIO	59.352
DANIMARCA	14.703
FINLANDIA	72.205
FRANCIA	445.865
GERMANIA	363.786
REGNO UNITO	346.144
GRECIA	51.325
IRLANDA	30.005
ITALIA	155.025
LUSSEMBURGO	9.586
PAESI BASSI	93.808
PORTOGALLO	38.714
SPAGNA	160.947
SVEZIA	115.583
EU-15	2.011.335
EU-27	2.953.087

Fonte: Eurostat, Environmental Data Centre

Figura 4.3 - Produzione di rifiuti in Europa, EU-15 (migliaia di t) (2004 e 2006)



Fonte: elaborazione degli autori su dati Eurostat

Considerando i soli **rifiuti urbani**, secondo i dati Eurostat disponibili *on line*, nel 1995 in Europa (EU-27) ogni cittadino ha generato mediamente 475 kg di rifiuti, nel 2002 528 kg, nel 2004 514 kg e nel 2007 522 kg (Tabella 4.4). Secondo EEA (2008) si può prevedere che nel 2020 la produzione di rifiuti *pro capite* aumenti di circa il 25% rispetto al 2005, superando, così, i 600 kg.

Tabella 4.4 - Produzione di rifiuti urbani pro capite in Europa (t) (2002-2007)

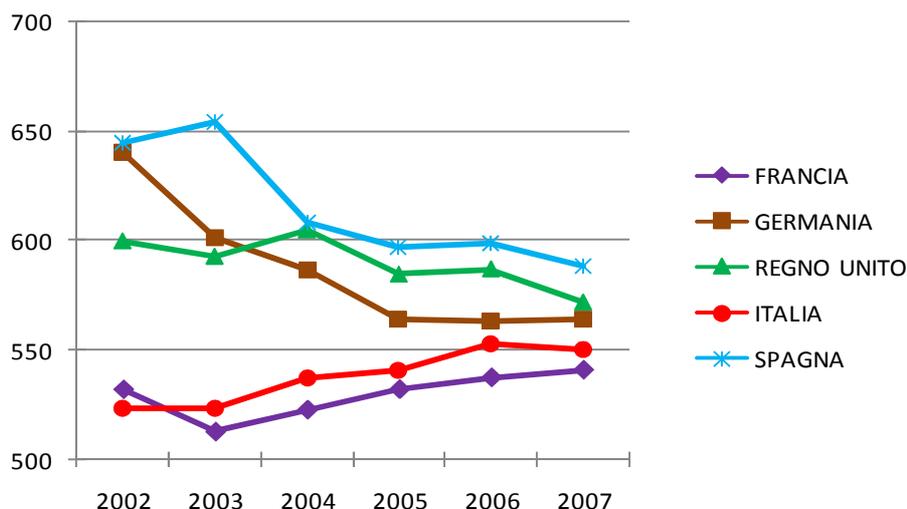
PAESE	2002	2003	2004	2005	2006	2007	$\Delta\%$ 2002-2007
AUSTRIA	609	609	620	620	653	597	-2,1%
BELGIO	489	469	489	482	483	492	+0,7%
DANIMARCA	665	672	696	737	741	801	+20,5%
FINLANDIA	459	466	470	479	495	507	+10,4%
FRANCIA	532	513	523	532	538	541	+1,7%
GERMANIA	640	601	587	564	563	564	-11,8%
REGNO UNITO	600	593	605	585	587	572	-4,7%
GRECIA	423	428	433	438	443	448	+5,8%
IRLANDA	698	736	745	740	804	788	+12,9%
ITALIA	524	524	538	542	553	550	+5,0%
LUSSEMBURGO	656	684	683	678	684	694	+5,8%
PAESI BASSI	622	610	625	624	622	630	+1,3%
PORTOGALLO	439	447	436	446	454	472	+7,5%
SPAGNA	645	655	608	597	599	588	-8,8%
SVEZIA	468	471	464	482	497	518	+10,5%
EU-15 + EFTA²⁰	580	569	568	563	569	568	-2,0%
EU-27	528	516	514	517	523	522	-1,1%

Fonte: Eurostat, Environmental Data Centre

In Italia e in Francia, come evidente anche in Figura 4.4, la quantità di rifiuti urbani *pro capite* è più bassa (rispettivamente 550 e 541 nel 2007) rispetto a Germania, Regno Unito e Spagna. I rifiuti urbani prodotti da ogni abitante in Italia e in Francia crescono rispettivamente del 5% e del 2% tra il 2002 e il 2007; nello stesso periodo si registra un calo del 4,7% in Regno Unito, del 9% in Spagna e del 12% in Germania. Le variazioni percentuali ($\Delta\%$) registrate in anni recenti mostrano, quindi, la graduale convergenza di Germania, Regno Unito e Spagna verso i livelli più virtuosi di Italia e Francia, che pur collocandosi tra i primi Paesi per quantità totale di rifiuti prodotti, si collocano tra gli ultimi per produzione di rifiuti urbani *pro capite*.

²⁰ EFTA (European Free Trade Association) è l'Associazione europea di libero scambio e attualmente ne fanno parte Islanda, Norvegia, Svizzera e Liechtenstein; la sigla in tabella indica questi Paesi, escluso il Liechtenstein.

Figura 4.4 - Produzione di rifiuti urbani pro capite in alcuni Paesi europei (t) (2002-2007)



Fonte: elaborazione degli autori su dati Eurostat

4.4 Opzioni gestionali²¹

Il Decreto legislativo n. 152/2006 (e successive modifiche e integrazioni – nel seguito: s.m.i. –), in attuazione di direttive comunitarie, prevede che la gestione dei rifiuti sia effettuata conformemente ai principi di precauzione, di prevenzione, di proporzionalità, di responsabilizzazione e di cooperazione di tutti i soggetti coinvolti nella produzione, nella distribuzione, nell'utilizzo e nel consumo di beni da cui originano i rifiuti. Le pubbliche amministrazioni devono perseguire, nell'esercizio delle rispettive competenze, iniziative dirette a realizzare la gestione dei rifiuti secondo la seguente scala di priorità:

- prevenzione e riduzione della produzione e della nocività dei rifiuti;
- recupero di materia;
- recupero di energia;
- smaltimento in discarica.

Secondo i dati MUD provenienti dai gestori, in Italia nel 2006 circa il 60% dei rifiuti gestiti, urbani e non, è stato oggetto di attività di recupero²² e il 40% di smaltimento²³; l'incidenza del recupero sul

²¹ Si ringrazia, in particolar modo per questa sezione dello studio, l'Ing. Donato Molino (Ecocerved) per il prezioso supporto offerto.

²² Secondo il Decreto legislativo n. 152/2006 (Allegato C) e s.m.i., le operazioni di recupero sono le seguenti: R1 Utilizzazione principale come combustibile o come altro mezzo per produrre energia; R2 Rigenerazione/recupero di solventi; R3 Riciclo/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi (comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche); R4 Riciclo/recupero dei metalli o dei composti metallici; R5 Riciclo/recupero di altre sostanze inorganiche; R6 Rigenerazione degli acidi o delle basi; R7 Recupero dei prodotti che servono a captare gli inquinanti; R8 Recupero dei prodotti provenienti dai catalizzatori; R9 Rigenerazione o altri reimpieghi degli oli; R10 Spandimento sul suolo a beneficio dell'agricoltura o dell'ecologia; R11 Utilizzazione di rifiuti ottenuti da una delle operazioni indicate da R1 a R10; R12 Scambio di rifiuti per sottoporli ad una delle operazioni indicate da R1 a R11; R13 Messa in riserva di rifiuti per sottoporli a una delle operazioni indicate nei punti da R1 a R12 (escluso il deposito temporaneo, prima della raccolta, nel luogo in cui sono prodotti).

²³ Secondo il Decreto legislativo n. 152/2006 (Allegato B) e s.m.i. le operazioni di smaltimento sono le seguenti: D1 Deposito sul o nel suolo (ad es. discarica); D2 Trattamento in ambiente terrestre (ad es. biodegradazione di rifiuti liquidi o fanghi nei suoli); D3 Iniezioni in profondità (ad es. iniezione dei rifiuti pompabili in pozzi, in cupole saline o faglie

totale della gestione è cresciuta rispetto al 2002, quando era pari al 53%²⁴ (Tabella 4.5). Il recupero di materia, in particolare, pesa per circa i tre quarti sul recupero totale e rappresenta una quota sostanzialmente costante negli anni. Per quanto riguarda il recupero di energia, si rimanda al capitolo successivo per una trattazione specifica.

Tabella 4.5 - Rifiuti avviati a recupero e smaltimento: valori percentuali rispetto al totale gestito (2002-2006)

ATTIVITÀ	2002	2003	2004	2005	2006
RECUPERO	53%	56%	56%	58%	59%
SMALTIMENTO	47%	44%	44%	42%	41%

Fonte: Ecocerved (MUD, 2003-2007)

I rifiuti smaltiti in discarica, in particolare, sono circa 36,8 milioni di tonnellate nel 2006 e risultano in aumento rispetto all'anno precedente di circa il 2%; nel corso degli anni, comunque, si evidenzia un percorso di sostanziale stabilità, infatti la quantità in discarica nel 2006 è inferiore a quella del 2002 dello 0,5% (Tabella 4.6).

Tabella 4.6 - Rifiuti smaltiti in discarica (t) (2002-2006)

ANNO	DISCARICA
2002	36.959.269
2003	35.581.485
2004	36.136.218
2005	35.921.729
2006	36.792.040

Fonte: Ecocerved (MUD, 2003-2007)

4.5 Rilevanza economica

Il settore rifiuti riguarda trasversalmente tutto ciò che attiene alle attività antropiche. Secondo i dati diffusi dall'Istat (2008), la spesa nazionale a prezzi correnti per la gestione dei rifiuti nel 2007 è pari a circa 21.000 milioni di €, contro gli 11.000 milioni di € del 1997 (in aumento del 91%). Se l'incidenza della spesa per la gestione dei rifiuti rappresentava l'1,1% del PIL italiano nel 1997, il peso cresce all'1,4% nel 2007 (con un aumento dell'incidenza sul PIL che è pari, quindi, a poco meno di un terzo).

geolitiche naturali); D4 Lagunaggio (ad es. scarico di rifiuti liquidi o di fanghi in pozzi, stagni o lagune, ecc.); D5 Messa in discarica specialmente allestita (ad es. sistemazione in alveoli; stagni separati, ricoperti o isolati gli uni dagli altri e dall'ambiente); D6 Scarico dei rifiuti solidi nell'ambiente idrico eccetto l'immersione; D7 Immersione, compreso il seppellimento nel sottosuolo marino; D8 Trattamento biologico non specificato altrove nel presente allegato, che dia origine a composti o a miscugli eliminati secondo uno dei procedimenti elencati nei punti da D1 a D12; D9 Trattamento fisico-chimico non specificato altrove nel presente allegato che dia origine a composti o a miscugli eliminati secondo uno dei procedimenti elencati nei punti da D1 a D12 (ad es. evaporazione, essiccazione, calcinazione, ecc.); D10 Incenerimento a terra; D11 Incenerimento in mare; D12 Deposito permanente (ad es. sistemazione di contenitori in una miniera, ecc.); D13 Raggruppamento preliminare prima di una delle operazioni di cui ai punti da D1 a D12; D14 Ricondizionamento preliminare prima di una delle operazioni di cui ai punti da D1 a D13; D15 Deposito preliminare prima di una delle operazioni di cui ai punti da D1 a D14 (escluso il deposito temporaneo, prima della raccolta, nel luogo in cui sono prodotti).

²⁴ Le percentuali sono calcolate escludendo le operazioni di stoccaggio dal totale gestito.

La voce più rilevante tra le componenti della spesa nazionale per la gestione dei rifiuti riguarda i consumi intermedi ad opera delle imprese, che hanno un peso sul totale superiore al 55%; seguono i consumi finali (quelli delle famiglie pesano per oltre il 30% sul totale). Complessivamente i consumi intermedi e finali coprono circa il 90% della spesa complessiva; il restante 10% della spesa nazionale si riferisce a investimenti, soprattutto da parte di operatori specializzati privati. Gli investimenti nel settore della gestione dei rifiuti in Italia crescono di oltre il 100% dal 1997 al 2007, in termini nominali; in particolare gli investimenti da parte dei “Produttori specializzati - Imprese” (ovvero dei produttori di servizi per la vendita a terzi) più che triplicano. Anche gli investimenti dei “Produttori ausiliari” (che producono servizi ambientali per il proprio uso e consumo, cioè autoproducono servizi ambientali) raddoppiano, mentre Pubblica Amministrazione (PA) e Istituzioni sociali senza scopo di lucro (ISSL) al servizio delle famiglie riducono i loro investimenti di circa un terzo nel decennio considerato (Tabella 4.7).

Tabella 4.7 - Spesa nazionale per la gestione dei rifiuti (milioni di € a prezzi correnti) (1997-2007)

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Consumi finali	3.817	4.186	4.110	4.160	4.269	4.483	4.687	5.381	5.709	5.951	6.610
<i>Famiglie</i>	3.788	4.154	4.069	4.122	4.221	4.432	4.634	5.322	5.654	5.901	6.556
<i>PA</i>	29	32	42	38	48	52	53	59	55	50	54
Consumi intermedi (Imprese)	6.097	7.404	8.166	9.082	9.664	10.478	10.604	11.302	11.995	11.615	12.093
Investimenti	1.107	1.314	1.372	1.495	2.461	1.917	2.061	2.150	1.871	2.196	2.317
<i>Prod. spec. - PA e ISSL</i>	444	457	470	500	484	551	564	297	293	281	291
<i>Prod. spec. - Imprese</i>	551	659	685	745	1.192	1.137	1.205	1.717	1.343	1.689	1.773
<i>Prod. ausiliari</i>	112	197	218	251	786	230	293	137	234	226	253
Totale	11.021	12.904	13.648	14.737	16.394	16.878	17.352	18.833	19.575	19.762	21.020

Fonte: Istat (2008)

Per quanto riguarda i dati occupazionali, la gestione dei rifiuti nel 1997 impiegava 71.156 unità di lavoro (in particolare 55.031 del settore privato e 16.125 della Pubblica Amministrazione). Nel 2007 le unità di lavoro impiegate sono 106.601, 90.364 nel settore privato e 16.237 nella Pubblica Amministrazione. Complessivamente le unità di lavoro sono, quindi, aumentate del 50% dal 1997 al 2007 nel settore della gestione dei rifiuti e, mentre il numero di addetti nella Pubblica Amministrazione è rimasto pressoché invariato in dieci anni (+0,7%), gli addetti nelle imprese private sono cresciuti del 64%. L'aumento delle unità di lavoro impiegate nel settore della gestione dei rifiuti è imputabile, quindi, alla dinamica registrata nel privato, il che sottolinea, come evidente già dalle voci di spesa, un crescente coinvolgimento delle imprese private, il ruolo delle quali è decisamente preponderante rispetto a quello della Pubblica Amministrazione.

In conclusione, considerando sia le voci di spesa sia i dati occupazionali, il settore della gestione dei rifiuti risulta interessato, nel decennio 1997-2007, da (i) crescita della spesa, (ii) processo di “privatizzazione”, (iii) processo di “terziarizzazione”.

4.6 Impatto ambientale

Alla base delle politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici, il monitoraggio delle emissioni dei gas-serra, che contribuiscono al riscaldamento globale, assume un ruolo di grande importanza. Secondo i dati dell'inventario nazionale, realizzato per il nostro Paese dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Ispra)²⁵, in Italia nel 2007 le emissioni complessivamente imputabili al settore del trattamento e dello smaltimento dei rifiuti ammontano a circa 18,5 milioni di tonnellate²⁶ equivalenti di anidride carbonica (escludendo uso del suolo, cambio d'uso del suolo e foreste – nel seguito: LULUCF, da *Land Use, Land Use Change and Forestry* –), che rappresentano il 3,3% del totale delle emissioni nazionali, escludendo LULUCF.

Secondo i dati della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), nei Paesi dell'Unione Europea le emissioni di gas-serra associate alla gestione dei rifiuti rappresentano in media il 2,6% del totale (2007). In Spagna e in Regno Unito l'incidenza delle emissioni del settore rifiuti è simile al valore italiano (rispettivamente 3,2% e 3,6%), mentre in Francia e Germania si colloca sotto la media europea (rispettivamente 1,9% e 1,2%). Un'evoluzione degna di nota è, in particolare, quella della Germania che ha ridotto via via la quota di emissioni prodotte nel settore rifiuti, a partire già dai primi anni Novanta (nel 1990 era pari a 3,3%).

Con riferimento al 2007, anno più recente per il quale sono disponibili i dati, in Italia le emissioni di anidride carbonica equivalente (CO₂-eq) relative alla gestione dei rifiuti derivano per la quasi totalità dal deposito in discarica e dal trattamento delle acque reflue, che pesano rispettivamente per il 72% e per il 24% sul totale (Tabella 4.8).

Tabella 4.8 - Emissioni di gas-serra nel settore rifiuti per tipologia di trattamento (migliaia di t) (2007)

TRATTAMENTO	CO ₂ -eq
DISCARICA	13.341
ACQUE REFLUE	4.454
INCENERIMENTO	660
ALTRO	5
TOTALE	18.459

Fonte: Ispra (NIR 2009)

Considerando i singoli gas-serra, nel 2007 le emissioni del settore rifiuti sono costituite principalmente da metano (CH₄), per l'87% del totale, seguito dal protossido di azoto (N₂O), che pesa per l'11,6%; l'anidride carbonica (CO₂), infine, incide solo per la restante quota, inferiore al 2% (Tabella 4.9). Si nota che il metano emesso dal settore rifiuti costituisce oltre il 40% delle emissioni di metano complessivamente generate in Italia; queste ultime rappresentano, a loro volta, circa il 7% del totale delle emissioni di gas-serra del nostro Paese.

²⁵ L'Ispra pubblica ogni anno il *National Inventory Report* (NIR) che trasmette alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici.

²⁶ L'unità di misura ufficiale è il megagrammo (Mg) che è pari a 10⁶ grammi ovvero a 1 tonnellata.

Tabella 4.9 - Emissioni di gas-serra nel settore rifiuti per contaminante (migliaia di t) (2007)

CONTAMINANTE	CO₂-eq
CH ₄	16.051
N ₂ O	2.138
CO ₂	270
TOTALE	18.459

Fonte: Ispra (NIR 2009)

Le emissioni del settore rifiuti erano 19,5 milioni nel 2004, per cui si registra un calo di circa 1 milione di tonnellate di gas-serra in tre anni, corrispondente a una diminuzione del 5% al 2007. Con riferimento, invece, al 1990 (che è l'anno base del Protocollo di Kyoto), si registra un aumento del 2,9% (Tabella 4.10), dovuto principalmente alla crescita delle emissioni derivanti dal deposito in discarica (+0,3%) e dal trattamento delle acque reflue (+15,6%)²⁷. Le emissioni di metano sono aumentate, infatti, del 3,9% dal 1990 al 2007 e quelle di protossido di azoto del 9,5%; al contrario, le emissioni di anidride carbonica sono sostanzialmente dimezzate (-49,7%) nello stesso periodo.

Va notato che quest'ultimo dato è da attribuirsi al fatto che nel *National Inventory Report* le emissioni associate all'incenerimento dei rifiuti con recupero di energia, coerentemente con le linee-guida adottate dall'UNFCCC, sono contabilizzate nel settore energetico e non in quello dei rifiuti. Via via che gli impianti di incenerimento senza recupero di energia si sono modificati o sono stati sostituiti da impianti di incenerimento con recupero di energia, la riduzione delle emissioni dei primi è stata compensata dall'aumento delle emissioni dei secondi.

Tabella 4.10 - Emissioni di gas-serra nel settore rifiuti (migliaia di t) (1990, 1995, 2000-2007)

ANNO	CO₂-eq
1990	17.936
1995	20.666
2000	21.659
2001	21.545
2002	20.973
2003	20.283
2004	19.475
2005	19.432
2006	18.707
2007	18.459

Fonte: Ispra (NIR 2009)

Per l'Italia nel 2007 le emissioni derivanti dalla valorizzazione energetica dei rifiuti, di cui si discuterà nel capitolo successivo, ammontano a circa 2,8 milioni di tonnellate di anidride carbonica equivalente.

²⁷ In Italia le emissioni complessive di gas-serra sono passate da 516.318 milioni di tonnellate nel 1990 a 552.771 milioni di tonnellate nel 2007, aumentando quindi del 7% (dati UNFCCC, escludendo LULUCF).

5.

VALORIZZAZIONE ENERGETICA DEI RIFIUTI

5.1 Introduzione

Nel presente capitolo si analizza l'attività di recupero di energia dai rifiuti in Italia, partendo da una breve descrizione delle principali tecnologie attualmente adottate; si prosegue con un'analisi dell'andamento storico delle quantità avviate a recupero e del potenziale sviluppo nei prossimi anni. Si conclude, infine, con una valutazione dell'efficienza della produzione di energia da rifiuti dal punto di vista energetico e da quello ambientale.

5.2 Aspetti tecnologici

Le due principali filiere di produzione di energia elettrica da rifiuti sono: (i) la termovalorizzazione e (ii) la produzione di biogas (captazione da discarica, nella quasi totalità dei casi).

La **termovalorizzazione** consiste in un processo di incenerimento finalizzato a produrre energia elettrica e/o termica. Per quanto riguarda, in particolare, l'elettricità, i fumi sprigionati dalla combustione dei rifiuti vengono convogliati in una caldaia che genera vapore surriscaldato; il vapore alimenta una turbina che, collegata a un generatore, produce energia elettrica. Secondo ENEA (2009) l'apparecchiatura a griglia è la più diffusa in Italia; infatti, è utilizzata in impianti che complessivamente inceneriscono circa l'80% del totale nazionale. Le altre tecnologie, adottate in misura minore, sono l'inceneritore a letto fluido (18%) e a tamburo rotante (2%). Mentre il forno a griglia viene alimentato prevalentemente con rifiuti urbani tal quali, l'inceneritore a letto fluido funziona principalmente con rifiuti trattati preventivamente, come per esempio CDR (combustibile derivato da rifiuti) triturato finemente e fanghi provenienti dagli impianti di depurazione delle acque urbane. I combustori a tamburo rotante, infine, possono trattare pressoché qualsiasi tipo di rifiuti per le loro caratteristiche di robustezza ed efficienza e, proprio per questo motivo, sono impiegati principalmente per bruciare rifiuti pericolosi.

Sono attualmente disponibili, anche se decisamente poco diffuse, tecnologie alternative rispetto ai trattamenti termici più diffusi; come riportato dall'European IPPC Bureau (2006a), quelle principali sono:

- la pirolisi, che consiste nella decomposizione termica con minimo o senza apporto di ossigeno, attraverso la quale le molecole delle sostanze organiche vengono trasformate in elementi più semplici (per lo più idrocarburi liquidi);
- la gassificazione, che prevede l'ossidazione parziale²⁸ dei rifiuti al fine di trasformarli in combustibile gassoso ("syngas").

²⁸ L'ossidazione è detta parziale in quanto avviene con quantità di aria inferiore a quella stechiometrica.

Pirolisi e gassificazione sono processi interessanti da un punto di vista economico-ambientale soprattutto per trattare rifiuti omogenei, per esempio di derivazione agricola o forestale, invece matrici composite vengono trattate solitamente in combinazione con processi termici tradizionali.

La produzione di **biogas** deriva dalla degradazione biologica della sostanza organica in condizione di anaerobiosi, cioè in assenza di ossigeno molecolare. La decomposizione della materia avviene ad opera di microrganismi di natura batterica e determina la formazione di diversi prodotti, i più abbondanti dei quali sono due gas: l'anidride carbonica (CO₂) e il metano (CH₄); quest'ultimo, di grande interesse energetico, rappresenta mediamente dal 55% al 70% del biogas prodotto (European IPPC Bureau, 2006b). Il processo avviene in modo controllato in impianti di digestione anaerobica (impiegando residui colturali, liquami zootecnici ecc.), ma anche in maniera spontanea nelle discariche dove si alloca la frazione organica dei rifiuti. Il recupero di energia elettrica in quest'ultimo caso avviene installando pozzi verticali per captare il biogas nel corpo della discarica e predisponendo una rete di tubi aspiratori che lo convogliano verso il gruppo elettrogeno.

5.3 Tendenze evolutive²⁹

In Italia la quantità di rifiuti avviati a operazioni di recupero energetico (R1, ex D.Lgs. n. 152/2006) risulta essere in crescita negli anni 2002-2006. Ai fini del presente studio si utilizzano i dati MUD provenienti dai gestori, considerando indifferentemente tutti i materiali avviati a recupero o smaltimento, senza distinguere tra rifiuti urbani e speciali.

I rifiuti avviati a termovalorizzazione – ovvero incenerimento con recupero di energia – sono passati, come riportato in Tabella 5.1, da 3,1 milioni di tonnellate nel 2002 a circa 3,9 milioni di tonnellate nel 2006, con un aumento percentuale del 27%; si evidenzia, però, una lieve flessione negli ultimi due anni (-2,6% nel 2006 rispetto al 2005). Il biogas recuperato da discarica è cresciuto anch'esso e in misura notevole: nel 2006, infatti, sono state valorizzate dal punto di vista energetico più di 500.000 tonnellate di biogas registrando, in un solo anno, un aumento del 25% (Tabella 5.2). Il consistente aumento rilevato, comunque, è legato, oltre che a una diffusione via via maggiore della captazione del biogas, anche a un processo di adeguamento dichiarativo.

Tabella 5.1 - Rifiuti avviati a termovalorizzazione (t) (2002-2006)

ANNO	QUANTITA'
2002	3.096.965
2003	3.599.050
2004	4.134.659
2005	4.027.931
2006	3.921.204

Fonte: Ecocerved (MUD 2003-2007)

²⁹ Si ringrazia l'Ing. Donato Molino (Ecocerved) per la collaborazione, particolarmente rilevante in questa parte dello studio.

Tabella 5.2 - Biogas da discarica recuperato per produrre energia (t) (2002-2006)

ANNO	QUANTITA'
2002	119.883
2003	167.841
2004	307.902
2005	411.934
2006	515.966

Fonte: Ecocerved (MUD 2003-2007)

Sulla base della serie storica dei dati MUD attualmente disponibile, è stato costruito uno scenario evolutivo al 2020 sui rifiuti avviati a recupero energetico, naturalmente considerando anche le stime previsionali (i) sull'aumento della produzione di rifiuti discusso a livello sia nazionale sia comunitario, (ii) sull'incremento della raccolta differenziata, in linea con il *trend* in atto e (iii) sulla riduzione del collocamento in discarica dei rifiuti biodegradabili, prevista dal D.Lgs. 36/2003 e s.m.i.³⁰.

Si stima che i rifiuti avviati a recupero energetico aumenteranno nei prossimi anni, soprattutto con riferimento alla termovalorizzazione. Si può ritenere plausibile, infatti, che fino al 2020 l'energia elettrica prodotta attraverso la combustione dei rifiuti crescerà di circa l'1% su base annua rispetto al 2006³¹.

5.4 Potenzialità di sviluppo³²

Un obiettivo intermedio del presente studio è analizzare le potenzialità di sviluppo della produzione di energia elettrica considerando i rifiuti che, pur avendo le caratteristiche chimico-fisiche per essere valorizzati dal punto di vista energetico, vengono invece recuperati in altro modo o smaltiti in discarica. Sono stati analizzati, a tal fine, i rifiuti complessivamente gestiti in Italia escludendo, in una prima fase, alcune categorie CER incompatibili *a priori* con l'impiego finalizzato al recupero di energia³³. Nella seconda fase l'analisi è scesa al massimo livello di dettaglio (CER 6 cifre) e sono stati applicati ulteriori criteri di selezione allo scopo di scartare, in particolare, (i) i rifiuti non attinenti ai fini della ricerca, come inerti e ingombranti e (ii) le sostanze inorganiche e i solventi avviati a forme di recupero diverso da quello energetico (rispettivamente R2 e R5). Dato che il recupero di materia è una soluzione preferibile al recupero di energia, come chiaramente espresso nella gerarchia della gestione dei rifiuti definita a livello comunitario, l'analisi dei dati viene svolta escludendo anche i principali flussi di rifiuti riconducibili alla raccolta differenziata o equivalenti dal punto di vista merceologico (per esempio CER 150101 "Imballaggi in carta e cartone" e CER 150102 "Imballaggi in plastica").

³⁰ Il D.Lgs.36/2003 è stato emanato in attuazione della Direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti.

³¹ Si rimanda, per maggiori dettagli, all'applicazione modellistica svolta nell'ambito del presente studio (Cap. 6 e 7).

³² Gli autori ringraziano, in particolar modo per questa sezione dello studio, l'Ing. Stefano Ciampicigli per le indicazioni e i suggerimenti forniti.

³³ I rifiuti appartenenti, per esempio, alla categoria CER 01 "Rifiuti derivanti da prospezione, estrazione da miniera o cava, nonché dal trattamento fisico o chimico di minerali" sono esclusi, per definizione, dall'impiego a fini di recupero energetico. In questa prima fase di selezione, oltre ai rifiuti della categoria 01, sono stati esclusi anche i rifiuti appartenenti alle categorie CER 08, 09, 10, 11 e 12.

Completate le attività di selezione sui dati MUD, emerge che, a valle della raccolta differenziata, la quantità di rifiuti rilevanti ai fini del recupero energetico supera i 33 milioni di tonnellate nell'anno più recente per il quale sono disponibili i dati, il 2006. La quantità è aumentata negli ultimi anni: nel corso del triennio 2004-2006 è cresciuta infatti del 7% (Tabella 5.3).

Tabella 5.3 - Rifiuti idonei al recupero energetico (t) (2004-2006)

		Termov.	Dig.anaer.	Termov./Dig.anaer.	Totale
2004	Discarica	895.962	2.074.298	16.970.324	19.940.584
	R3	3.882.759	4.456.484	2.776.448	11.115.691
	Totale	4.778.721	6.530.782	19.746.772	31.056.275
2005	Discarica	670.729	1.665.490	17.374.117	19.710.336
	R3	4.209.796	4.766.829	3.006.979	11.983.603
	Totale	4.880.525	6.432.319	20.381.096	31.693.939
2006	Discarica	513.289	1.456.607	18.103.041	20.072.937
	R3	4.614.310	5.136.842	3.278.958	13.030.110
	Totale	5.127.599	6.593.449	21.381.999	33.103.047

Fonte: Ecocerved (MUD 2005-2007)

Nella Tabella 5.3 si propone un dettaglio dei dati riferiti agli anni 2004-2006 riportando, in riga, le operazioni di gestione che attualmente si effettuano sui rifiuti in questione (smaltimento in discarica e recupero di sostanze organiche, incluso il compostaggio ovvero R3) e, in colonna, le operazioni di recupero energetico per le quali i rifiuti sarebbero idonei³⁴, a seconda delle loro caratteristiche merceologiche.

Si osserva che dei 33,1 milioni di tonnellate di rifiuti in questione, circa 20,1 milioni vengono attualmente avviati in discarica; una parte minore, sebbene molto consistente, viene recuperata tramite R3, per un totale di 13 milioni di tonnellate. In particolare per quanto riguarda i rifiuti smaltiti in discarica, i rifiuti che per le loro caratteristiche chimico-fisiche non contribuirebbero alla formazione di biogas (o contribuirebbero in misura trascurabile) sono circa mezzo milione di tonnellate, una quantità corrispondente a circa il 13% dei rifiuti avviati a termovalorizzazione in Italia nel 2006.

5.5 Elementi di efficienza energetica

Per valutare il recupero di energia dai rifiuti bisogna considerare che ogni materiale ha un proprio potenziale a seconda della modalità di impiego.

Per quanto riguarda la termovalorizzazione, in primo luogo ogni codice CER che identificasse un rifiuto idoneo al recupero tramite combustione è stato associato a uno dei raggruppamenti merceologici indicati da ENEA (2006); in secondo luogo, sulla base del potere calorifico inferiore³⁵

³⁴ Con "Termov." si indicano i rifiuti che sarebbero idonei al recupero energetico principalmente attraverso la termovalorizzazione; con "Dig.anaer." quelli che sarebbero idonei al recupero energetico principalmente tramite digestione anaerobica; con "Termov./Dig.anaer." quelli che, sotto certe condizioni, sarebbero idonei al recupero energetico attraverso sia la termovalorizzazione sia la digestione anaerobica.

³⁵ Il potere calorifico inferiore (PCI) esprime la quantità di calore che si ottiene dalla combustione di un'unità di massa e si può misurare, quindi, in Joule per chilogrammo (J/kg). Il megajoule è pari a un milione di Joule: 1 MJ = 10⁶ J.

(PCI, Tabella 5.4), è stato valutato il cosiddetto “contenuto di energia”³⁶ dei rifiuti sottoposti a termovalorizzazione nel nostro Paese.

Tabella 5.4 - Potere calorifico dei rifiuti idonei al recupero tramite termovalorizzazione (MJ/kg)

FRAZIONE	PCI
Carta e cellulose	10,0
Legno	12,3
Plastica	28,3
Organico	1,1
Sottovaglio	3,9
Totale	3,9

Fonte: Enea (2006)

Si calcola, tramite l'applicazione di opportuni coefficienti di conversione, che in Italia nel 2006 la termovalorizzazione abbia prodotto energia elettrica per 1,02 Mtep³⁷, contribuendo alla produzione “primaria” del settore elettrico per una quota pari all'1,9%³⁸. Attraverso la termovalorizzazione dei rifiuti, quindi, si è resa disponibile energia elettrica “utile” per oltre 3 miliardi di kWh_e nel 2006³⁹.

Con riferimento al recupero da discarica, le oltre 500.000 tonnellate di biogas valorizzate nel 2006 corrispondono a 0,31 Mtep (lo 0,6% del fabbisogno nazionale del settore elettrico) e a circa 2 miliardi di kWh_e di energia elettrica “utile”, quasi il doppio rispetto al 2004⁴⁰.

L'energia generata tramite termovalorizzazione dei rifiuti e recupero di biogas da discarica, quindi, ha soddisfatto complessivamente il 2,5% del fabbisogno nazionale del settore elettrico nel 2006: si tratta di un contributo ridotto, ma non irrilevante, considerando che la produzione di energia “utile” ha superato i 5 TWh_e⁴¹ ovvero 5 miliardi di kWh_e.

³⁶ Il “contenuto di energia” di un combustibile è la quantità di energia che è in grado di sviluppare a monte della trasformazione in un certo impianto ovvero al lordo dell'energia spesa per il funzionamento dell'impianto stesso e delle perdite legate ad eventuali inefficienze; il contenuto di energia, infatti, è anche detto “energia primaria” o “potenziale energetico teorico”.

³⁷ Mtep equivale a un milione di tonnellate equivalenti di petrolio (tep): 1 Mtep = 10⁶ tep.

³⁸ Il settore elettrico ha un proprio fabbisogno energetico quantificabile in 51,8 Mtep, contro le 30 Mtep circa di domanda nazionale (anno 2006). La fonte di energia che fornisce il contributo maggiore è il gas naturale, con il 52%; seguono il petrolio con il 23% e il carbone con il 21%. Il fabbisogno si esprime in termini di “energia primaria” mentre la domanda nazionale si esprime in termini di “energia utile”.

³⁹ L'energia “utile” è il dato netto – in uscita dalla filiera di produzione dell'elettricità – e si esprime, per facilitarne l'interpretazione, in migliaia di wattora elettrici (kWh_e); si calcola considerando (i) l'energia primaria dei rifiuti termovalorizzati, che equivale a oltre 10 miliardi di kWh_e e (ii) il coefficiente medio di rendimento energetico pari a circa un terzo.

⁴⁰ L'energia elettrica “utile” è stata calcolata considerando il PCI del biogas pari a 15.600 J/t.

⁴¹ Il TWh_e equivale a un milione di MWh_e ovvero un miliardo di kWh_e: 1 TWh_e = 10⁶ MWh_e = 10⁹ kWh_e.

5.6 Elementi di efficienza ambientale

Le linee-guida dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2006) per la stesura dell'inventario nazionale sui gas-serra⁴² stabiliscono, come anticipato nel capitolo precedente, che le emissioni derivanti dall'incenerimento dei rifiuti con recupero di energia non vengano attribuite al settore dei rifiuti, bensì a quello energetico. Le linee-guida prescrivono, inoltre, che le emissioni generate dalla produzione di energia elettrica attraverso il biogas recuperato dalle discariche non debbano essere contabilizzate nelle statistiche ambientali, in quanto il biogas si caratterizza come assimilabile alle biomasse⁴³.

Secondo i dati comunicati all'UNFCCC, in Italia la termovalorizzazione dei rifiuti ha registrato 2,8 milioni di tonnellate di anidride carbonica equivalente (CO₂-eq) nell'ultimo anno per il quale sono disponibili i dati, il 2007 (Tabella 5.5).

Ispra (2009) precisa che in fase di calcolo si è tenuto conto della composizione merceologica dei rifiuti, al fine di distinguere, in particolare, il contenuto di carbonio di origine biogenica (per esempio rifiuti in carta o legno) da quello di origine fossile (per esempio rifiuti in plastica). Nella stima delle emissioni da incenerimento con recupero energetico, si è proceduto, quindi, a contabilizzare esclusivamente le emissioni associate al carbonio di origine fossile, coerentemente con le linee-guida dell'inventario nazionale.

Tabella 5.5 - Emissioni derivanti dalla termovalorizzazione dei rifiuti (migliaia di t) (1990, 1995, 2000-2007)

ANNO	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -eq
1990	569	0,03	0,05	585
1995	835	0,05	0,08	860
2000	1.331	0,08	0,13	1.372
2001	1.598	0,10	0,16	1.648
2002	1.546	0,09	0,16	1.596
2003	1.923	0,11	0,19	1.982
2004	2.634	0,15	0,25	2.712
2005	2.765	0,16	0,26	2.846
2006	2.804	0,16	0,27	2.888
2007	2.747	0,16	0,26	2.828

Fonte: elaborazione degli autori su dati Ispra (NIR 2009)

Le emissioni da termovalorizzazione dei rifiuti, come evidente dai dati riportati nella tabella, sono cresciute notevolmente nel corso degli anni, registrando nel 2007 un aumento superiore al 70% rispetto al 2002⁴⁴. A partire dal 2004, comunque, le emissioni sono sostanzialmente stabili e nel 2007 si è verificata una lieve diminuzione rispetto all'anno precedente (-2%).

⁴² Come anticipato nel capitolo precedente, il *National Inventory Report* (NIR) viene realizzato, per l'Italia, dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Ispra) che lo trasmette ogni anno all'UNFCCC, la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici.

⁴³ Il biogas si può definire una fonte energetica "pulita", per via dell'origine organica. Il criterio fa riferimento al contenuto di carbonio biogenico anziché carbonio fossile: le emissioni rilasciate in sede di degradazione biologica di scarti vegetali, per esempio, bilancia la CO₂ assorbita dalle piante durante la loro crescita.

⁴⁴ Bisogna ricordare, come detto nel capitolo precedente, che nel corso degli anni gli impianti di incenerimento in senso stretto (senza recupero di energia) sono stati sostituiti da impianti di incenerimento con recupero di energia; di

La quasi totalità delle emissioni di gas-serra derivanti dalla termovalorizzazione dei rifiuti è costituita da anidride carbonica: la quota si attesta sul 97% ed è costante negli anni considerati; il metano e il protossido di azoto, pur caratterizzati da un potenziale in termini di riscaldamento globale (GWP)⁴⁵ molto più alto di quello del biossido di carbonio, compaiono in misura decisamente minoritaria.

Nell'ambito del presente studio, per coerenza interna tra l'approccio descrittivo e quello modellistico, non ci è posti l'obiettivo di valutare il recupero di energia dai rifiuti includendo nell'analisi le emissioni evitate da altre forme di gestione. Non si può non fare riferimento, però, almeno a livello generale, ai co-benefici realizzabili: termovalorizzando una parte dei rifiuti prodotti, si evita di avviare quei rifiuti a smaltimento finale in discarica, operazione di cui sono ben noti gli impatti su suolo e acque; captando, inoltre, il biogas dalle discariche, non solo si recupera un potenziale energetico che andrebbe altrimenti disperso, ma si evita anche l'emissione in atmosfera di un potente gas-serra quale il metano, sprigionato in fase di decomposizione dei rifiuti organici.

conseguenza le emissioni dei primi (contabilizzate nel settore rifiuti) si sono ridotte, mentre sono aumentate le emissioni dei secondi (contabilizzate nel settore energetico).

⁴⁵ Per la conversione in anidride carbonica equivalente dei dati sulle emissioni di metano (CH₄) e protossido di azoto (N₂O), si è fatto riferimento ai valori di *Global Warming Potential* (GWP) – con orizzonte temporale fissato convenzionalmente a 100 anni – indicati da IPCC (2007).

6.

STRUMENTO DI INDAGINE ED ESERCIZIO MODELLISTICO

6.1 Obiettivi generali e metodologia

Questa sezione presenta lo strumento modellistico utilizzato per l'analisi del ruolo della valorizzazione energetica dei rifiuti in Italia e più in generale la metodologia di indagine seguita.

L'approccio modellistico adottato è quello di equilibrio economico generale. I modelli appartenenti a questa categoria, detti di equilibrio generale computazionale (CGE = *Computable General Equilibrium*) hanno una lunga tradizione di utilizzo nel determinare costi e benefici associati alle politiche fiscali in ambito internazionale e nazionale. Sono stati applicati allo studio di liberalizzazioni e restrizioni del commercio, degli effetti di tasse o sussidi, di politiche redistributive pubbliche e, più recentemente, di quelle di mitigazione dei cambiamenti climatici. Ciascuno di questi interventi produce degli effetti non confinati al settore o al Paese di immediato interesse, ma determina conseguenze per il sistema economico nel suo complesso. Queste a loro volta comportano delle retroazioni sui settori inizialmente interessati dalle politiche. I modelli CGE nascono appunto per catturare questi effetti tramite una descrizione articolata degli scambi di mercato di fattori produttivi, beni e servizi.

Come detto, questa metodologia di analisi viene applicata alla generazione di energia da rifiuti in Italia. Da un lato i settori maggiormente interessati, quelli energetici, sono inseriti nell'ambito dell'economia nazionale evidenziando i flussi di input e output che li legano al resto del sistema economico. Dall'altro, l'economia italiana stessa è inserita organicamente nel contesto economico internazionale. Vengono, infatti, esplicitamente modellate le relazioni di import/export, le ragioni di scambio, i movimenti internazionali di capitale che la collegano all'economia mondiale.

L'obiettivo ultimo della ricerca è quello di evidenziare il potenziale contributo dei rifiuti alla produzione di energia e al conseguimento di specifici *target* di abbattimento delle emissioni nel contesto dell'attuazione del sistema di scambio dei permessi di emissione attualmente vigente in Unione Europea (Direttiva 2003/87/CE). Questo tenendo conto però non solo dei potenziali costi o benefici diretti, ma anche delle ripercussioni sul complesso del sistema economico italiano.

Allo scopo, viene utilizzato un modello CGE dinamico-ricorsivo⁴⁶ per l'economia mondiale, ICES (Intertemporal Computable Equilibrium System)⁴⁷, opportunamente adattato alle necessità della ricerca.

⁴⁶ Per dinamico-ricorsivi si intendono modelli che permettono di simulare scenari futuri di sviluppo economico in modo tale che l'equilibrio dell'anno $t+1$ dipenda dall'equilibrio dell'anno t (serie di equilibri risolti sequenzialmente). Si distinguono dai modelli pienamente dinamici per il fatto che gli agenti economici si comportano considerando solo la situazione passata e presente, ma non hanno perfetta visione del futuro (sono agenti definiti "miopi").

⁴⁷ Eboli *et al.* (2009). Si veda anche il sito: <http://www.feem-web.it/ices/>

6.2 Aggiornamento del database

Il database di partenza del modello ICES deriva dai dati periodicamente raccolti dal consorzio “Global Trade Analysis Project”⁴⁸ (GTAP) coordinato dalla Purdue University. Questo presenta le matrici input-output di contabilità sociale di tutte le economie mondiali per l’anno 2004, con un elevato dettaglio settoriale (fino a 57 settori).

La descrizione dei flussi di scambio da e per il settore energetico, ed in particolare quello elettrico, non rappresentano però in modo disaggregato né i flussi relativi alla produzione e consumo di energie rinnovabili ed assimilate, tra le quali rientrano l’energia prodotta attraverso processi di termovalorizzazione, né l’energia prodotta da captazione di biogas nelle discariche.

Pertanto, per ciascuna delle nazioni/regioni presenti nel database sono state svolte le attività descritte nel seguito.

- Sono stati anzitutto raccolti i dati relativi alla produzione in volumi di energia (Mtep = Milioni di tonnellate di petrolio equivalenti) per termovalorizzazione e produzione di biogas. Per l’Italia ci si è avvalsi di fonte Ecocerved (si veda capitolo 4), per gli altri aggregati nazionali/regionali si sono utilizzati i dati dell’Agenzia Internazionale dell’Energia (AIE, 2009a e 2009b), integrati nel caso del biogas da discarica, da Euroserver (2009).

- Si è passati poi dal dato fisico a quello economico (valore della produzione) moltiplicando i volumi di energia prodotta da termovalorizzazione per i costi medi di produzione ricavati da Consonni *et al.* (2005) e, per il biogas, con quelli stimati nell’ambito del progetto Cases⁴⁹. Si è avuta particolare cura nel verificare che i dati così ottenuti fossero coerenti con il valore della produzione totale del settore elettrico e di *gas distribution* di ICES entro i quali ricadono contabilmente la produzione di energia da rifiuti e biogas (vedi sotto).

- Definito il valore della produzione, in un modello CGE è necessario determinare qual è la struttura dei costi che consente di originare quel valore. Le stime proposte sono le seguenti. Nel caso della termovalorizzazione, l’85%⁵⁰ dei costi è assorbito da capitale e lavoro (Consonni *et al.*, 2005), una piccola quota pari a circa il 4% dal fabbisogno energetico, soprattutto elettrico (ENEA, 2006), il restante dai servizi pubblici di raccolta e di trasporto agli impianti di trattamento (European IPPC Bureau 2006a, b).⁵¹ Per il biogas, la struttura dei costi è meno complessa e riconducibile sostanzialmente a capitale ($\frac{2}{3}$) e lavoro ($\frac{1}{3}$) (Sue Wing, 2008)⁵².

- In una quarta fase si è passati a disaggregare i due nuovi processi produttivi dal database originario in cui questi sono contabilmente presenti, ma non rappresentati singolarmente. La contabilità nazionale di ICES segue la classificazione ISIC (International Standard Industrial

⁴⁸ <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/>

⁴⁹ <http://www.feem-project.net/cases/>

⁵⁰ Variabile per nazione.

⁵¹ È importante notare che, essendo le attività di raccolta, trasporto e trattamento tutte svolte dalla stessa impresa, non c’è un costo legato direttamente all’acquisizione delle diverse frazioni merceologiche. Il costo attribuito ai settori industriali è legato agli aspetti impiantistici delle stazioni di trattamento prima dell’avvio a termovalorizzazione. Un’altra precisazione va fatta sul combustibile ausiliario: in quanto utilizzato nella fase di combustione, nel settore qui creato di pretrattamento non è stata assunta nessuna quota di combustibile utilizzato.

⁵² I costi di gestione della discarica non vengono attribuiti alla captazione di biogas in quanto la discarica esisterebbe anche in assenza di tale attività.

Classification of all Economic Activities). Quest'ultima definisce la composizione settoriale all'interno dei macrosettori produttivi tipicamente usati in contabilità nazionale ed include nel settore "energia elettrica" anche la produzione da fonti rinnovabili ed assimilate; il biogas prodotto da rifiuti si trova, invece, all'interno del settore di distribuzione del gas. Pertanto, il valore della produzione dei due nuovi settori "termovalorizzazione" e "biogas da discarica" è stato scorporato da elettricità e distribuzione di gas rispettivamente⁵³.

- Infine sono stati raccolti tutti i dati riguardanti le emissioni di CO₂ caratteristiche dell'energia prodotta da rifiuti. Un problema in questo senso deriva dal fatto che, a differenza dei combustibili fossili tradizionali, non esiste "un" coefficiente standard di emissione legato alla termovalorizzazione, dato che questo dipende dal mix di materiali utilizzato per il processo di combustione. Nella presente ricerca si è dunque preso come riferimento il valore medio ottenuto incrociando i dati dell'Agenzia Internazionale dell'Energia sulla produzione di energia elettrica da rifiuti e le emissioni connesse riportate nelle più recenti Comunicazioni nazionali alla Convenzione sui Cambiamenti Climatici delle Nazioni Unite (UNFCCC).

6.3 Il Modello ICES e sue modifiche

Ai fini della presente ricerca, il modello ICES viene disaggregato in 22 entità geo-politiche, tra cui l'Italia che viene rappresentata singolarmente (Tabella 6.1, a sinistra). Per convenienza espositiva e interesse di indagine, i risultati vengono però di seguito proposti per Italia, focus della ricerca, EU-27 e un aggregato "Non-EU".

Il dettaglio settoriale (Tabella 6.1, a destra), evidenzia, rappresentandoli separatamente, soprattutto i settori economici a maggiore intensità energetica e di carbonio, oltre a quello elettrico. Questi sono quelli più interessati dalle implicazioni dello sviluppo di termovalorizzazione e biogas e delle politiche di mitigazione.

Come detto, rispetto alla struttura settoriale originaria del modello ICES, ora compaiono termovalorizzazione (Rifiuti "R1" nella Tabella 6.1) e captazione di biogas da discarica. Questo però ha comportato anche una modifica del lato della produzione.

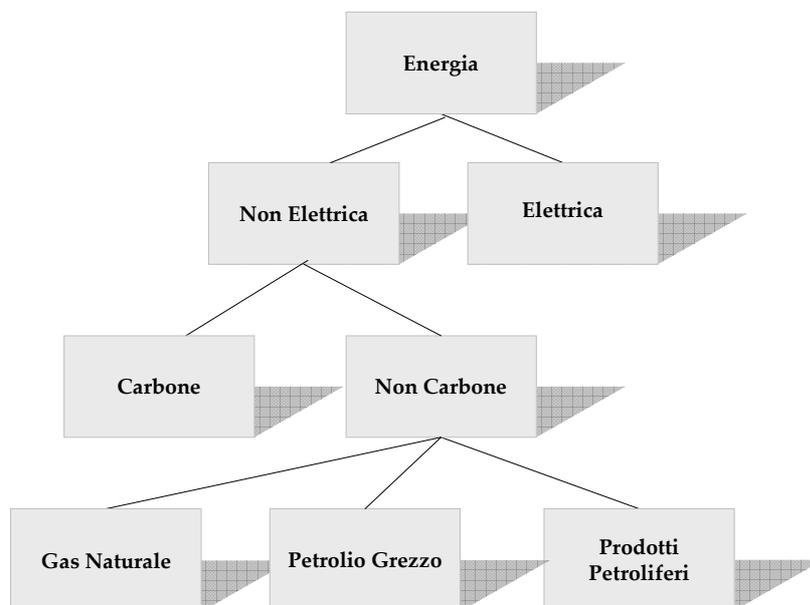
L'originario processo produttivo di energia in ICES è descritto in Figura 6.1 e ricalca quella del modello GTAP-E (Burniaux e Troung, 2002). Attraverso una serie di funzioni a elasticità di sostituzione costante "nidificate", la produzione di energia viene anzitutto divisa tra input energetici elettrici e non elettrici; gli input non elettrici sono distinti in: derivati dal carbone e "altri"; questi "altri" infine in: gas naturale, greggio e prodotti petroliferi. Specifiche elasticità di sostituzione calibrate sui dati osservati nel 2004 governano la sostituibilità tra i diversi input. A mano a mano che si scende lungo l'"albero produttivo" si riduce la possibilità di sostituzione di un input di livello superiore con uno di livello inferiore.

⁵³ Operativamente si è utilizzata la funzione "Splitcom" che permette di scomporre il dato da un settore produttivo in due o più sub-settori.

Tabella 6.1 - Dettaglio regionale e settoriale nel modello ICES

Nazioni/Regioni	Settori Produttivi
Austria	Agricoltura
Belgio	Carbone
Rep. Ceca	Petrolio
Danimarca	Gas Naturale
Finlandia	Rifiuti "R1"
Francia	Biogas
Germania	Energia Elettrica
Grecia	Carta e Cartone
Ungheria	Minerali
Irlanda	Chimica
Italia	Ferro ed acciaio
Paesi Bassi	Trasporti
Polonia	Altri settori industriali
Portogallo	Servizi commerciali
Spagna	Settore pubblico
Svezia	
Regno Unito	
Altri Paesi EU	
USA	
Est Europa	
Altri Annex 1	
Resto del Mondo	

Figura 6.1 - Albero produttivo dell'input energia in ICES

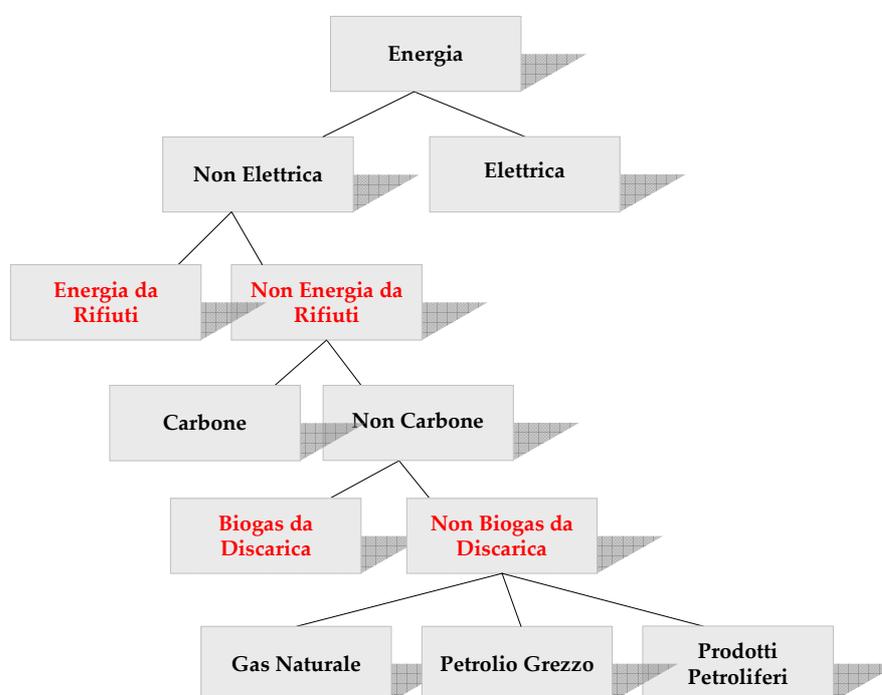


Fonte: traduzione italiana da Burniaux e Troung (2002)

Il nuovo albero produttivo di ICES è riportato in Figura 6.2. In esso sia termovalorizzazione che biogas da discarica vengono annoverati tra le fonti energetiche non elettriche⁵⁴. Queste in una prima ramificazione vengono suddivise in energia da rifiuti e da “altre fonti”. Le “altre fonti” vengono suddivise in carbone e “altro non carbone”. Quest’ultimo aggregato, in biogas da discarica e “altro non biogas”; infine “altro non biogas”, in gas naturale, greggio e prodotti petroliferi.

Si sottolinea che pur essendo gas a tutti gli effetti, il biogas da discarica non è qualitativamente simile al gas naturale usato comunemente negli impianti di combustione. Ne consegue una minore sostituibilità con greggio e prodotti petroliferi rispetto a quella del gas naturale. Questo giustifica la scelta di “posizionarlo” in un *nest* superiore. Per quanto riguarda l’energia prodotta dalla combustione dei rifiuti, seguendo Grosso e Rigamonti (2006), si ipotizza una certa sostituibilità tra rifiuti ed il paniere di tutti gli altri input energetici. Allo stesso tempo si ipotizza che sostituire carbone con rifiuti sia comunque più difficile che sostituire carbone con gli altri input energetici.

Figura 6.2 - Albero produttivo dell’input energia in ICES con termovalorizzazione e biogas da discarica



Riassumendo in breve le caratteristiche del modello al fine di comprenderne le potenzialità e i risultati, esso considera sia le relazioni internazionali che quelle intersettoriali. Ciascun settore, infatti, interagisce con tutti gli altri in quanto ogni variazione nei prezzi relativi indotta dalla comparsa/sviluppo di nuove tecnologie o da politiche ambientali rialloca fattori produttivi e domanda di beni e servizi nell’intero sistema per massimizzare il ritorno economico di produttori e consumatori.

Il modello è dinamico-ricorsivo: la crescita economica è determinata da un processo di investimento endogeno che incrementa la dotazione di capitale di ciascun Paese/regione.

⁵⁴ Appare opportuno ribadire i tre aspetti distinti: rifiuto da termovalorizzare e biogas da discarica producono energia che vendono al settore elettrico, tuttavia non sono input elettrici. Inoltre, contabilmente, il valore economico dell’attività di termovalorizzazione è incorporato nel valore della produzione di energia elettrica e da questo scorporato.

7

SCENARI DI RIFERIMENTO ED EFFETTI SULLA POLITICA DI MITIGAZIONE DELLA VALORIZZAZIONE ENERGETICA DEI RIFIUTI

7.1 Il contesto di riferimento

Un'efficace azione di riduzione delle emissioni inquinanti in atmosfera, data la natura globale degli impatti correlati, richiede un accordo che coinvolga i principali emettitori. Il Protocollo di Kyoto, entrato in vigore il 16 febbraio 2005, è finora lo strumento ufficiale che sancisce tali impegni per i firmatari nel periodo 2008-2012. L'Unione Europea ha un obiettivo di riduzione delle emissioni dell'8% rispetto al 1990 e l'Italia, attraverso il *Burden Sharing Agreement*, del 6,5%.

Per consentire il conseguimento dell'obiettivo in modo efficiente, parallelamente ai meccanismi di flessibilità di Kyoto (*Emission Trading*, *Joint Implementation* e *Clean Development Mechanism*), l'Unione Europea ha introdotto un sistema di scambio di permessi di emissioni di anidride carbonica tra alcuni settori produttivi dei Paesi Membri (EU-ETS)⁵⁵. Tale meccanismo è dal 2008 entrato nella seconda fase. Rispetto alla prima (2005-2007), criticata sia per aver definito obiettivi di abbattimento giudicati inadeguati sia per il meccanismo di allocazione – prevalentemente gratuito – utilizzato, la seconda prevede *target* di riduzione più impegnativi e una quota maggiore di permessi allocati secondo il criterio dell'asta (dal 5% al 10%).

Dal 2013 inizierà la terza fase del sistema EU-ETS, destinata a durare fino al 2020. Tra le principali novità, dovrebbe presentare la completa allocazione dei permessi attraverso il meccanismo dell'asta⁵⁶ e l'inclusione di nuovi settori soggetti al sistema *cap-and-trade* tra cui quello del trasporto aereo.

La terza fase dovrebbe condurre, unitamente ad altre politiche per i settori esclusi dal sistema di scambio di permessi ed ad adeguati incentivi allo sviluppo delle fonti rinnovabili e al conseguimento degli obiettivi della strategia conosciuta come "20-20-20".

In linea con le recenti analisi⁵⁷ che individuano in un aumento della temperatura di 2° C rispetto al periodo pre-industriale il massimo accettabile, superato il quale i cambiamenti climatici potrebbero portare a conseguenze catastrofiche e irreversibili, l'Unione Europea si è impegnata al raggiungimento dei seguenti *target*⁵⁸:

⁵⁵ Direttiva 2003/87/CE.

⁵⁶ Ad eccezione dei settori che dimostrino di essere soggetti a *carbon leakage*.

⁵⁷ 4° Rapporto di Valutazione del Panel Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (<http://www.ipcc.ch/>), Rapporto Stern (http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm).

⁵⁸ Già a partire dal seguente documento: Commissione Europea, (2005), *Vincere la battaglia contro i cambiamenti climatici* Comunicazione della Commissione al Consiglio, al Parlamento Europeo, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni, COM(2005) 35.

- 20% di riduzione delle emissioni di gas-serra nel 2020 rispetto al 1990 (oppure riduzione delle emissioni del 21% rispetto al 2005 per i settori EU-ETS, e *target* differenziati per gli altri settori; per l'Italia questi sono stati quantificati nel 13%).
- Aumento al 20% della quota di energia da rinnovabili sul complessivo mix energetico (per l'Italia questo richiederebbe un aumento dal 5,2% nel 2005 al 17% nel 2020).
- 20% di aumento dell'efficienza energetica⁵⁹.

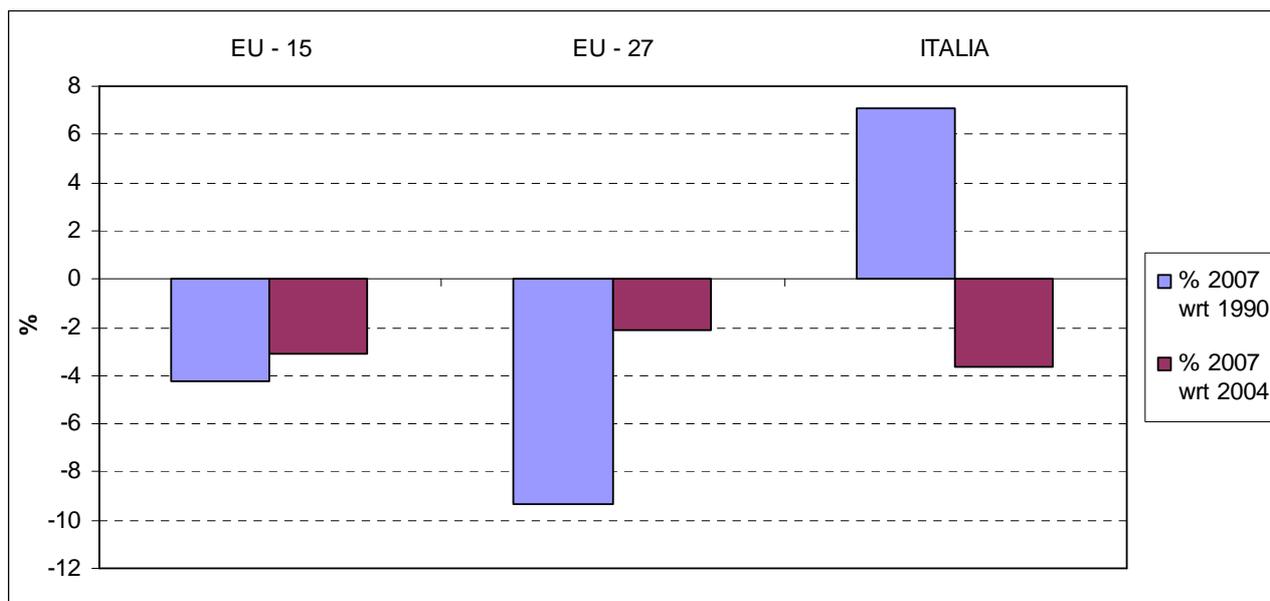
Uno sguardo al recente passato mostra come dal 1990 le emissioni di gas-serra a livello europeo siano effettivamente diminuite in modo sensibile (del 4% considerando l'EU-15 e quasi del 10% considerando l'EU-27; si veda la Figura 7.1). Questo risultato positivo è però attribuibile principalmente a fattori non direttamente legati alle politiche di mitigazione: la ristrutturazione dei settori industriali ed energetici dei nuovi Paesi Membri; il processo di liberalizzazione dei mercati energetici; più recentemente, la crisi economica, particolarmente acuta negli ultimi anni, ma già sensibile dal 2001. L'Italia poi è uno dei Paesi in controtendenza: rispetto al 1990 ha visto aumentare del 7% le sue emissioni, anche se la crisi economica ha interrotto il *trend* crescente negli ultimi tre anni (Figura 7.1). Anche le emissioni del settore energetico sono aumentate a livello EU-15 e in Italia hanno fatto registrare un incremento superiore al 15% nel periodo 1990-2007 (Figura 7.2).

Alla luce dei *trend* attuali, sembra pertanto prefigurarsi un notevole impegno per l'Italia al fine di raggiungere gli obiettivi di riduzione stabiliti. Bisognerà intervenire necessariamente su più aspetti: incremento dell'efficienza energetica delle tecnologie esistenti, modifiche strutturali in alcuni comparti del settore energetico, sviluppo di tecnologie innovative.

In questo contesto che impone azioni al più ampio spettro possibile, anche le tecnologie di valorizzazione dei rifiuti possono giocare un ruolo, pur essendo "residuali" nel contesto energetico e di conseguenza anche in termini di emissione.

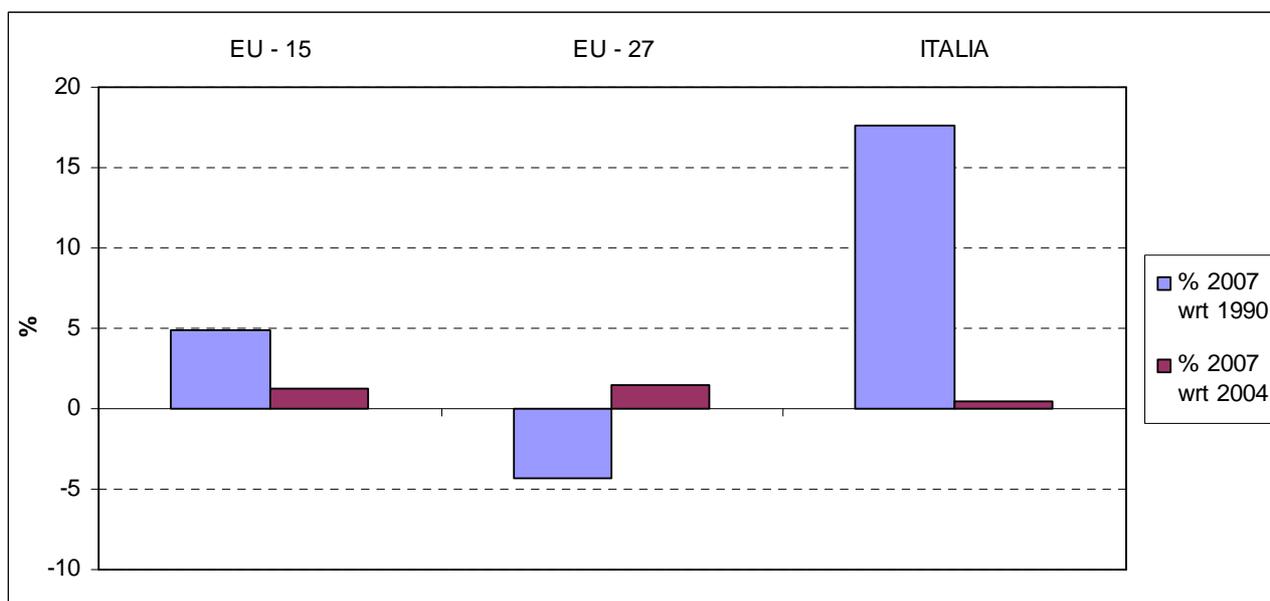
⁵⁹ Si veda in generale sul sito dell'Unione Europea: http://ec.europa.eu/climateaction/index_it.htm.

Figura 7.1 - Variazione emissioni gas-serra – totale



Fonte: Agenzia Europea dell'Ambiente – Greenhouse gas Data Viewer

Figura 7.2 - Variazione emissioni gas-serra – settore energetico



Fonte: Agenzia Europea dell'Ambiente – Greenhouse gas Data Viewer

In Italia la termovalorizzazione, con un'intensità di emissione comparabile a quella del gas naturale, contribuisce per lo 0,58% al totale di CO₂ emessa (o l'1,88% del totale delle emissioni nel processo di generazione di energia elettrica (Ispra, 2009))⁶⁰. Il biogas invece viene considerato convenzionalmente una fonte energetica "pulita", in quanto le emissioni di CO₂ legate ai processi di produzione di energia elettrica da questa fonte, come da tutte le altre biomasse, sono ritenute di origine organica per cui non sono contabilizzate nelle statistiche delle emissioni (IPCC, 2007)⁶¹. Tuttavia, alcune loro caratteristiche – l'abbondante disponibilità di materiale di rifiuto; la maturità e competitività delle tecnologie stesse; il più contenuto rilascio di emissioni rispetto alle tecnologie di produzione di energia elettrica basate su carbone, greggio e prodotti petroliferi, e l'assenza dei limiti "fisici" comuni alle altre fonti di energie rinnovabili (per esempio l'intermittenza della produzione di energia del solare e dell'eolico) – le rendono particolarmente "utili" al raggiungimento degli obiettivi di mitigazione prefissi.

7.2 Sviluppo ed analisi degli scenari di riferimento

Per tenere conto dell'incertezza nelle dinamiche future, vengono proposti due scenari di riferimento: uno scenario "ottimistico" e uno più conservativo o "prudenziale".

Nello **scenario ottimistico** l'economia italiana e quella europea crescono nel periodo di riferimento (2007-2020) del 2,8% e del 2,5% l'anno rispettivamente (Figura 7.3). Le emissioni in Italia aumentano dello 0,5% annuo (vedi Figura 7.4).

La produzione di energia da termovalorizzazione e biogas cresce ad un tasso annuo dell'1,27% e dello 0,75% rispettivamente (Figure 7.5 e 7.6). Questo incremento è ritenuto compatibile con lo sviluppo del fabbisogno energetico nazionale previsto (0,64% su base annua) e all'andamento di lungo periodo dei prezzi dei combustibili fossili che rendono relativamente più conveniente il ricorso a fonti alternative.

Nello **scenario "prudenziale"** la crescita annuale del PIL è circa dell'1,4% e dell'1,2% per Italia e Europa rispettivamente (Figura 7.3). Le emissioni in Italia crescono dello 0,3% annuo (Figura 7.4). La termovalorizzazione cresce dello 0,88% su base annua, mentre il biogas decresce leggermente – 0,2% annuo (Figure 7.5 e 7.6) – incorporando l'ipotesi di un ridotto ricorso all'opzione gestionale del conferimento in discarica.

In entrambi gli scenari, si ipotizza che il prezzo del petrolio raddoppi nel periodo considerato (anche se nello scenario prudenziale l'aumento è leggermente inferiore).

⁶⁰ Le emissioni di gas-serra complessivamente collegate alla gestione dei rifiuti sono molto più elevate: ammontano a circa 18,7 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente nel 2006.

⁶¹ Va peraltro notato che il grande vantaggio della captazione di biogas e conseguente uso a scopi energetici, in termini di contributo alla mitigazione dei cambiamenti climatici, consiste nell'evitare di immettere in atmosfera metano (CH₄), gas-serra con un potenziale di riscaldamento globale molto più alto della CO₂ e che rappresenta il maggior problema ambientale della gestione dei rifiuti.

Figura 7.3 - Andamento storico e proiezioni PIL italiano per gli scenari "ottimistico" e "prudenziale" (a sinistra) e confronto dei tassi di crescita stimati nel periodo 2005-2020 con altre fonti (a destra)

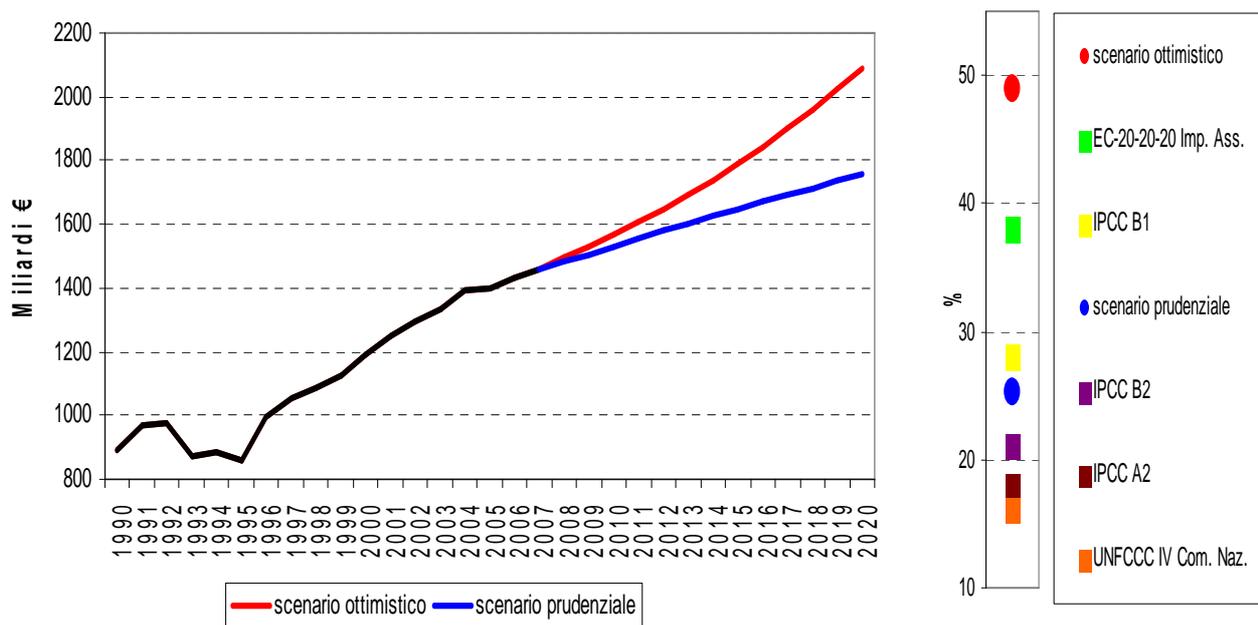


Figura 7.4 - Andamento storico e proiezioni emissioni CO₂ in Italia per gli scenari "ottimistico" e "prudenziale"

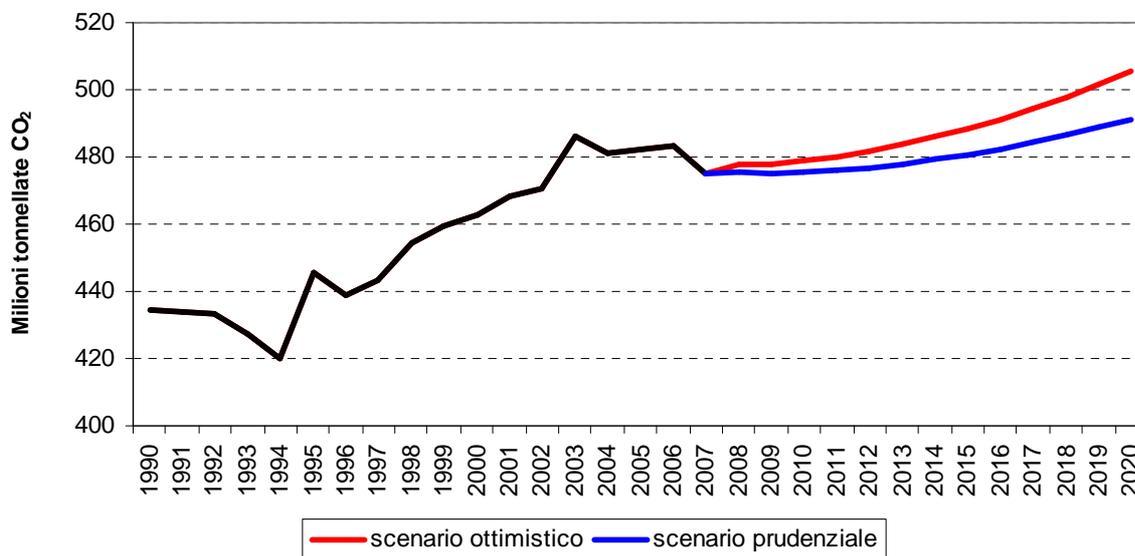


Figura 7.5 - Andamento storico e proiezioni del contributo energetico della termovalorizzazione alla produzione di energia elettrica in Italia: valori assoluti (a sinistra), variazione % 2007-2020 (al centro) e variazione % annua (a destra)

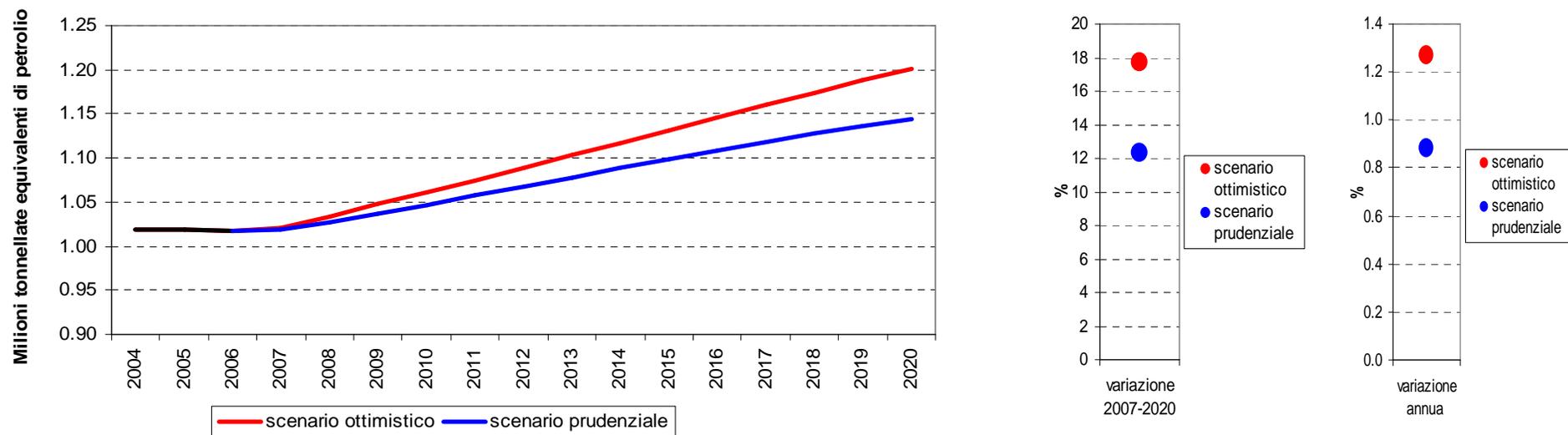
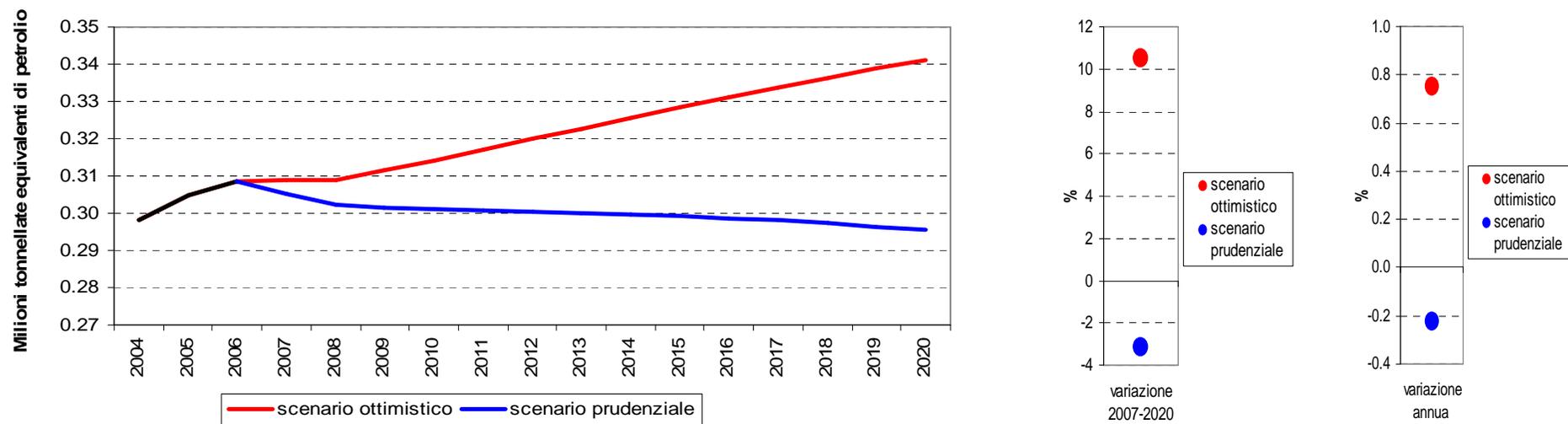


Figura 7.6 - Andamento storico e proiezioni del contributo energetico del biogas alla produzione di energia elettrica in Italia: valori assoluti (a sinistra), variazione % 2007-2020 (al centro) e variazione % annua (a destra)



Il mix degli input energetici del settore elettrico nel periodo considerato si modifica in entrambi gli scenari solo marginalmente (Figura 7.7)⁶²: la termovalorizzazione passa dall'1,9% sul totale nel 2007 al 2,1% nel 2020 nello scenario ottimistico e al 2,0% in quello prudentiale; il biogas rimane pressoché costante attorno allo 0,6% sul totale in entrambi gli scenari.

Figura 7.7 - Composizione energetica della domanda del settore elettrico in Italia – scenario prudentiale

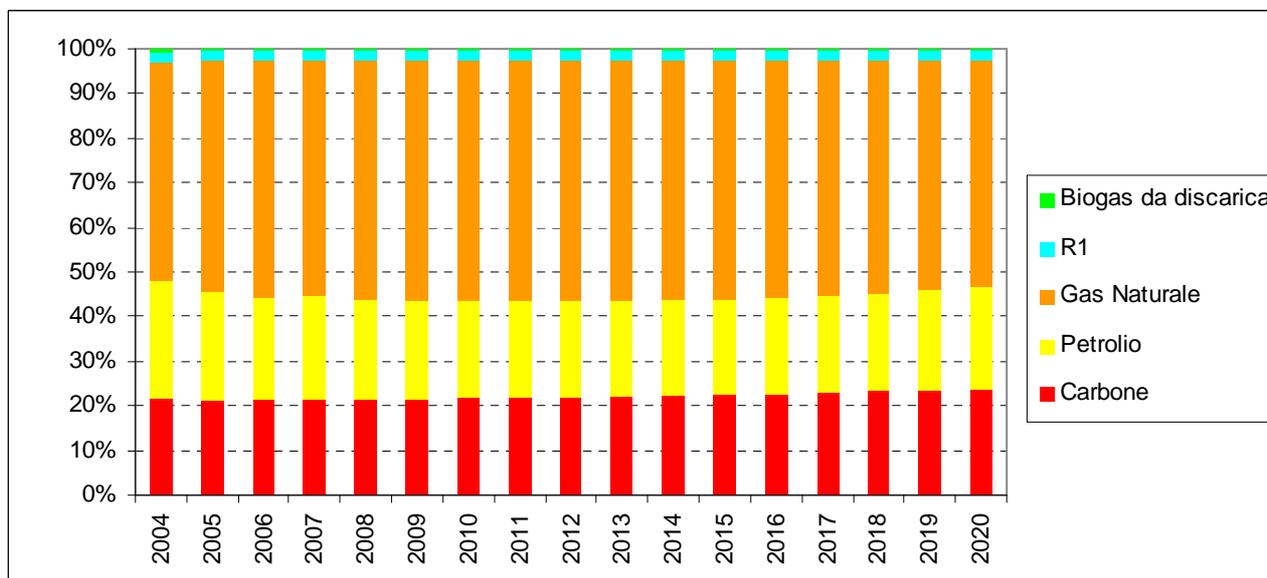
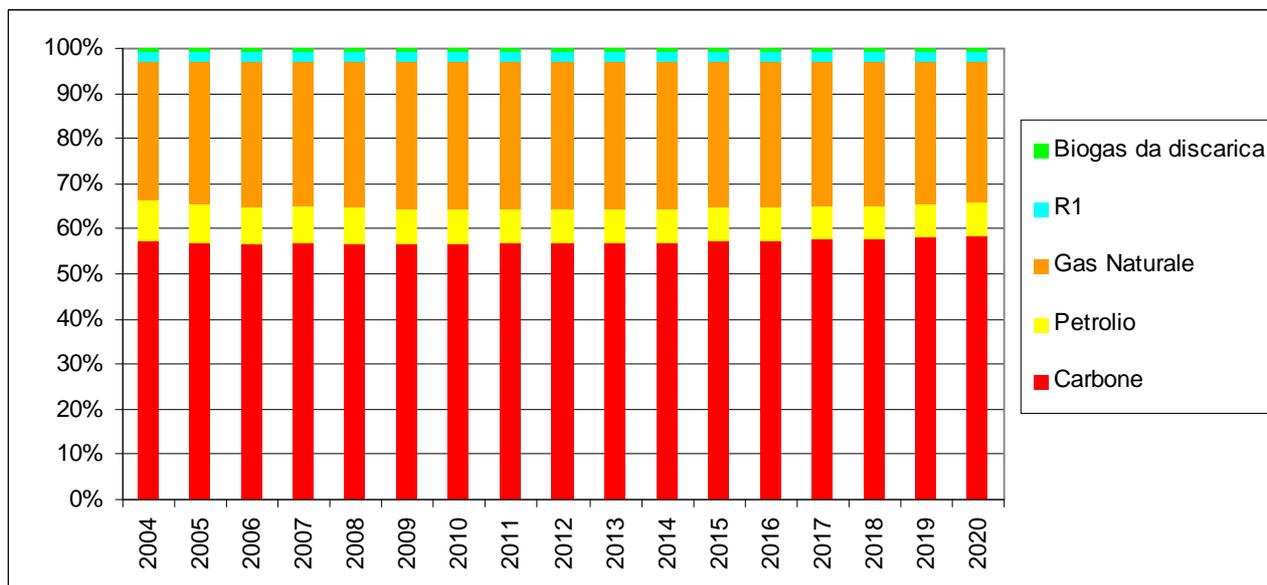


Figura 7.8 - Composizione energetica della domanda del settore elettrico in EU-27 – scenario prudentiale



Questo comportamento risulta in linea con il *trend* medio europeo (Figura 7.8) che, però, rispetto all'Italia evidenzia un maggior impiego di carbone tra i combustibili fossili (relativamente più importante tra i Paesi dell'Europa dell'Est e in Germania) e un minor ricorso al gas naturale. La

⁶² Per brevità si riportano graficamente solo i valori relativi allo scenario prudentiale. Quelli dello scenario ottimistico sono qualitativamente molto simili.

media europea comprende, com'è ovvio, situazioni altamente differenziate a livello nazionale. Questo grado di dettaglio esula però dagli obiettivi della presente trattazione.

7.3 Termovalorizzazione e biogas nel contesto di una politica di mitigazione: implicazioni per il mix produttivo del settore elettrico

Per entrambi gli scenari ipotizzati, sono state analizzate le implicazioni di una politica di mitigazione in cui si ipotizza che l'Europa consegua una riduzione delle emissioni di CO₂ del 20% rispetto al 1990 nel 2020. Tale politica viene implementata in modo efficiente (al minimo costo) attraverso il funzionamento di un mercato europeo per lo scambio dei permessi di emissione che consente la migliore allocazione possibile dello sforzo di abbattimento tra Paesi e settori. Visto che la normativa europea al momento non contempla la possibilità che termovalorizzazione e produzione di elettricità da biogas vengano incluse nel mercato dei permessi, anche il presente studio esclude che venga loro imposto uno specifico obiettivo di riduzione delle emissioni. Entrambi i settori, però, sono coinvolti indirettamente dalla politica di mitigazione in quanto parte del mix produttivo del settore elettrico e possibili sostituti delle altre fonti energetiche.

La riduzione del 20% delle emissioni di CO₂ rispetto al 1990 nell'Unione Europea si traduce, per l'Italia, in un contenimento efficiente delle emissioni nel 2020 del -18,9% e -16,1% rispetto al tendenziale (del -5,6% e -5,1% rispetto al '90) nello scenario ottimistico e in quello prudentiale, rispettivamente (Figura 7.9). Il prezzo del carbonio sul mercato europeo dei permessi si attesta nel 2020 a circa 47 e 39 € nei due casi, mentre il costo di implementazione della politica in Italia si può quantificare in circa 1,1% e 0,9% del PIL (Figura 7.10). È interessante notare come i costi della politica di mitigazione, se distribuiti in modo efficiente, siano leggermente più bassi per l'Italia rispetto alla media europea.

Figura 7.9 - Impatto sulle emissioni della politica di mitigazione nel 2020
(variazione % rispetto agli scenari di riferimento)

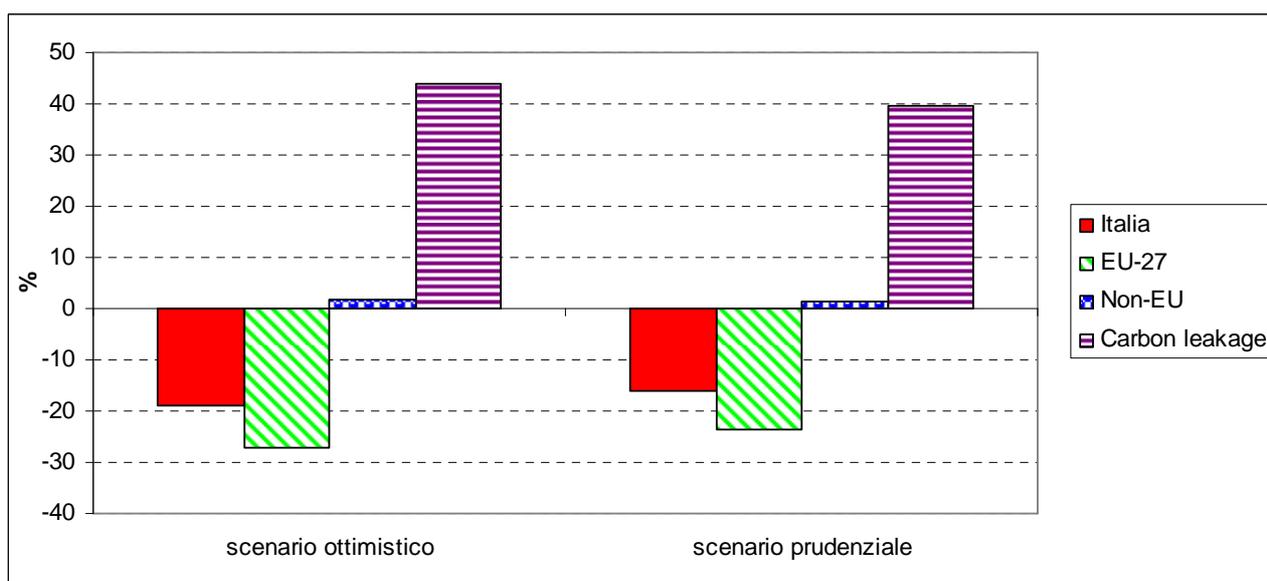
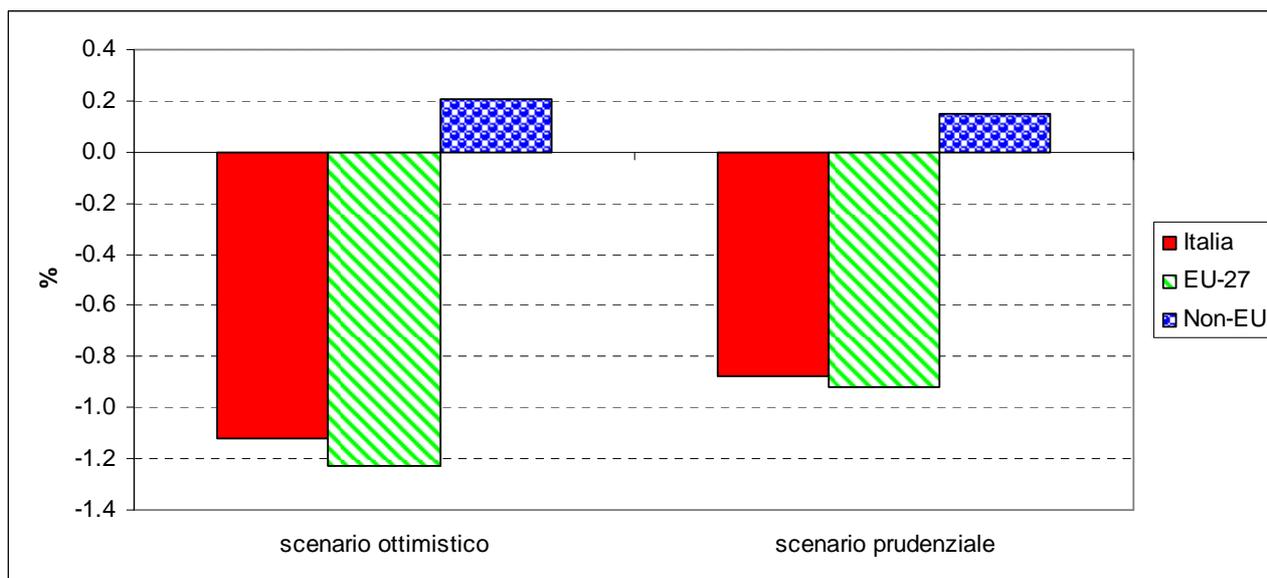


Figura 7.10 - Impatto sul PIL della politica di mitigazione nel 2020
(variazione % rispetto agli scenari di riferimento)

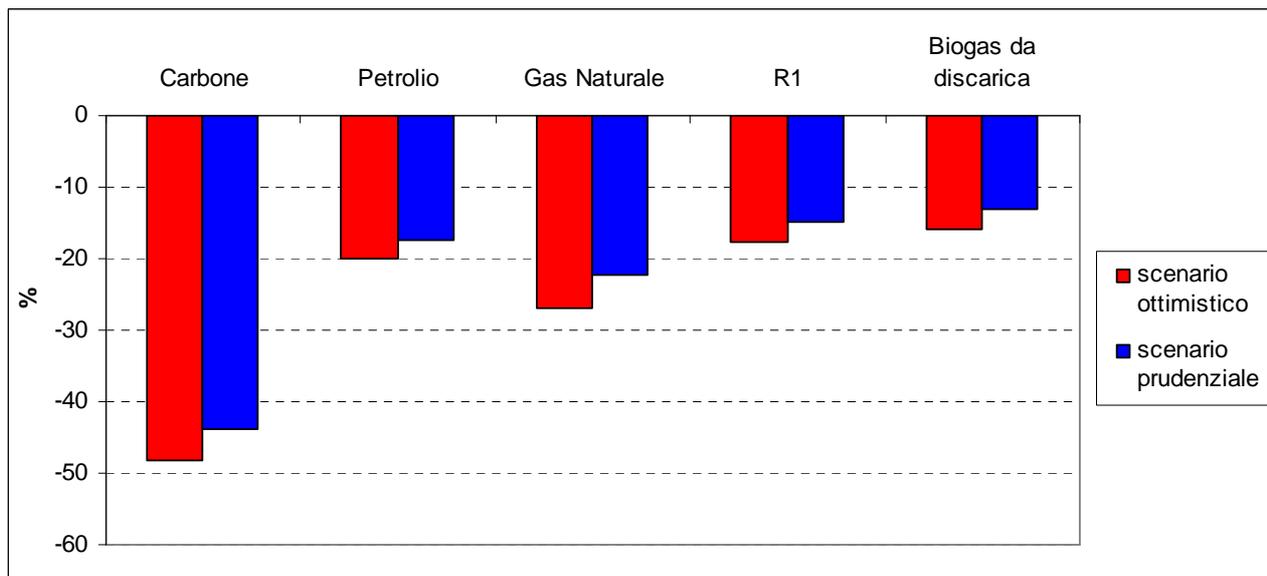


Inoltre, nell'aggregato Non-EU, che include tutti i Paesi che non partecipano alla politica di contenimento delle emissioni, il PIL aumenta, seppure in modo contenuto (0,2% e 0,1%). Questo è il ben noto "effetto *leakage*": i beni nei Paesi in cui la legislazione ambientale è meno stringente possono essere prodotti con costi più bassi, diventano più competitivi sul mercato internazionale, per cui la loro domanda aumenta con conseguente vantaggio per i Paesi esportatori. Questo effetto vanifica parzialmente l'efficacia della politica di mitigazione europea (Figura 7.9): nel 2020 a fronte dei 1.319 e 1.096 milioni di tonnellate di CO₂ ridotte dall'Europa, il "resto del mondo" aumenta le sue emissioni di 579 e 436 milioni di tonnellate, con un *leakage* di circa il 40%. Bisogna sottolineare che un *leakage* così elevato deriva dall'ipotesi particolarmente pessimista adottata, secondo cui nessuno dei Paesi non europei è disposto ad accettare alcun tipo di impegno alla riduzione delle emissioni.

In seguito alla politica di mitigazione, la domanda totale di energia in Italia si riduce (-16,1% e -13,7% rispettivamente nello scenario ottimistico e prudente); lo stesso accade per la domanda di elettricità (-26,1% e -22,7% nei due scenari) e di conseguenza anche delle fonti energetiche necessarie alla sua produzione (Figura 7.11). La contrazione della domanda colpisce maggiormente le fonti più inquinanti: carbone (-48,1% e -43,8%), petrolio (-20% e -17,4%), gas naturale (-26,8% e -22,4%).

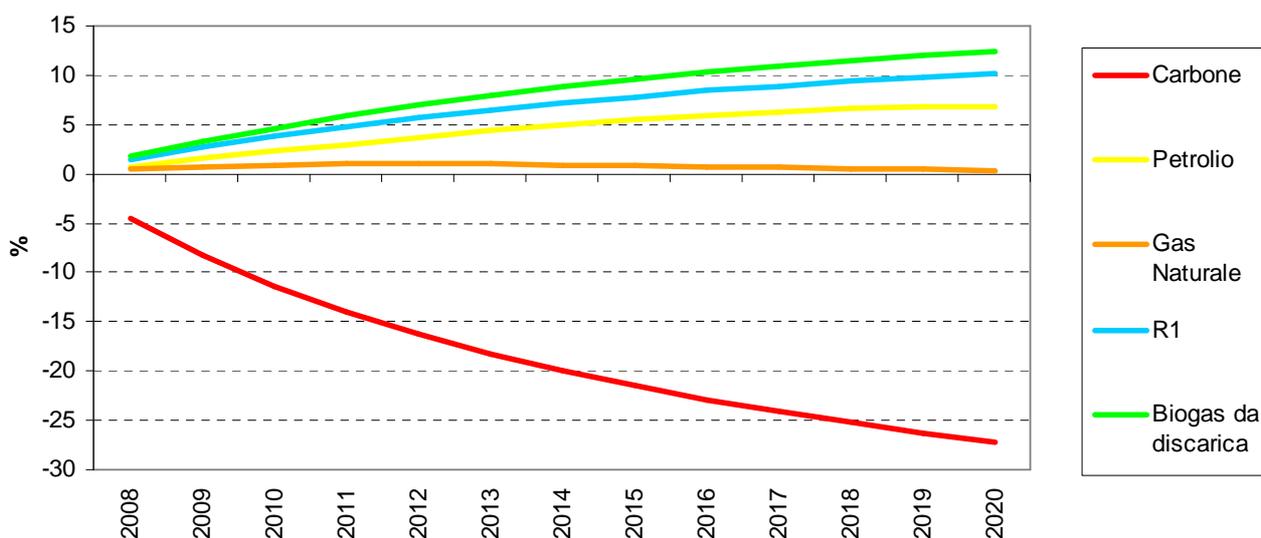
È interessante sottolineare che, seppure termovalorizzazione e biogas non vengano coinvolti direttamente nello sforzo di mitigazione e il biogas in particolare sia assimilato ad un fattore produttivo "pulito", la domanda di entrambi si riduce (-17,7% e -14,8% per il primo e -15,8% e -13% per il secondo). In questo caso l'effetto "aggregato" di riduzione di domanda complessiva predomina sull'effetto di sostituzione tra gli input energetici.

Figura 7.11 - Impatto sulla domanda di fonti energetiche da parte del settore elettrico, in Italia nel 2020 della politica di mitigazione (variazione % rispetto agli scenari di riferimento)



Il nuovo mix degli input energetici del settore elettrico vede comunque un aumento delle quote di termovalorizzazione e biogas (si ricorda comunque il basso apporto in valori assoluti), una sostanziale stabilità del contributo del gas naturale e una chiara sostituzione tra carbone e petrolio (Figura 7.12)⁶³.

Figura 7.12 - Impatto sulla composizione energetica della domanda del settore elettrico in Italia della politica di mitigazione (variazione % delle share)



⁶³ Ancora una volta per brevità si riportano graficamente solo i risultati relativi allo scenario prudenziale. Quelli dello scenario ottimistico sono qualitativamente molto simili.

7.4 Termovalorizzazione e biogas nel contesto di una politica di mitigazione: implicazioni per i costi di implementazione (“valore d’opzione”)

Ma qual è l’impatto della produzione energetica da rifiuti e da biogas sui costi della politica di mitigazione? In altri termini, ci si chiede se e quanto la presenza nel portafoglio tecnologico di termovalorizzazione e biogas renda più agevole il conseguimento degli obiettivi di mitigazione. Un modo per valutarlo consiste nel confrontare i costi della politica di mitigazione con quelli della stessa politica, ipotizzando però che i sistemi produttivi dei Paesi che vi aderiscono non possano avvalersi appieno delle due tecnologie produttive. La differenza tra i costi nei due casi consente di determinare il loro “valore di opzione”. L’esercizio si traduce nel concreto nell’imporre gli stessi obiettivi di *policy*, ma “bloccando” il ricorso a termovalorizzazione e biogas al livello dei due scenari di riferimento. In linea di massima ci si può attendere che più una fonte energetica e l’associata tecnologia siano rilevanti nella produzione di energia, tanto più importante sia il loro ruolo in una politica di mitigazione e quindi il rispettivo valore d’opzione.

La Tabella 7.1 mostra come per la termovalorizzazione tale valore non sia trascurabile in termini assoluti: 122 e 87 milioni di Euro su base annua nello scenario ottimistico e prudenziale rispettivamente. È tuttavia piccolo se paragonato ai costi complessivi in termini di PIL della politica ambientale, dato che ne copre circa l’1%. È inoltre inferiore a quello del gas naturale, ma ciò è dovuto all’importante ruolo di quest’ultimo come fonte di energia primaria e nel processo di generazione di elettricità. Se però le due opzioni venissero comparate a parità di contributo energetico – se cioè il ricorso al gas naturale venisse bloccato per una quota parte pari alla generazione energetica della termovalorizzazione – quest’ultima presenterebbe valori d’opzione maggiori. Il beneficio offerto dal biogas invece è estremamente più contenuto (0,3 e 0,1 milioni di euro su base annua); ciò è dovuto al suo ruolo del tutto marginale alla generazione di energia elettrica.

Tabella 7.1 - Valori d’opzione (milioni di € 2009) associati a diverse tecnologie nel contesto della politica di riduzione delle emissioni di CO₂ del 20% rispetto al 1990 nel 2020: Italia

	Sul periodo 2007-2020 (tds 3%)		Annualizzato	
	Scenario Ottimistico	Scenario Prudenziale	Scenario Ottimistico	Scenario Prudenziale
Termovalorizzazione	1.269	907	122	87
Biogas	3	1	0,3	0,1
Gas naturale (a “equivalente energetico” trm.val.)	905	440	90	45
Gas naturale*	29.962	20.702	2.889	1.984

Le Tabelle 7.2 e 7.3 offrono alcuni confronti con la situazione europea. Il valore d'opzione per termovalorizzazione e biogas in Italia risulta più alto rispetto alla media EU-27, testimoniando il maggior ruolo nel nostro Paese di queste due fonti nel mix energetico elettrico soprattutto se confrontato con quanto avviene nei Paesi nuovi Membri. È invece inferiore, anche se comparabile, rispetto alla media calcolata su Francia, Germania, Spagna e Regno Unito, scelti come rappresentativi di sistemi economico-produttivi più simili al nostro, in cui però sia termovalorizzazione che biogas sono più sviluppati.

Tabella 7.2 - Valori d'opzione (milioni di € 2009) associati a diverse tecnologie nel contesto della politica di riduzione delle emissioni di CO₂ del 20% rispetto al 1990 nel 2020: media EU-27

	Sul periodo 2007-2020 (tds 3%)		Annualizzato	
	Scenario Ottimistico	Scenario Prudenziale	Scenario Ottimistico	Scenario Prudenziale
Termovalorizzazione	513	364	49	35
Biogas	1,5	1,2	0,15	0,12
Gas naturale (a "equivalente energetico" trm.val.)	368	228	36	23
Gas naturale*	8.427	5.778	811	553

Tabella 7.3 - Valori d'opzione (milioni di € 2009) associati a diverse tecnologie nel contesto della politica di riduzione delle emissioni di CO₂ del 20% rispetto al 1990 nel 2020: media Francia, Germania, Spagna, Regno Unito.

	Sul periodo 2007-2020 (tds 3%)		Annualizzato	
	Scenario Ottimistico	Scenario Prudenziale	Scenario Ottimistico	Scenario Prudenziale
Termovalorizzazione	1.933	1.410	184	134
Biogas	8	6	0,8	0,6
Gas naturale (a "equivalente energetico" trm.val.)	1.366	895	134	88
Gas naturale*	27.030	18.983	2.598	1.815

* calcolato solo per il settore elettrico

8.

CONCLUSIONI

La presente ricerca ha proposto un'analisi di equilibrio economico generale per valutare l'impatto macroeconomico di termovalorizzazione e biogas sulla produzione di energia elettrica ed il loro potenziale ruolo nell'ambito della strategia di mitigazione dell'Unione Europea che prevede, tra gli altri obiettivi, l'abbattimento delle emissioni di gas-serra del 20% rispetto al 1990.

L'approccio metodologico adottato ha consentito di analizzare il problema considerando le dinamiche di domanda e offerta nel mercato energetico nazionale, l'andamento generale del ciclo economico e di tutti gli altri mercati, sia nazionali che esteri, che direttamente o indirettamente ne forniscono input o domandano output. Questi sono elementi essenziali nel determinare costi ed efficacia di qualsivoglia politica di mitigazione che risulta essere fortemente condizionata dal numero e dalla struttura tecnologico-economico-produttiva sia dei Paesi che decidono di aderirvi che di quelli che invece non vi partecipano.

Il dato storico evidenzia come in Italia le emissioni da rifiuti siano aumentate leggermente (3%) dal 1990. Queste derivano essenzialmente dal conferimento in discarica e sono costituite per quasi il 90% da metano. Nel 2006 l'energia generata impiegando rifiuti ha soddisfatto il 2,5% del fabbisogno nazionale del settore elettrico. Questa quota piuttosto limitata potrebbe in linea teorica crescere se si sfruttasse maggiormente il potenziale energetico dei materiali che entrano nel ciclo di gestione dei rifiuti.

Le discariche italiane non sono dotate di impianti di captazione del biogas nella totalità dei casi considerati, in quanto il periodo transitorio entro il quale effettuare l'adeguamento dei siti esistenti previsto dal D.Lgs. 36/2003 e s.m.i.⁶⁴ è finito a luglio 2009). Le discariche sono, peraltro, soggette a episodi di fuoriuscita di percolato con conseguente inquinamento delle falde acquifere nei casi di impermeabilizzazione inefficiente. Il conferimento in discarica è pertanto da considerarsi come l'ultima e peggiore opzione possibile, mentre le alternative – dalla riduzione della produzione del rifiuto, al riciclo ed infine al recupero energetico – sono da preferirsi.

Dalle simulazioni effettuate, è ragionevole ritenere che, nel prossimo futuro, termovalorizzazione e biogas continuino comunque a costituire una quota minoritaria degli input energetici del settore elettrico (circa 2% per termovalorizzazione, e 0,6% per biogas al 2020). Mentre, però, la termovalorizzazione potrebbe evidenziare dei trend di crescita interessanti (18% o 12% nel periodo 2007-2020), la captazione da biogas – in particolare in uno scenario di crescita economica contenuta e di sempre minor ricorso al conferimento in discarica – potrebbe ridursi gradualmente (- 3,2% nel periodo 2007-2020).

⁶⁴ Decreto legislativo 13 gennaio 2003, n. 36 "Attuazione della Direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti".

Una politica di mitigazione in ambito europeo volta alla riduzione delle emissioni di CO₂ nel 2020 del 20% rispetto al 1990 costerebbe all'Italia dallo 0,9% all'1,1% del PIL (nel 2020), nel caso di un'azione unilaterale europea e di distribuzione ottimale dello sforzo di abbattimento tra Paesi e settori conseguito mediante un sistema di permessi negoziabili. L'effetto *leakage* sarebbe particolarmente elevato: 40% nel 2020 in termini di emissioni e circa uno 0,2% di incremento del PIL nell'aggregato Non-EU i cui prodotti divengono maggiormente competitivi.

In presenza della politica di mitigazione, seppure termovalorizzazione e biogas non vengano coinvolti direttamente nello sforzo di abbattimento e il biogas in particolare sia assimilato ad un fattore produttivo "pulito", la domanda di entrambi si riduce (-17,7% e -14,8% per il primo e -15,8% e -13% per il secondo). L'effetto aggregato di riduzione di domanda complessiva indotto dalla politica predomina, quindi, sull'effetto di sostituzione tra gli input energetici.

Pur in un quadro di marginalità, soprattutto la termovalorizzazione può giocare un ruolo in questo contesto. La possibilità di termovalorizzare e quindi di disporre di un'opzione aggiuntiva per la generazione di energia elettrica consente un risparmio pari a circa l'1% dei costi totali della politica di mitigazione (a loro volta circa l'1% del PIL nazionale) ovvero, in termini assoluti, circa 87-122 milioni di euro di minori costi su base annua.

A conclusione si evidenzia come la termovalorizzazione offra pertanto una possibilità di utilizzo efficiente per quei rifiuti che una volta prodotti, per diverse ragioni non vengono avviati al recupero di materia, portando degli indubbi benefici per l'ambiente e per il sistema economico nel suo complesso rispetto al conferimento in discarica.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AIE - Agenzia Internazionale dell'Energia (2009a), *Energy Balances of OECD countries – Extended Balances*.
- AIE - Agenzia Internazionale dell'Energia (2009b), *Energy Balances of Non-OECD countries – Extended Balances*.
- Burniaux J.-M. and Truong T.P. (2002), "GTAP-E: An energy environmental version of the GTAP model", *GTAP Technical Paper n.16*.
- Consonni S., Giugliano M. and Grosso M., (2005), "Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste. Part B: emission and cost estimates", *Waste Management*, 25, pp. 137-148.
- Eboli F., Parrado R. and Roson R. (2009), "Climate Change Feedback on Economic Growth: Explorations with a Dynamic General Equilibrium Model", *CMCC Research Paper N. 0064*, <http://www.cmcc.it/pubblicazioni/pubblicazioni/research-papers/rp0064-cip-02-2009>
- EC - European Commission (2007), *Limiting Global Climate Change to 2 degrees Celsius. The way ahead for 2020 and beyond*, COM/2007/2.
- EEA - European Environment Agency (2008), EEA Briefing 2008-01 "Better management of municipal waste will reduce greenhouse gas emissions", <http://www.eea.europa.eu>
- ENEA (2009), Rapporto sul recupero energetico da rifiuti urbani in Italia, <http://www.enea.it>
- ENEA (2006), Recupero energetico da rifiuti urbani, <http://www.enea.it>
- EP - European Parliament (2008), *Directive 2008/98/EC*.
- EUROSERVER (2009), *Interactive EUROSERVER Database*, <http://www.euroserver.org/>
- European IPPC Bureau - Integrated Integrated Pollution Prevention and Control (2006a), *Waste Incineration, Best Available Techniques Reference Documents*, <http://eippcb.jrc.es>
- European IPPC Bureau - Integrated Integrated Pollution Prevention and Control (2006b), *Waste Treatments Industries, Best Available Techniques Reference Documents*, <http://eippcb.jrc.es>
- Eurostat, Environmental Data Centre, <http://ec.europa.eu/eurostat>
- Grosso M. e Rigamonti L., (2006), "Bilancio delle Emissioni Climalteranti dai Processi di Recupero Energetico dei Rifiuti", *Rifiuti Solidi*, XX: 22-30.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2006), *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2007), *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*, <http://www.ipcc.ch>
- Ispra - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2009), *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2007- National Inventory Report 2009*, <http://unfccc.int>
- Istat - Istituto nazionale di statistica (2008), *Spese dell'Italia per la gestione dei rifiuti, delle acque reflue e delle risorse idriche. Anni 1997-2007*, <http://www.istat.it>
- UN - United Nations (2002), *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities - ISIC Rev.3.1*, <http://unstats.un.org/unsd/statcom/doc02/isic.pdf>
- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (1997), *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>