



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

# Strategie per l'abbattimento delle emissioni di ossidi di azoto (NOx): analisi curve dei costi settoriali al 2010 e strumenti di policy

RAPPORTI





**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

# Strategie per l'abbattimento delle emissioni di ossidi di azoto ( $NO_x$ ): analisi curve dei costi settoriali al 2010 e strumenti di *policy*

---

Mario Contaldi, Ilaria D'Elia, Francesco Gracevea, Francesca Rizzitiello

---

## **Informazioni legali**

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

**ISPRA** – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale  
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma  
[www.isprambiente.it](http://www.isprambiente.it)

ISPRA, Rapporti 102/2009

ISBN 978-88-448-0403-9

Riproduzione autorizzata citando la fonte

## **Elaborazione grafica**

ISPRA

*Grafica di copertina:* Franco Iozzoli

*Foto di copertina:* Paolo Orlandi

## **Coordinamento tipografico:**

Daria Mazzella

**ISPRA** - Settore Editoria

## **Amministrazione:**

Olimpia Girolamo

**ISPRA** - Settore Editoria

## **Distribuzione:**

Michelina Porcarelli

**ISPRA** - Settore Editoria

## **Impaginazione e Stampa**

Tipolitografia CSR - Via di Pietralata, 157 - 00158 Roma

Tel. 064182113 (r.a.) - Fax 064506671

Finito di stampare novembre 2009

---

## **Autori**

Mario Contaldi\*, Ilaria D'Elia\*\*, Francesco Gracceva\*\*, Francesca Rizzitiello\*

\*ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

\*\* ENEA - Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente

Pur essendo il lavoro frutto di una ricerca comune, l'introduzione e il capitolo 6 devono essere attribuiti a Mario Contaldi, i capitoli 1 e 5 a Francesco Gracceva, il capitolo 2 a Francesca Rizzitiello, i capitoli 3 e 4 ad Ilaria D'Elia .

*Contatti:* Mario Contaldi  
telefono +39 06/5007.2539  
fax +39 06/5007.2657  
e-mail [mario.contaldi@isprambiente.it](mailto:mario.contaldi@isprambiente.it)

ISPRA- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale  
Dipartimento Ambiente  
Servizio Monitoraggio e prevenzione degli impatti sull'atmosfera  
Settore Scenari di emissione, modelli integrati e indicatori  
Via V. Brancati, 48  
00144 Roma  
Italia



---

## INDICE

<b>Introduzione</b> .....	1
<b>1. Curve dei costi a livello settoriale</b> .....	3
<b>2. Tecnologie di abbattimento con maggiori potenzialità</b> .....	13
<b>3. Tecnologie con costi di abbattimento contenuti, &lt;1000 euro/t</b> .....	21
<b>4. Risultati analisi settoriale e tecnologica</b> .....	25
<b>5. Strumenti di <i>policy</i> per la riduzione delle emissioni di NO<sub>x</sub></b> .....	29
<b>6. Conclusioni</b> .....	33
<b>Appendice 1:</b>	
Potenzialità di riduzione delle emissioni di ossido di azoto nei vari settori al 2010 .....	35
<b>Appendice 2:</b>	
Legenda .....	37



---

# Introduzione

Le analisi che si presentano in questo documento sono basate sulla curva nazionale dei costi per gli Ossidi di Azoto ( $\text{NO}_x$ ) all'anno 2010 calcolata con il modello Rains-Italia<sup>1</sup>, relativamente allo scenario dei consumi energetici utilizzato come base per l'armonizzazione degli inventari regionali.

## *Il modello Rains-Italia*

Il modello Rains-Italia rappresenta la versione italiana del modello Rains-Europa<sup>2</sup> ed è stato sviluppato congiuntamente da ENEA, IIASA ed ARIANET. Il modello Rains-Italia stima gli scenari emissivi per  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , NMCOV,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{PM}_{10}$  e  $\text{PM}_{2.5}$  a partire dai dati di uno scenario energetico, di uno scenario dei livelli delle attività antropogeniche, e dell'insieme delle tecnologie di abbattimento. Il modello è strutturato secondo tre moduli<sup>3</sup>:

- a) il modulo emissione-costo (EMCO) per la stima delle emissioni e dei costi delle misure di riduzione (un modulo per ogni inquinante);
- b) il modulo di valutazione delle deposizioni e dei carichi/livelli critici (DEP);
- c) il modulo di ottimizzazione (OPT) per individuare l'allocazione ottimale delle misure di abbattimento, nell'ambito dell'area esaminata (ad es. UE), che consenta di raggiungere predefiniti obiettivi di impatto al costo minore.

Il modello Rains-Italia consente rispetto alla versione europea di fornire risultati relativi all'intera Italia ed alle singole regioni, e mappe di impatto, deposizione e concentrazione degli inquinanti con risoluzione 20x20 km<sup>2</sup>.

## *Scenario energetico*

Nella primavera del 2005 è stato concordato tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ed il Ministero dello Sviluppo Economico (MSE) uno scenario energetico da utilizzare ai fini dei confronti internazionali (direttiva *trading*  $\text{CO}_2$  periodo 2005-2007<sup>4</sup>, meccanismo di monitoraggio delle emissioni di  $\text{CO}_2$ <sup>5</sup>, aggiornamento della direttiva tetra alle emissioni nocive<sup>6</sup>). Tale scenario, una cui descrizione sommaria si può trovare in Contaldi (2005)<sup>7</sup>, è stato stimato mediante l'uso del modello di ottimizzazione del sistema energe-

---

<sup>1</sup> Vialetto, G., Contaldi, M., De Lauretis, R., Lelli, M., Mazzotta, V., Pignatelli, T., 2005, Emission Scenarios of Air Pollutants in Italy using Integrated Assessment Models, *Pollution Atmosphérique* 185, 71-78.

<sup>2</sup> Rains è l'acronimo per *Regional Air Pollution Information and Simulation*. Si rimanda al sito dello IIASA per eventuali approfondimenti <http://www.iiasa.ac.at/rains/index.html>

<sup>3</sup> Vialetto, G., Pignatelli, T., D'Elia, I., Salgò, C., 2005, Scenari di emissione di particolato ( $\text{PM}_{10}$  e  $\text{PM}_{2.5}$ ) in Italia: una prima ipotesi di distribuzione regionale delle emissioni, Rapporto Tecnico ENEA 2005/20/PROT, ISSN/0393-3016.

<sup>4</sup> MATTM, National Allocation Plan, 2005-2007.

<sup>5</sup> Consiglio UE, Decisione N° 280/2004/EC, Monitoring Mechanism Decision.

<sup>6</sup> Direttiva 2001/81/CE.

<sup>7</sup> Contaldi, M., 2005, Scenari energetici italiani a confronto, *Energia*, Settembre.



---

tico Markal-Italia per settore e per combustibile, dal 2000 al 2030 con frequenza quinquennale, come richiesto dalla metodologia Rains. I dati energetici, insieme alla strategia di controllo<sup>8</sup>, costituiscono l'input al modello Rains per la stima delle emissioni dal 2000 al 2030. I dati dello scenario energetico concordato tra MATTM ed MSE sono stati quindi usati per aggiornare il calcolo delle proiezioni delle emissioni. Il nuovo scenario ambientale è stato trasmesso ufficialmente alla Commissione per il processo di revisione della direttiva 2001/81/CE, recentemente avviato.

### *Strategia di controllo e curva dei costi*

Nell'ambito della stima dell'evoluzione delle emissioni nocive tra il 2000 e il 2020 per mezzo del modello Rains-Italia, si è preliminarmente verificata l'esistenza, per ciascuno dei principali settori economici, del margine di abbattimento teoricamente disponibile, confrontando uno scenario emissivo "di riferimento" (scenario CLE, *Current LEgislation*, cioè a legislazione vigente) con uno scenario di massima applicazione di possibili misure tecnologiche di riduzione delle emissioni (scenario MTRF<sup>9</sup> per singola tecnologia). Entrambi gli scenari emissivi sono stati elaborati mediante il modello Rains-Italia a partire dal medesimo scenario energetico. L'analisi con il Rains- Italia considera la strategia di controllo aggiornata a livello europeo e tiene conto tra l'altro dei nuovi standard nei trasporti (aggiornamento livelli emissivi tramite norme Euro aggiornate).

La curva nazionale dei costi comprende l'elenco delle misure di abbattimento delle emissioni che possono essere introdotte, in aggiunta a quelle già previste dalla legislazione vigente, ordinate secondo costi marginali crescenti, e le relative riduzioni associate. Tale curva individua i costi minimi degli interventi di riduzione delle emissioni che dovrebbero essere sostenuti per raggiungere un determinato livello emissivo, utilizzando la combinazione ottimale costo-strategia di abbattimento. Nel seguito (Appendice 1) è riportato l'elenco completo per settore, relativo all'anno 2010, delle tecnologie di abbattimento degli NO<sub>x</sub>.

Le tecnologie riportate nelle tabelle e figure del capitolo 1 evidenziano le ulteriori misure tecnologiche che possono essere inserite al 2010 nello scenario CLE per raggiungere il target ambientale desiderato per ogni settore economico.

Nel capitolo 2 è analizzata criticamente la possibilità di adottare le misure considerate dal modello Rains-Italia nel sistema energetico italiano.

Nel capitolo 3 si esaminano in particolare le misure con costi marginali molto bassi ed inferiori ai 1000 €/t.

Nel capitolo 4 si riporta una valutazione dell'applicabilità di diversi strumenti di *policy* nel sistema energetico italiano per la riduzione delle emissioni di NO<sub>x</sub>.

Nel capitolo 5 si riporta un quadro d'insieme delle misure che si ritengono praticabili sulla base dell'analisi critica effettuata.

Seguono alcune considerazioni conclusive.

---

<sup>8</sup> Strategia di controllo: insieme di tecnologie di abbattimento delle emissioni, applicabile ad ogni combinazione settore / combustibile per una certa percentuale dei consumi ad un certo tempo.

<sup>9</sup> *Maximum Technical Feasible Reduction*

---

# 1. Curve dei costi a livello settoriale

Il totale delle emissioni di Ossidi di Azoto previste per il 2010 per lo scenario tendenziale precedentemente descritto, calcolato dal Rains-Italia ammonta a 1.056,77 kt. Secondo le stime del modello, è inoltre tecnicamente possibile avere emissioni pari a 629,77 kt, qualora si applicassero tutte le tecnologie di abbattimento tecnicamente praticabili (scenario MTFR).

È opportuno per ragioni di chiarezza espositiva analizzare i dati disponibili disaggregandoli per settore. La legenda che consente di ricostruire il nome di ciascuna tecnologia di abbattimento è contenuta nell'Appendice 2 al documento.

## ***Settore Trasporti*** (Figura 1 e Tabella 1)

Il settore più rappresentativo è indubbiamente quello dei Trasporti. La Figura 1 e la Tabella 1 consentono uno sguardo d'insieme.

La potenzialità di riduzione di tutte le misure considerate è pari a 245 kt di NO<sub>x</sub>. La riduzione massima delle emissioni considera l'applicazione di EURO IV ai veicoli elencati in tabella, modifiche al processo di combustione per le navi di medio tonnellaggio e denitrificatori SCR<sup>10</sup> per le navi di grande tonnellaggio.

Questo settore presenta il maggior numero di tecnologie di abbattimento addizionali rispetto a quelle inserite nello scenario "current legislation". Questa particolarità è dovuta al gran numero di differenti standard emissivi relativi ai veicoli o altri mezzi di trasporto che si sono succeduti nel tempo. Va però sottolineato che la maggior parte di queste tecnologie non sono applicabili in pratica all'orizzonte 2010, visto che comporterebbero la sostituzione anticipata di un gran numero di veicoli circolanti. Per l'analisi di dettaglio si rimanda al capitolo 2, sottolineando comunque che le misure più efficaci e che presentano costi di abbattimento marginali inferiori ai 10 k€/t sono concentrate nel trasporto navale e nei mezzi agricoli.

Si segnala infine che le misure più costose comprese nella tabella 1, definite come quelle che presentano costi di abbattimento marginali superiori a 56 k€/t NO<sub>x</sub>, non sono state inserite nella figura per motivi di scala ed anche perché il loro potenziale di abbattimento risulta quasi irrilevante, circa 1 kt di NO<sub>x</sub> nel complesso.

---

<sup>10</sup> SCR, *Selective Catalytic Reduction*.



**Tabella 1: Curva dei costi del settore Trasporti-proiezioni al 2010**

Categoria/ Classe	Combustibile	Settore	Tecnologia	Costo unitario (€/tNO <sub>x</sub> )	Costo marginale (k€/tNO <sub>x</sub> )	Emissioni NO <sub>x</sub> rimosse (kt)	Emissioni NO <sub>x</sub> restanti (kt)
<i>Emissioni iniziali di NO<sub>x</sub> e costi</i>				0	0	0	1056,77
T/1	HF	TRA_OT_S_L	STLHCM	96,73	0,10	18,33	1038,44
T/1	MD	TRA_OT_RAI	TIWEUI	159,99	0,16	0,77	1037,67
T/1	MD	TRA_OT_S_L	STLMCM	221,30	0,22	9,41	1028,26
T/1	MD	TRA_OT_RAI	TIWEUII	172,17	0,24	0,14	1028,12
T/1	MD	TRA_OT_RAI	TIWEUIII	192,25	0,25	0,34	1027,78
T/1	MD	TRA_OT_RAI	TIWEUVI	212,24	0,25	0,68	1027,10
T/1	MD	TRA_OT_CNS	CAGEUI	341,94	0,34	2,70	1024,40
T/1	MD	TRA_OT_S_M	STMCM	385,54	0,38	11,90	1012,50
T/1	MD	TRA_OT_INW	TIWEUI	500,58	0,50	6,19	1006,31
T/1	MD	TRA_OT_AGR	CAGEUI	705,74	0,71	24,78	981,53
T/1	LPG	TRA_RD_LD4	LFEUII	1077,43	1,08	1,36	980,17
T/1	HF	TRA_OT_S_L	STLSCR	559,18	1,16	20,19	959,98
T/1	MD	TRA_RD_HD	HDEUI	1257,39	1,26	7,85	952,13
T/1	MD	TRA_OT_S_L	STLSCR	795,48	1,54	10,37	941,76
T/1	MD	TRA_OT_INW	TIWEUII	738,23	2,08	1,09	940,67
T/1	MD	TRA_OT_INW	TIWEUIII	1122,89	2,15	2,73	937,94
T/1	MD	TRA_OT_INW	TIWEUVI	1495,14	2,18	5,46	932,48
T/1	GSL	TRA_RD_LD4	LFEUII	2522,91	2,52	16,54	915,94
T/1	MD	TRA_OT_CNS	CAGEUIII	1484,07	2,56	2,86	913,08
T/1	GSL	TRA_OT_INW	LFEUII	2908,54	2,91	3,08	910,00
T/1	LPG	TRA_RD_LD4	LFEUIV	1316,39	3,63	0,59	909,41
T/1	MD	TRA_RD_HD	HDEUV	4010,95	6,00	10,86	898,55
T/1	MD	TRA_OT_AGR	CAGEUIII	3664,97	6,46	26,24	872,31
T/1	MD	TRA_RD_LD4	MDEUVI	7054,70	7,05	27,02	845,29
T/1	MD	TRA_RD_HD	HDEUVI	4157,45	7,12	0,92	844,37
T/1	ETH	TRA_OT_LB	LFEUII	7411,07	7,41	9,61	834,76
T/1	GSL	TRA_RD_LD4	LFEUIV	2983,28	7,43	7,18	827,58
T/1	GSL	TRA_OT_LB	LFEUII	8213,29	8,21	0,13	827,45
T/1	GSL	TRA_OT_INW	LFEUIV	3426,71	8,44	0,32	827,13
T/1	GSL	TRA_OT_AGR	LFEUII	14475,68	14,48	0,37	826,76
T/1	MD	TRA_OT_CNS	CAGEUVI	4000,58	15,74	1,19	825,57
T/1	LPG	TRA_RD_LD4	LFEUV	1540,12	23,02	0,07	825,50
T/1	ETH	TRA_OT_LB	LFEUIV	8935,19	23,67	0,01	825,49
T/1	GSL	TRA_OT_LB	LFEUIV	9662,20	23,67	0,99	824,50
T/1	MD	TRA_OT_AGR	CAGEUVI	10020,97	39,68	10,93	813,57
T/1	GSL	TRA_OT_AGR	LFEUIV	17397,45	45,64	0,04	813,53
T/1	GSL	TRA_RD_LD4	LFEUV	3438,63	47,15	0,80	812,73
T/1	LPG	TRA_RD_LD4	LFEUVI	2009,41	47,53	0,07	812,66
T/1	GAS	TRA_RD_LD4	LFEUV	3592,13	53,69	0,07	812,59
T/1	GSL	TRA_OT_INW	LFEUV	3963,30	55,48	0,04	812,55
T/1	GSL	TRA_RD_LD4	LFEUVI	4397,04	97,36	0,80	811,75
T/1	GAS	TRA_RD_LD4	LFEUVI	4686,69	110,86	0,07	811,68
T/1	GSL	TRA_OT_INW	LFEUVI	5079,21	113,32	0,04	811,64
T/1	ETH	TRA_OT_LB	LFEUV	10454,86	156,34	0	811,64
T/1	GSL	TRA_OT_LB	LFEUV	11174,38	156,34	0,11	811,53
T/1	GSL	TRA_OT_AGR	LFEUV	20311,24	300,03	0	811,53
T/1	GSL	TRA_OT_LB	LFEUVI	14319,40	319,39	0	811,53
T/1	ETH	TRA_OT_LB	LFEUVI	13607,22	319,39	0,11	811,42
T/1	GSL	TRA_OT_AGR	LFEUVI	26357,86	612,88	0	811,42

## Settore energetico: Power Plants e Raffinerie (Tabella 2 e Figura 2)

In entrambi i settori sono presenti soprattutto impianti di dimensioni medio – grandi. Questi settori sono presentati accorpati vista la sostanziale omogeneità delle tecnologie applicabili per la riduzione delle emissioni.

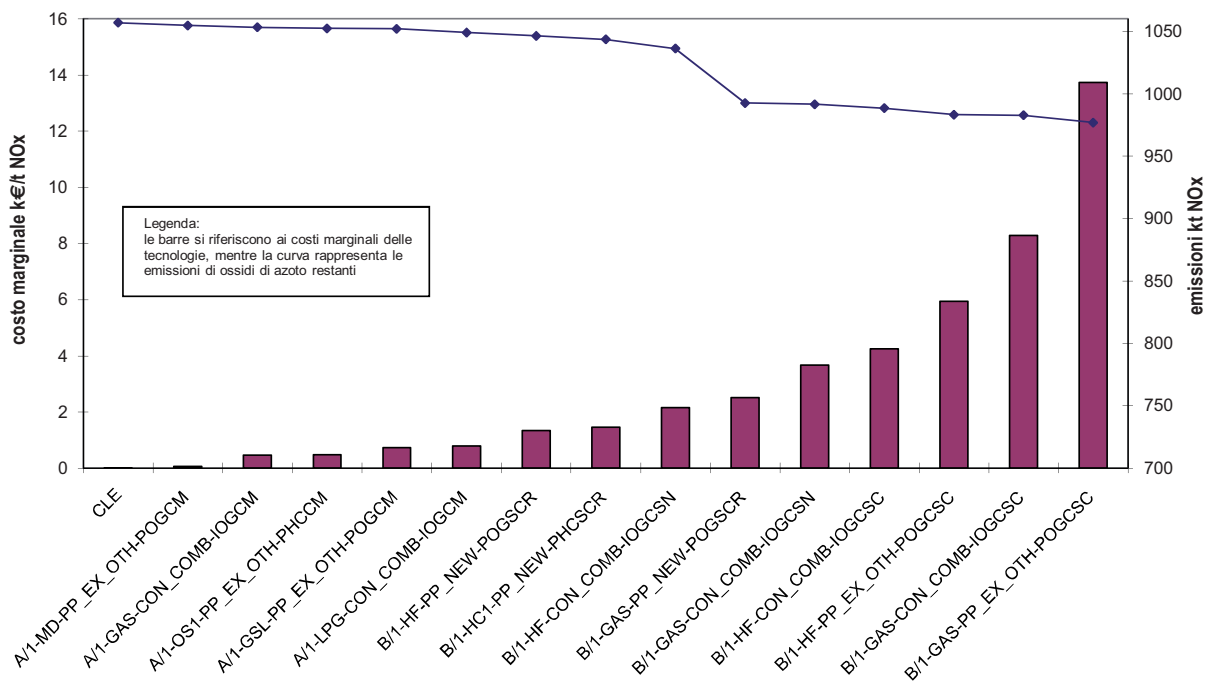
La potenzialità di riduzione di tutte le misure considerate è pari a circa 80 kt di NO<sub>x</sub>.

La riduzione massima delle emissioni considera i denitrificatori applicati a tutti gli impianti per la generazione di energia elettrica, e l'applicazione di denitrificatori SCR in tutti gli impianti di combustione presenti nelle raffinerie.

Il settore presenta numerose misure con potenzialità medio-basse e due misure con potenzialità elevate, una nel settore della combustione di olio combustibile nelle raffinerie, ed una per il gas naturale utilizzato nelle centrali elettriche.

**Tabella 2:** Curva dei costi dei settori Power Plants e Raffinerie-proiezioni al 2010

Categoria/ Classe	Combustibile	Settore	Tecnologia	Costo unitario (€/tNO <sub>x</sub> )	Costo marginale (k€/tNO <sub>x</sub> )	Emissioni NO <sub>x</sub> rimosse (kt)	Emissioni NO <sub>x</sub> restanti (kt)
<i>Emissioni iniziali di NO<sub>x</sub> e costi</i>				0	0	0	1056,77
A/1	MD	PP_EX_OTH	POGCM	66,87	0,07	2,18	1054,59
A/1	GAS	CON_COMB	IOGCM	457,88	0,46	1,45	1053,14
A/1	OS1	PP_EX_OTH	PHCCM	473,83	0,47	0,86	1052,28
A/1	GSL	PP_EX_OTH	POGCM	725,99	0,73	0,30	1051,98
A/1	LPG	CON_COMB	IOGCM	784,94	0,78	3,09	1048,89
B/1	HF	PP_NEW	POGSCR	1335,42	1,33	2,66	1046,23
B/1	HC1	PP_NEW	PHCSCR	1463,59	1,46	2,84	1043,39
B/1	HF	CON_COMB	IOGCSN	791,75	2,16	7,27	1036,12
B/1	GAS	PP_NEW	POGSCR	2507,17	2,51	43,64	992,48
B/1	GAS	CON_COMB	IOGCSN	1374,46	3,66	1,03	991,45
B/1	HF	CON_COMB	IOGCSC	1223,74	4,25	3,06	988,39
B/1	HF	PP_EX_OTH	POGCSC	1229,94	5,94	5,28	983,11
B/1	GAS	CON_COMB	IOGCSC	2238,42	8,29	0,41	982,70
B/1	GAS	PP_EX_OTH	POGCSC	2781,43	13,73	5,88	976,82



**Figura 2:** Curva dei costi ed emissioni dei settori Power Plants e Raffinerie

### **Settore industriale** (Figura 3 e Tabella 3)

In questo settore è raggruppata la maggior parte delle attività produttive. Le attività industriali interessate sono quelle definite come combustione “senza contatto” dalla metodologia Corinair. La potenzialità di riduzione di tutte le misure considerate è pari a circa 45 kt di NO<sub>x</sub>.

La riduzione massima delle emissioni considera modifiche ai processi di combustione in tutte le caldaie ed i forni industriali alimentati a gas e denitrificatori SCR applicati alle caldaie ed ai forni industriali alimentati a carbone e ad olio combustibile.

In questo settore delle sei tecnologie che presentano le maggiori potenzialità di riduzione delle emissioni, ben quattro sono relative a miglioramenti tecnologici della combustione del gas naturale.

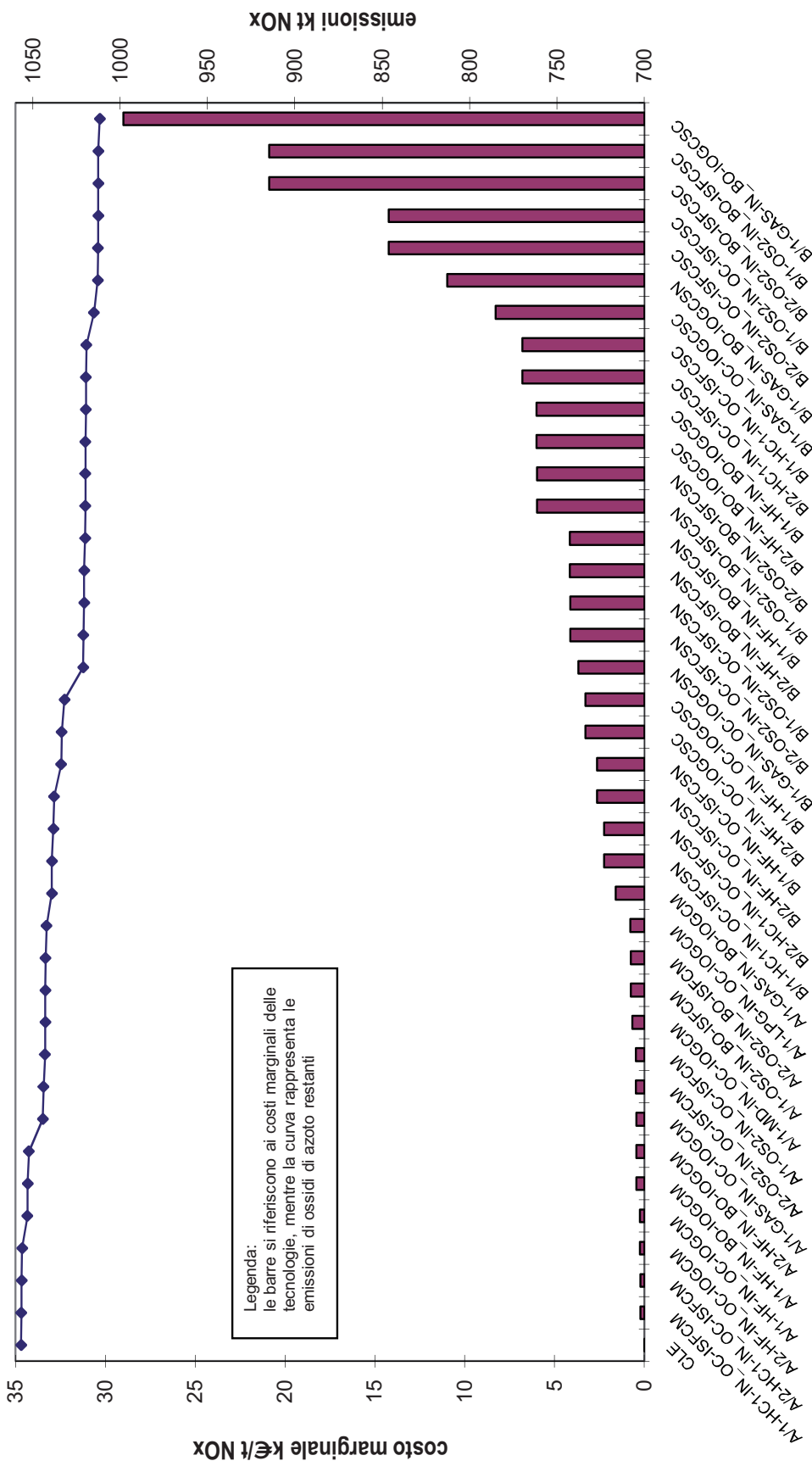


Figura 3.: Curva dei costi ed emissioni del settore Industriale

**Tabella 3:** Curva dei costi del settore Industriale-proiezioni al 2010

Categoria/ Classe	Combustibile	Settore	Tecnologia	Costo unitario (€/tNO <sub>x</sub> )	Costo marginale (k€/tNO <sub>x</sub> )	Emissioni NO <sub>x</sub> rimosse (kt)	Emissioni NO <sub>x</sub> restanti (kt)
<i>Emissioni iniziali di NO<sub>x</sub> e costi</i>				0	0	0	1056,77
A/1	HC1	IN_OC	ISFCM	230,96	0,23	0,07	1056,70
A/2	HC1	IN_OC	ISFCM	230,96	0,23	0,14	1056,56
A/2	HF	IN_OC	IOGCM	245,54	0,24	3,05	1056,22
A/1	HF	IN_OC	IOGCM	245,54	0,24	0,34	1053,17
A/1	HF	IN_BO	IOGCM	441,53	0,44	0,08	1053,09
A/2	HF	IN_BO	IOGCM	441,53	0,44	0,73	1052,36
A/1	GAS	IN_OC	IOGCM	457,88	0,46	8,04	1044,32
A/2	OS2	IN_OC	ISFCM	469,85	0,47	0,90	1043,93
A/1	OS2	IN_OC	ISFCM	469,85	0,47	0,39	1043,03
A/1	MD	IN_OC	IOGCM	686,82	0,69	0,04	1042,99
A/1	OS2	IN_BO	ISFCM	755,12	0,75	0,06	1042,93
A/2	OS2	IN_BO	ISFCM	755,12	0,75	0,14	1042,79
A/1	LPG	IN_OC	IOGCM	784,94	0,78	0,54	1042,25
A/1	GAS	IN_BO	IOGCM	1602,45	1,60	3,04	1039,21
B/1	HC1	IN_OC	ISFCSN	803,22	2,23	0,06	1039,15
B/2	HC1	IN_OC	ISFCSN	803,22	2,23	0,85	1038,30
B/2	HF	IN_OC	ISFCSN	927,77	2,63	4,06	1037,85
B/1	HF	IN_OC	ISFCSN	927,77	2,63	0,45	1033,79
B/2	HF	IN_OC	IOGCSC	1223,74	3,29	1,63	1033,61
B/1	HF	IN_OC	IOGCSC	1223,74	3,29	0,18	1031,98
B/1	GAS	IN_OC	IOGCSN	1374,46	3,67	10,72	1021,26
B/2	OS2	IN_OC	ISFCSN	1514,07	4,12	0,36	1021,11
B/1	OS2	IN_OC	ISFCSN	1514,07	4,12	0,15	1020,75
B/2	HF	IN_BO	ISFCSN	1501,45	4,15	0,62	1020,68
B/1	HF	IN_BO	ISFCSN	1501,45	4,15	0,07	1020,06
B/1	OS2	IN_BO	ISFCSN	2246,30	5,97	0,02	1020,04
B/2	OS2	IN_BO	ISFCSN	2246,30	5,97	0,06	1019,98
B/2	HF	IN_BO	IOGCSC	2065,67	6,01	0,25	1019,95
B/1	HF	IN_BO	IOGCSC	2065,67	6,01	0,03	1019,70
B/2	HC1	IN_OC	ISFCSC	1553,53	6,81	0,34	1019,68
B/1	HC1	IN_OC	ISFCSC	1553,53	6,81	0,02	1019,34
B/1	GAS	IN_OC	IOGCSC	2238,42	8,29	4,29	1015,05
B/1	GAS	IN_BO	IOGCSN	4280,16	10,97	2,17	1012,88
B/2	OS2	IN_OC	ISFCSC	3104,40	14,24	0,14	1012,82
B/1	OS2	IN_OC	ISFCSC	3104,40	14,24	0,06	1012,68
B/2	OS2	IN_BO	ISFCSC	4576,90	20,89	0,03	1012,67
B/1	OS2	IN_BO	ISFCSC	4576,90	20,89	0,01	1012,64
B/1	GAS	IN_BO	IOGCSC	7369,81	29,00	0,87	1011,77



## Processi industriali (Tabella 4 e Figura 4)

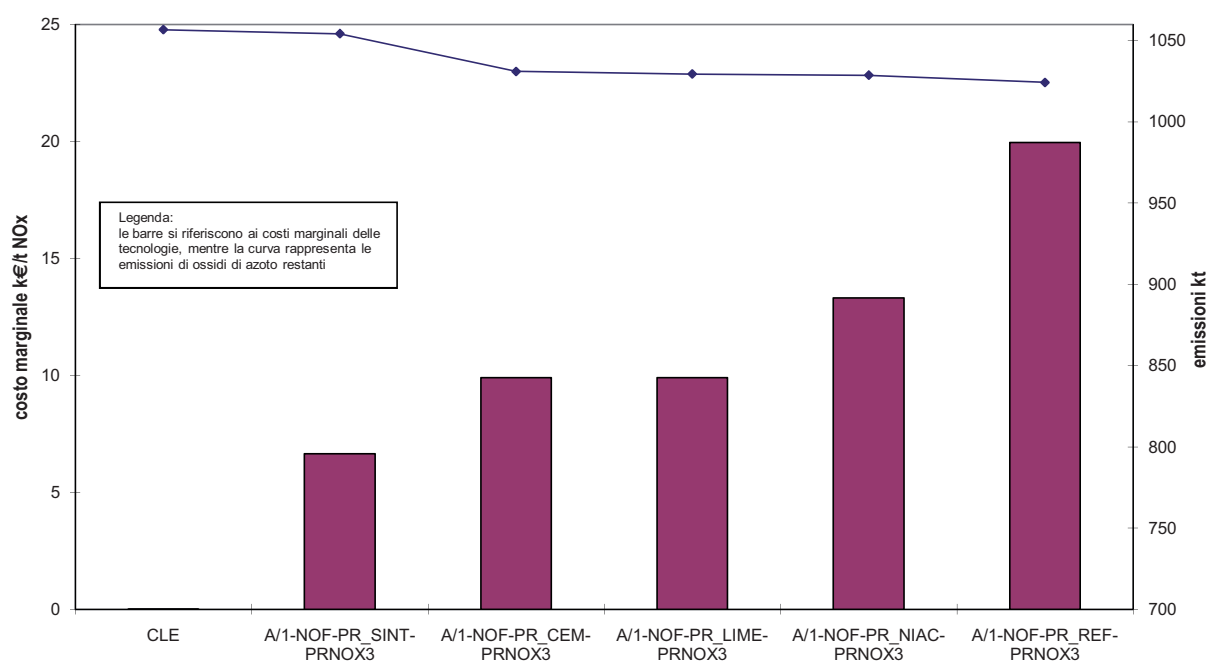
In questa sezione, sempre secondo la metodologia Corinair, sono raggruppati quei processi industriali nei quali la combustione è “con contatto” ovvero c’è un contatto diretto tra il materiale e il processo di combustione, per esigenze produttive.

In generale si tratta degli impianti più “inquinanti” vista la successiva difficoltà di trattare adeguatamente i fumi e a causa del fatto che le condizioni in cui si svolge il processo di combustione (temperatura e composizione fumi, parametri rilevanti anche per la formazione di NO<sub>x</sub>) sono legate al processo produttivo e, a volte, le eventuali modifiche finalizzate alla riduzione delle emissioni comportano complessi adeguamenti della produzione.

La potenzialità di riduzione di tutte le misure considerate è pari a circa 32 kt di NO<sub>x</sub>. Il principale processo dove intervenire è quello della produzione di cemento.

**Tabella 4:** Curva dei costi del settore Processi industriali-proiezioni al 2010

Categoria/ Classe	Combustibile	Settore	Tecnologia	Costo unitario (€/tNO <sub>x</sub> )	Costo marginale (k€/tNO <sub>x</sub> )	Emissioni NO <sub>x</sub> rimosse (kt)	Emissioni NO <sub>x</sub> restanti (kt)
<i>Emissioni iniziali di NO<sub>x</sub> e costi</i>				0	0	0	1056,77
A/1	NOF	PR_SINT	PRNOX3	3025	6,65	2,53	1054,24
A/1	NOF	PR_CEM	PRNOX3	4505,32	9,91	23,09	1031,15
A/1	NOF	PR_LIME	PRNOX3	4505,32	9,91	1,68	1029,47
A/1	NOF	PR_NIAC	PRNOX3	6050	13,31	0,75	1028,72
A/1	NOF	PR_REF	PRNOX3	9075	19,96	4,31	1024,41



**Figura 4:** Curva dei costi ed emissioni del settore Processi industriali

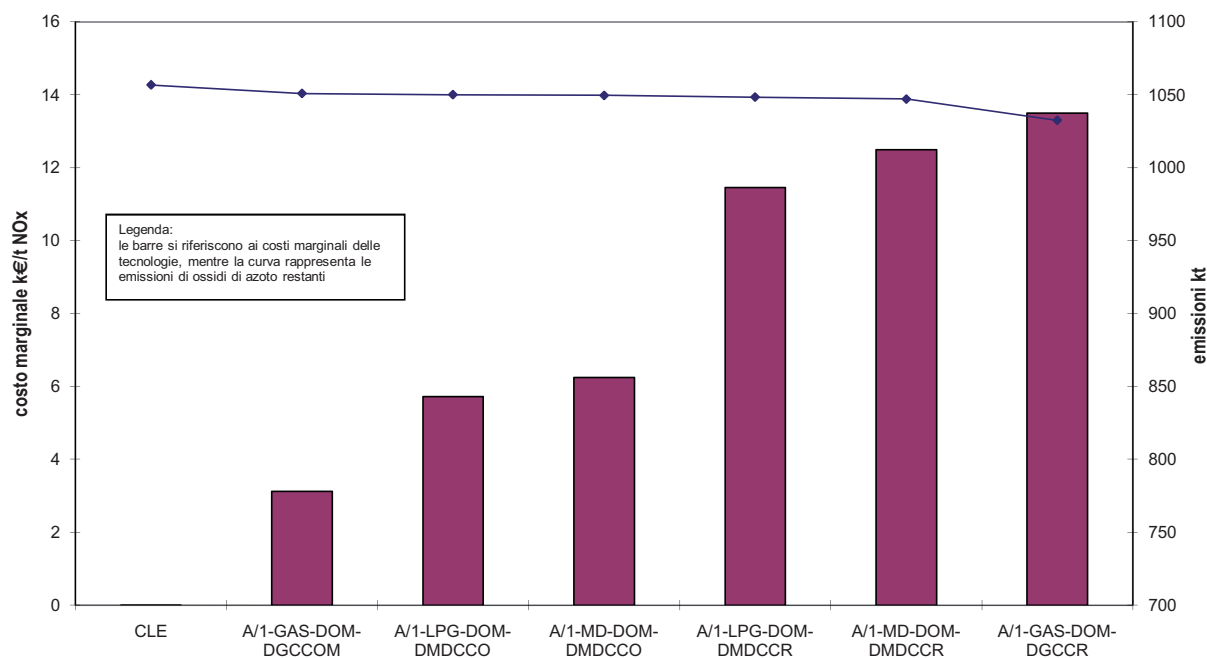
## Settore Civile (Tabella 5 e Figura 5)

In questo settore sono due le misure più importanti, entrambe relative alla combustione di gas naturale nelle caldaie domestiche e commerciali.

La potenzialità di riduzione di tutte le misure considerate è pari a circa 24 kt di NO<sub>x</sub>. La riduzione massima delle emissioni stima la riduzione delle emissioni di ossidi di azoto che si avrebbe qualora tutte le caldaie del settore civile venissero sostituite con caldaie a gas a bassa emissione di NO<sub>x</sub>.

**Tabella 5:** Curva dei costi del settore Civile-proiezioni al 2010

Categoria/ Classe	Combustibile	Settore	Tecnologia	Costo unitario (€/tNO <sub>x</sub> )	Costo marginale (k€/tNO <sub>x</sub> )	Emissioni NO <sub>x</sub> rimosse (kt)	Emissioni NO <sub>x</sub> restanti (kt)	Costo totale (M€/year)
<i>Emissioni iniziali di NO<sub>x</sub> e costi</i>				0	0	0	1056,77	3040,8
A/1	GAS	DOM	DGCCOM	3128,12	3,13	5,88	1050,89	3379,95
A/1	LPG	DOM	DMDCCO	5725,42	5,72	0,87	1050,02	3454,12
A/1	MD	DOM	DMDCCO	6245,91	6,25	0,40	1049,62	3555,26
A/1	LPG	DOM	DMDCCR	9160,67	11,45	1,30	1048,32	4392,8
A/1	MD	DOM	DMDCCR	9993,46	12,49	1,19	1047,13	4407,72
A/1	GAS	DOM	DGCCR	8935,06	13,50	14,7	1032,43	4616,04



**Figura 5:** Curva dei costi ed emissioni del settore Civile



---

## 2. Tecnologie di abbattimento con maggiori potenzialità

Secondo le stime effettuate con il modello Rains-Italia, le tecnologie di abbattimento che consentono maggiori riduzioni di  $\text{NO}_x$  al 2010 sono, in ordine decrescente per migliaia di tonnellate di emissioni rimosse, quelle contenute nella tabella seguente (Tabella 6); in questo capitolo la concreta praticabilità dell'uso delle tecnologie ipotizzate nel modello Rains-Italia sarà analizzata in dettaglio. L'analisi è stata limitata alle tecnologie più significative, definite per gli scopi di questo documento, come quelle che consentono di rimuovere almeno cinquemila tonnellate di  $\text{NO}_x$ , ovvero lo 0,5% delle emissioni totali previste al 2010.

Può essere interessante notare preliminarmente che, dalla iniziale ripartizione per classi di costo marginale (fino a 200 €/t  $\text{NO}_x$ ; da 200 a 1.000; da 1.000 a 10.000; da 10.000 a 100.000; oltre 100.000), delle tecnologie elencate in Tabella 6, solo una ricade nella prima classe, e nessuna ricade nell'ultima classe. La gran parte di queste tecnologie rientra nella terza classe (costo marginale compreso tra 1.000 e 10.000 €/t  $\text{NO}_x$ ).

Applicando le sole tecnologie elencate nella Tabella 6 (che consentono di rimuovere in totale 347,36 kt di  $\text{NO}_x$ , circa l'80% del totale rimovibile) le emissioni residue ammonteranno a 709,41 kt. In termini percentuali le tecnologie selezionate consentono di abbattere il 33% del totale delle emissioni nazionali, contro una possibilità tecnica complessiva di abbattimento del 40% (ovvero 427 kt).

**Tabella 6:** Tecnologie con potenziale di abbattimento > 5 kt di NO<sub>x</sub> (al 2010)

Progressivo	Category-Activity-Sector-Technology	Removed emissions (kt)	Marginal cost (€/t NO <sub>x</sub> )
1	B/1-GAS-PP_NEW-POGSCR	43,64	2.507
2	T/1-MD-TRA_RD_LD4-MDEUVI	27,02	7.055
3	T/1-MD-TRA_OT_AGR-CAGEUIII	26,24	6.460
4	T/1-MD-TRA_OT_AGR-CAGEUI	24,78	706
5	A/1-NOF-PR_CEM-PRNOX3	23,09	9.912
6	T/1-HF-TRA_OTS_L-STLSCR	20,19	1.159
7	T/1-HF-TRA_OTS_L-STLHCM	18,33	97
8	T/1-GSL-TRA_RD_LD4-LFEUII	16,54	2.523
9	A/1-GAS-DOM-DGCCR	14,70	13.498
10	T/1-MD-TRA_OTS_M-STMCM	11,90	385
11	T/1-MD-TRA_OT_AGR-CAGEUVI	10,93	39.682
12	T/1-MD-TRA_RD_HD-HDEUV	10,86	6.003
13	B/1-GAS-IN_OC-IOGCSN	10,72	3.666
14	T/1-MD-TRA_OTS_L-STLSCR	10,37	1.540
15	T/1-ETH-TRA_OT_LB-LFEUII	9,61	7.411
16	T/1-MD-TRA_OTS_L-STLMCM	9,41	221
17	A/1-GAS-IN_OC-IOGCM	8,04	458
18	T/1-MD-TRA_RD_HD-HDEUI	7,85	1.257
19	B/1-HF-CON_COMB-IOGCSN	7,27	2.157
20	T/1-GSL-TRA_RD_LD4-LFEUIV	7,18	7.433
21	T/1-MD-TRA_OT_INW-TIWEUI	6,19	501
22	A/1-GAS-DOM-DGCCOM	5,88	3.128
23	B/1-GAS-PP_EX_OTH-POGCSC	5,88	13.733
24	T/1-MD-TRA_OT_INW-TIWEUVI	5,46	2.178
25	B/1-HF-PP_EX_OTH-POGCSC	5,28	5.937
	<b>Totale</b>	<b>347,36</b>	

In tabella 6 sono riportati anche i costi marginali di abbattimento delle 25 tecnologie esaminate. Gran parte delle tecnologie presenta costi dell'ordine di alcune migliaia di €/t NO<sub>x</sub>, sicuramente elevati ma in generale affrontabili dagli operatori economici.

Solo quattro di queste tecnologie presentano costi di abbattimento pari o superiori ai 10.000 €/t NO<sub>x</sub> abbattuti. Questi costi sono sicuramente elevati e verranno discussi caso per caso a livello settoriale.

### **Settore Trasporti**

Già da una prima visione d'insieme della Tabella 6, è evidente che in essa prevalgono le tecnologie di abbattimento degli NO<sub>x</sub> applicate a sorgenti mobili, ovvero al settore Trasporti; più precisamente, le potenzialità di abbattimento di questo settore ammontano al 64% del totale della Tabella 6. Tuttavia questa percentuale si raggiunge adeguando l'intera flotta circolante di automobili, veicoli commerciali e navi agli standard più elevati, ipotesi chiaramente non praticabile entro il 2010.

---

Limitandosi alla sostituzione della flotta più vecchia per i veicoli terrestri ed ad un primo adeguamento per le navi si può ottenere circa il 25% di riduzione del totale di Tabella 6, in particolare si consegue:

- una quota del 4,8% con il passaggio all'EURO II di auto e furgoni leggeri con motore a quattro tempi (vedi tecnologia n°8 della tabella 6);
- il 7% adeguando le macchine agricole (n°4) a standard analoghi agli EURO I per HDV (*Heavy Duty Vehicles*, veicoli pesanti), 1999 (in questo caso è teoricamente possibile un retrofit che modifichi i veicoli più vecchi adeguandoli alla nuova normativa);
- una quota del 5% per le navi di grande tonnellaggio tramite la variazione nel processo di combustione (n°7) (combustibile: olio combustibile pesante);
- il 3% con la variazione nel processo di combustione delle navi di medio tonnellaggio (n°10);
- il 3% con la variazione nel processo di combustione (combustibile: gasolio) per le navi di grande tonnellaggio (n°16);
- il 2% con il passaggio all'EURO I 1992 di tutti veicoli pesanti (camion, pullman, altri) diesel EURO 0 (n°18); si segnala che i veicoli circolanti hanno un età media di circa 20 anni.

Il resto delle riduzioni riguardano l'adeguamento della flotta a standard di efficienza più elevati. La potenzialità è elevata, trattandosi del 36,5% del potenziale di riduzione delle emissioni, tuttavia, come già detto, non sembrano obiettivi praticabili all'orizzonte 2010. Gran parte di questi obiettivi possono essere conseguiti all'orizzonte 2020. In particolare:

- l'8% del totale tabella (n° 2) è realizzabile con il passaggio di auto e furgoni leggeri con motore a quattro tempi (diesel) agli standard EURO VI- post 2005, stadio 2;
- il 7,5% del totale (n° 3) è conseguibile adeguando le macchine agricole agli standard EURO III (sostituzione motore);
- per le navi di grande tonnellaggio, con la riduzione selettiva catalitica (n° 6) (olio combustibile pesante) le emissioni rimosse sono quasi il 6% del totale tabella;
- il 3% di riduzione con passaggio all'EURO V- 2008 di veicoli pesanti (camion, pullman, altri) (n° 12);
- il 3% di riduzione con la riduzione selettiva catalitica (diesel, olio combustibile leggero) delle navi di grande tonnellaggio (n° 14);
- il 3% di riduzione con il passaggio all'EURO II di veicoli leggeri a 4 tempi (militari, domestici, ecc..) ad accensione comandata, non ad iniezione diretta (n° 15);
- il 2% di riduzione con il passaggio all'EURO IV di auto e furgoni leggeri con motore a quattro tempi, ad accensione comandata, non ad iniezione diretta (n° 20);
- il 2% di riduzione con l'adeguamento dei mezzi di navigazione vicino la costa e nelle acque interne agli standard analoghi all'EURO I per HDV, 1999 (n° 21);
- il 2% di riduzione con l'adeguamento dei mezzi di navigazione vicino la costa e nelle acque interne agli standard analoghi all'EURO VI per HDV (n° 24).

A proposito di questo gruppo di tecnologie, va messo in evidenza che il costo marginale della n° 11, ovvero l'adeguamento delle macchine agricole a standard analoghi all'EURO VI, è molto alto (ben 39.682 €/t NO<sub>x</sub>). Questo costo tuttavia comprende l'intero costo della macchina agricola nuova e non solo il costo di adeguamento, visto che non è possibile modificare i trattori esistenti. In questo caso quindi il costo marginale non rappresenta un ostacolo insormontabile all'adozione della tecnologia, se contestuale alla sostituzione del trattore alla fine della sua vita utile.

---

Un'analisi coerente con questi risultati è contenuta nel documento ENEA "Valutazione dell'applicabilità di diversi strumenti di *policy* nel sistema energetico italiano per la riduzione delle emissioni di NO<sub>x</sub>"<sup>11</sup>, dove viene mostrato come il settore con il più elevato margine di abbattimento a costi marginali "contenuti" (inferiore a 5k€/t) sia quello del trasporto non stradale diverso dal trasporto marittimo, che rappresenta in realtà un settore estremamente eterogeneo, comprendendo al suo interno i veicoli militari, le ferrovie, gli aerei, le macchine agricole ed industriali, le macchine forestali e per il giardinaggio, i mezzi di navigazione da diporto, ecc. La gran parte delle emissioni (circa il 70% del totale) di questo sotto-settore sono però dovute ai consumi associati alle macchine agricole. Tra le misure relative al trasporto non terrestre (non navale) di costo marginale inferiore ai 5k€/t, quelle in grado di produrre rilevanti riduzioni delle emissioni riguardano appunto le macchine agricole. Nello scenario MTFR, al 2010, la tecnologia di abbattimento selezionata (tenendo conto della recente direttiva sui trattori agricoli e forestali) è stata quella di un deciso anticipo della diffusione degli standard EURO IV (sebbene poco realistica all'orizzonte del 2010). L'analisi condotta mostra come, per ottenere una riduzione anche parziale (rispetto al potenziale) delle emissioni del settore, l'unico strumento realisticamente utilizzabile è in effetti costituito dall'anticipazione dello standard, affiancata eventualmente da un sussidio che incentivi una sostituzione più rapida del parco (la cui durata di vita è molto lunga). Ovviamente, l'utilizzo del sussidio costituisce un costo per la collettività, che ridurrebbe l'efficacia ambientale della misura, che in un ipotetico ordinamento delle misure sarebbe quindi destinata a scendere più in basso.

### ***Sorgenti stazionarie: Power Plants e Raffinerie***

Passando alle sorgenti stazionarie, ed in particolare alla categoria *Power Plants*, va sottolineato, come d'altro canto è ben evidente in tabella, che il maggior contributo individuale in termini di emissioni rimosse di NO<sub>x</sub> (quasi il 13% del totale tabella) è dovuto alla riduzione catalitica selettiva applicata alle centrali elettriche nuove (combustibile: gas naturale) (n° 1). La tecnologia n° 1 prevede un abbattimento delle emissioni fino ad un valore di 0,014 kg NO<sub>x</sub>/GJ. Questo fattore di emissione è abbastanza cautelativo nel caso di impianti di produzione di elettricità con caldaie, visto che il fattore di emissione minimo possibile è pari a 0,0056 kg NO<sub>x</sub>/GJ, ovvero circa 2,5 volte inferiore al limite proposto.

Tuttavia dato che in Italia il gas naturale è ormai utilizzato ai fini della produzione di energia elettrica in gran parte in impianti a ciclo combinato, vista la loro elevata efficienza, questo fattore di emissione va confrontato con quello di questi impianti. Purtroppo nel modello Rains/Gains<sup>12</sup> essi non sono considerati in modo esplicito e quindi il fattore di emissione minimo ipotizzato non risulta adeguato.

Per i cicli combinati le autorizzazioni più basse rilasciate dalla Commissione VIA negli ultimi anni prevedono circa 30 ppm di NO<sub>x</sub>, che sono pari a 0,025 kg NO<sub>x</sub>/GJ nelle condizioni di funzionamento standard. Esistono alcuni esempi di impianti di ultima generazione che registrano fattori di emissione inferiori, intorno a 0,016 kg NO<sub>x</sub>/GJ. Il valore minimo di emissione speci-

---

<sup>11</sup> Si tratta di un documento prodotto nell'ambito della Convenzione MATTM- ENEA: "Studio di fattibilità sull'utilizzo di strumenti di *policy* per ridurre le emissioni di Ossidi di Azoto". <http://www.minni.org/>

<sup>12</sup> Gains, evoluzione del modello Rains, che include anche i gas serra ed altri inquinanti.

---

fica proposto appare pertanto al limite della fattibilità per i cicli combinati. Cautelativamente si ritiene che il fattore di emissione medio raggiungibile al 2010 sia pari a circa 0,028 kg NO<sub>x</sub>/GJ. La tecnologia inserita nello scenario CLE di Rains/Gains – Italia prevede un fattore di emissione medio al 2010 di 0,025 kg NO<sub>x</sub>/GJ, pertanto il potenziale tecnico di abbattimento della tecnologia 1 al 2010 sarebbe negativo.

Una seconda opzione di riduzione proposta e praticabile è la modifica del processo di combustione e la riduzione catalitica selettiva aggiunta alle centrali esistenti (ossia entrate in esercizio fino al 1995): circa 6 kt totali (1,7%) nel caso in cui il combustibile sia il gas naturale (n° 23) e circa 5 kt (1,5%) nel caso in cui siano alimentate ad olio combustibile pesante (n° 25). Va aggiunto che peraltro la tecnologia n° 23 è molto costosa (costo marginale pari a 13.733 €/t NO<sub>x</sub>) viste le difficoltà di modificare gli impianti esistenti.

Con riferimento alle altre sorgenti stazionarie (tecnologia n° 17) si nota altresì che la recente proposta di direttiva COM(2007) 844 final, in materia di emissioni industriali (IPPC, *integrated pollution prevention and control*), prevede un valore minimo di 50 ppm di NO<sub>x</sub><sup>13</sup>. La tecnologia inserita in Rains/Gains – Italia prevede un fattore di emissione medio al 2010 di 0,025 kg NO<sub>x</sub>/GJ sia per le Power Plants che per le altre sorgenti stazionarie che usano gas metano (impianti industriali). Il dato proposto per gli usi industriali del gas naturale andrà riconciliato con quanto previsto dalla Direttiva, dopo l'approvazione, ed anche in questo caso il potenziale di abbattimento sarebbe negativo.

Una ulteriore opzione è quella proposta nei processi di trasformazione del combustibile, ovvero per le raffinerie. Si propone la modifica del processo di combustione unita alla riduzione non catalitica selettiva (n° 19) negli impianti che usano olio combustibile pesante, queste due opzioni consentono di ridurre le emissioni di NO<sub>x</sub> di 7 kt (2% rispetto al totale). L'opzione costa circa 2.100 €/t NO<sub>x</sub> abbattuta e si ritiene che sia adottabile dagli operatori.

### ***Emissioni da Processo***

L'unica "sorgente da processo" presente nella Tabella 6, ovvero la Produzione di cemento (n° 5) con la tecnologia di abbattimento "Controllo- Stadio 3" (processo di abbattimento non specificato, verosimilmente trattamento dei fumi mediante SCR) rimuove quasi il 7% di emissione di NO<sub>x</sub> rispetto al totale tabella. Questa tecnologia presenta un costo marginale piuttosto elevato (9.912 €/t NO<sub>x</sub>). Nella produzione di cemento, materiale a scarso valore aggiunto, il costo marginale di abbattimento potrebbe incidere in modo significativo sui costi di produzione e pertanto ostacolare l'adozione della tecnologia.

Da una verifica effettuata sui dati a consuntivo di emissione specifica dei cementifici italiani nel 2006 risulta che circa la metà dei cementifici presenta un fattore di emissione compreso tra 2 e 4 kg NO<sub>x</sub>/t di clinker prodotto (il cemento è costituito da clinker per circa il 70% in peso). Questi impianti adottano la tecnologia controllo stadio 1, o nessun controllo. I restanti impianti presentano valori inferiori, ma anche quelli rinnovati di recente presentano valori medi intor-

---

<sup>13</sup> COM (2007) 844 final, Annex V, tabella 5, pg 133



---

no a 1,6-1,7 kg/t e solo 4 scendono sotto 1,34 kg/t di clinker prodotto. La tecnologia “controllo stadio 2” consente di raggiungere un’emissione di 1,34 kg/t di clinker.

Pertanto l’adozione della tecnologia controllo stadio 3 potrebbe effettivamente ridurre le emissioni in modo significativo, consentendo di arrivare fino a circa 0,67 kg NO<sub>x</sub>/t clinker. Come già sottolineato la tecnologia sembra abbastanza costosa e, ad oggi, risulta un solo esempio applicativo.

La strategia di controllo tendenziale al 2010 adottata nello scenario Rains-Italia per i cementifici prevede la completa applicazione della tecnologia A/1-NOF-PR\_CEM-PRNOX2 (controllo stadio 2), tuttavia dai controlli effettuati questa opzione sembra adottata in meno del 10% degli impianti in esercizio al 2006.

Nella proposta di direttiva unificata AIA, COM(2007) 844 final, sono proposti dei limiti (equivalenti a circa 0,1 kg/t di clinker) ma solo nel caso di co-combustione con rifiuti.

In conclusione il potenziale di abbattimento delle emissioni da questa fonte industriale è sicuramente notevole e superiore a quanto stimato da Rains-Italia, utilizzando la strategia di controllo “stadio 3” e l’orizzonte temporale 2020.

### ***Sorgenti stazionarie nel settore Civile***

La modifica del processo di combustione del gas naturale nel settore residenziale e piccole caldaie commerciali (n° 9) ha un peso del 4% sul totale tabella; le grandi caldaie del settore commerciale (n° 22) pesano per l’1,7%.

Va segnalato che nel primo caso il costo marginale da sostenere è piuttosto alto (13.498 €/t NO<sub>x</sub>). In questo caso il costo si riferisce alla sostituzione dell’intera caldaia, visto che non è possibile modificare le caldaie esistenti, pertanto il costo elevato sarebbe di ostacolo ad un adeguamento in tempi brevi del parco esistente, ma solo un ostacolo marginale nel caso di sostituzione dell’intera apparecchiatura al termine della vita utile. La vita media delle caldaie è di 15-20 anni.

La strategia di controllo al 2010 per le caldaie prevede di adottare tecnologie che raggiungono i seguenti limiti di emissione:

- 43 g/GJ per le caldaie > 35 kW;
- 28 g/GJ per le caldaie < 35 kW.

Il fattore di emissione medio considerato nell’inventario 2000 e 2005 è di 50 g/GJ per entrambe le tipologie.

Un rapporto del CESI N° A5054826, pubblicato nel 2005 dal titolo “Caratterizzazione delle emissioni di caldaie residenziali” riporta dati di emissione rilevati in campo ed in laboratorio da diversi soggetti. Sulla base dei dati riportati risulta che le caldaie a condensazione con potenza inferiore a 35 kW, raggiungono correntemente fattori di emissione intorno ai 15 g/GJ e caldaie di taglia maggiore presentano fattori di emissione intorno ai 24 g/GJ, con punte di 7 g/GJ per le caldaie a condensazione.

I fattori di emissione abbattuti di Rains-Italia appaiono pertanto sovrastimati. La potenzialità di eventuali misure di sostituzione delle caldaie è maggiore, soprattutto per le caldaie di grande taglia.

La potenzialità di abbattimento con la sostituzione completa del parco caldaie < 35 kW con caldaie che soddisfano la classe 5 della norma UNI EN 483 è pari a circa 20 kt di NO<sub>x</sub>. La sostituzione completa del parco caldaie di taglia > 35 kW con caldaie che soddisfino il marchio tedesco “Angelo Azzurro” è pari a circa 11 kt.

### *Sorgenti stazionarie nel settore Industriale*

Nel settore industriale, gli impianti di combustione relativi ai processi produttivi (diversi dalle caldaie destinate all’auto-produzione di elettricità e calore) rimuovono il 3% delle emissioni di NO<sub>x</sub> considerate in tabella grazie alla modifica del processo di combustione ed alla riduzione non catalitica selettiva (n° 13); il 2% viene rimosso con la sola modifica del processo di combustione (n° 17).

### *Quadro riepilogativo*

Sulla base delle considerazioni condotte fin qui, i valori stimati dal modello Rains-Italia sono stati aggiornati e riportati in tabella 7. La nuova serie di misure ha un potenziale di abbattimento complessivo pari a circa 213 kt, dato da confrontare con le 347 kt riportate in tabella 6.

**Tabella 7:** Tecnologie concretamente praticabili al 2010 (abbattimento > 5 kt di NO<sub>x</sub>)

Progressivo	Category-Activity-Sector-Technology	Removed emissions (kt)	Marginal cost (€/t NO <sub>x</sub> )
1	B/1-GAS-PP_NEW-POGSCR	21,80	2.507
4	T/1-MD-TRA_OT_AGR-CAGEUI	24,78	706
5	A/1-NOF-PR_CEM-PRNOX3	23,09	9.912
7	T/1-HF-TRA_OTS_L-STLHCM	18,33	97
8	T/1-GSL-TRA_RD_LD4-LFEUII	16,54	2.523
9	A/1-GAS-DOM-DGCCR	20,00	13.498
10	T/1-MD-TRA_OTS_M-STMCM	11,90	385
11	T/1-MD-TRA_OT_AGR-CAGEUVI	10,93	39.682
13	B/1-GAS-IN_OC-IOGCSN	10,72	3.666
16	T/1-MD-TRA_OTS_L-STLMCM	9,41	221
17	A/1-GAS-IN_OC-IOGCM	8,04	458
18	T/1-MD-TRA_RD_HD-HDEUI	7,85	1.257
19	B/1-HF-CON_COMB-IOGCSN	7,27	2.157
22	A/1-GAS-DOM-DGCCOM	11,00	3.128
23	B/1-GAS-PP_EX_OTH-POGCSC	5,88	13.733
25	B/1-HF-PP_EX_OTH-POGCSC	5,28	5.937
	<b>Totale</b>	<b>212,8</b>	



---

### **3. Tecnologie con costi di abbattimento contenuti, < 1000 euro /t**

In seconda istanza si è compilata la Tabella 8, secondo il criterio del costo marginale, ovvero le tecnologie di abbattimento considerate sono quelle con i costi marginali più bassi, più precisamente quelle con costo marginale inferiore a 1.000 €/t NO<sub>x</sub> rimossa, ordinate per costo marginale crescente. Tali tecnologie abbattano 97,64 kt di NO<sub>x</sub>, pari al 23% del totale delle emissioni che si possono rimuovere. Il motivo di questa ulteriore selezione è di individuare le tecnologie con elevata efficienza: l'efficienza è il risultato dell'efficacia (consistente abbattimento delle emissioni di NO<sub>x</sub>) unita all'economicità (basso costo marginale, appunto). Su questa base è evidente il vantaggio per la comunità nazionale derivante da un'adozione di queste tecnologie nel più breve tempo possibile.

Notiamo inoltre che alcune di queste tecnologie erano già presenti nella Tabella 6 e che in particolare queste tecnologie più efficienti sono tutte riferite al settore trasporti, eccetto una. Nel commento che segue tali tecnologie verranno tralasciate, visto che il nostro interesse va alle tecnologie con basso costo marginale che non siano già state considerate nel commento alla Tabella 6.

**Tabella 8:** Tecnologie corrispondenti a costi marginali < 1.000 €/t NO<sub>x</sub>

Progressivo	Category-Activity-Sector-Technology	Marginal cost (€/t NO <sub>x</sub> )	Removed emissions (kt)
1	A/1-MD-PP_EX_OTH-POGCM	67	2,18
2	T/1-HF-TRA_OTS_L-STLHCM	97	18,33
3	T/1-MD-TRA_OT_RAI-TIWEUI	160	0,77
4	T/1-MD-TRA_OTS_L-STLMCM	221	9,41
5	A/2-HC1-IN_OC-ISFCM	231	0,14
6	A/1-HC1-IN_OC-ISFCM	231	0,07
7	T/1-MD-TRA_OT_RAI-TIWEUII	241	0,14
8	A/2-HF-IN_OC-IOGCM	245	3,05
9	A/1-HF-IN_OC-IOGCM	245	0,34
10	T/1-MD-TRA_OT_RAI-TIWEUIII	246	0,34
11	T/1-MD-TRA_OT_RAI-TIWEUIVI	249	0,68
12	T/1-MD-TRA_OT_CNS-CAGEUI	342	2,70
13	T/1-MD-TRA_OTS_M-STMCM	385	11,90
14	A/2-HF-IN_BO-IOGCM	441	0,73
15	A/1-HF-IN_BO-IOGCM	441	0,08
16	A/1-GAS-IN_OC-IOGCM	458	8,04
17	A/1-GAS-CON_COMB-IOGCM	458	1,45
18	A/2-OS2-IN_OC-ISFCM	470	0,90
19	A/1-OS2-IN_OC-ISFCM	470	0,39
20	A/1-OS1-PP_EX_OTH-PHCCM	474	0,86
21	T/1-MD-TRA_OT_INW-TIWEUI	501	6,19
22	A/1-MD-IN_OC-IOGCM	687	0,04
23	T/1-MD-TRA_OT_AGR-CAGEUI	706	24,78
24	A/1-GSL-PP_EX_OTH-POGCM	726	0,30
25	A/2-OS2-IN_BO-ISFCM	755	0,14
26	A/1-OS2-IN_BO-ISFCM	755	0,06
27	A/1-LPG-CON_COMB-IOGCM	785	3,09
28	A/1-LPG-IN_OC-IOGCM	785	0,54
	<b>Totale</b>		<b>97,64</b>

In generale, nella Tabella 8 abbondano le tecnologie di abbattimento riferite al settore Trasporti. Più precisamente, ben il 77% del totale delle emissioni rimosse è imputabile a tale settore. Tralasciando le tecnologie già considerate nel precedente paragrafo le opzioni legate all'adeguamento della flotta più vecchia, praticabili fin da ora sono:

- adeguare agli standard EURO I per HDV, 1999 i trasporti ferroviari (n° 3);
- adottare standard analoghi all'EURO I per HDV, 1999 per macchinari da costruzione (n° 12).

Le tecnologie utilizzabili in un orizzonte di tempo più lungo sono invece:

- adeguare agli standard EURO II per HDV, 2000/2002 i trasporti ferroviari (n° 7);
- adeguare agli standard EURO III per HDV i trasporti ferroviari (n° 10);
- adeguare agli standard EURO VI per HDV i trasporti ferroviari (n° 11).

Un altro settore molto ricorrente nella Tabella 8 è quello (IN\_OC) della combustione relativa ai processi produttivi (distinta dalla combustione destinata all'auto-produzione di elettricità e calore): esso incide per quasi il 14% sul totale emissioni rimosse. La tecnologia di abbattimen-

---

to consiste nella modifica del processo di combustione per i seguenti combustibili: antracite, grado 1 (1% di zolfo) (n° 5 e n° 6); olio combustibile pesante (n° 8 e n° 9); altri combustibili solidi ad alto tenore di zolfo (inclusi i rifiuti ad alto tenore di zolfo) (n° 18 e n° 19); distillati medi (diesel, olio combustibile leggero) (n° 22); infine gas di petrolio liquefatto (n° 28).

L'altro settore dei consumi di energia per uso industriale, ovvero quello (IN\_BO) della combustione nei generatori di vapore, turbine a gas e motori stazionari, incide solo dell'1% sul totale della tabella 8, e la tecnologia di abbattimento consiste nella modifica del processo di combustione per i seguenti combustibili: olio combustibile pesante (n° 14 e n° 15); altri combustibili solidi ad alto tenore di zolfo (inclusi i rifiuti ad alto tenore di zolfo) (n° 25 e n° 26).

Applicando tecnologie di abbattimento alle *Power Plants* si incide del 3,4% sul totale della Tabella 8, in particolare modificando il processo di combustione di impianti esistenti che utilizzano rispettivamente: distillati medi (diesel, olio combustibile leggero) (n° 1) e leggeri (n° 24); altri combustibili solidi a basso tenore di zolfo (biomassa, rifiuti, legno) (n° 20).

Infine il settore della produzione e conversione di combustibile (CON\_COMB) incide quasi del 5% sul totale della Tabella 8, con la modifica del processo di combustione, nel caso in cui il combustibile è il gas naturale (inclusi altri gas) (n° 17), e nel caso in cui il combustibile è gas di petrolio liquefatto (n° 27).



---

## 4. Risultati analisi settoriale e tecnologica

Il principale risultato che emerge dalle analisi precedenti è la notevole sproporzione che esiste tra le potenzialità di riduzione delle emissioni di NO<sub>x</sub> stimate dal modello Rains-Italia per il settore dei trasporti (210 kt) e le potenzialità stimate per gli altri settori (comprese tra 25 e 50 kt circa). Questi risultati indicano l'importanza del settore trasporti in una politica di riduzione delle emissioni.

L'obiettivo di riduzione da conseguire è pari alla differenza tra l'obiettivo di emissione stabilito dalla direttiva NEC 2001/81/CE, 990 kt di ossidi di azoto, e le emissioni previste al 2010; in una prima fase queste emissioni erano state stimate pari a 1056 kt, vedi Appendice 1.

Le emissioni previste al 2010 sono state recentemente ricalcolate tenendo conto dell'aggiornamento delle proiezioni in corso nell'ambito del processo di revisione della direttiva 2001/81/CE da poco avviato dalla Commissione Europea e dello scenario energetico aggiornato già descritto nell'introduzione. Tali elementi, data la metodologia di analisi utilizzata, non modificano apprezzabilmente la valutazione dei margini di riduzione per settore. Essi hanno però portato ad una crescita delle emissioni complessive previste al 2010 tutt'altro che trascurabile, essendo attualmente pari a 1188 kt rispetto alle 1056 kt stimate in precedenza.

Inoltre è importante tenere presente che dal momento in cui fu stabilita la direttiva 2001/81/CE ad ora sono sopraggiunte alcune modifiche metodologiche nel calcolo delle proiezioni delle emissioni. In sede di individuazione dell'obiettivo di riduzione, queste modifiche potrebbero essere prese in considerazione, causando una variazione del valore dell'obiettivo da raggiungere. Nel documento Enea dal titolo "Aggiornamento dello scenario delle emissioni di ossidi di azoto al 2010"<sup>14</sup> sono riportati sia lo scenario di riferimento CLE aggiornato ad Agosto 2005 con la corrispondente curva dei costi aggiornata, che una possibile individuazione dell'obiettivo di riduzione da perseguire, che risulta appunto, nella peggiore tra le ipotesi possibili (si veda il citato documento per una spiegazione degli altri possibili obiettivi di riduzione), pari a 198 kt. Pertanto, nelle analisi e nelle valutazioni che seguono, si farà riferimento a questo valore come obiettivo di riduzione per il rispetto della direttiva.

La lista completa delle possibili misure di riduzione delle emissioni per ogni settore economico è contenuta in Appendice 1, ed una visione riepilogativa è riportata nella successiva Figura 6, che riunisce il dato di abbattimento con il dato dei costi marginali, per ogni settore.

Sulla base dell'analisi sopra riportata sono possibili due diverse considerazioni:

- a) con un obiettivo di riduzione rispetto al tendenziale di 198 kt di ossidi di azoto, la Figura 6 mostra in modo evidente che occorrerebbe utilizzare tutte le misure realisticamente adottabili in tutti i settori. In particolare il settore dei trasporti, delle centrali elettriche ed il settore industriale (combustione e processi); non si ritiene realistico porre in essere politiche in grado di determinare l'adozione di pressoché tutte le tecnologie disponibili da qui al 2010, pertanto il raggiungimento del tetto al totale delle emissioni nazionali sembra fuori portata;

---

<sup>14</sup> Il rapporto Enea "Studio di fattibilità sull'utilizzo di strumenti di policy per ridurre le emissioni di ossidi di azoto" presenta un documento che aggiorna le proiezioni delle emissioni di ossidi di azoto alla luce delle ultime informazioni disponibili, trasmesso al MATTM con la relazione finale sulle attività svolte.



---

b) dato che non si ritiene di poter porre in pratica nel breve tempo a disposizione tutte le misure necessarie si usa l'analisi fatta al fine di individuare quelle misure praticabili che diano significativi risultati in termini di abbattimento delle emissioni a costi contenuti.

In questa seconda ipotesi si ipotizza di limitare l'attenzione alle misure disponibili a costi marginali di abbattimento inferiori a 3k€/t, (vedi Appendice 1), per cui si può vedere che:

- il settore dei trasporti presenta un potenziale di riduzione di circa 140 kt; le tecnologie considerate sono però relative in gran parte alle navi ed ai trattori agricoli, di cui si chiede l'aggiornamento agli standard emissivi EURO I, oltre all'esclusione dalla circolazione delle automobili inferiori allo standard EURO II;
- il settore dei grandi impianti puntuali presenta una potenzialità di circa 40 kt; si tratta però di modificare gran parte degli impianti esistenti, dotandoli delle tecnologie migliori disponibili, opzione tutt'altro che praticabile, visto che gli standard emissivi necessari sono spesso inferiori alle emissioni autorizzate;
- nel caso dell'industria la potenzialità è di circa 30 kt, le misure previste comportano l'adeguamento di pressoché tutte le caldaie (anche quelle di piccole dimensioni) almeno al livello di bruciatori a bassa emissione di ossidi di azoto;
- il settore dei processi produttivi e quello civile sembrano non presentare misure con costi inferiori ai 3k €/t.

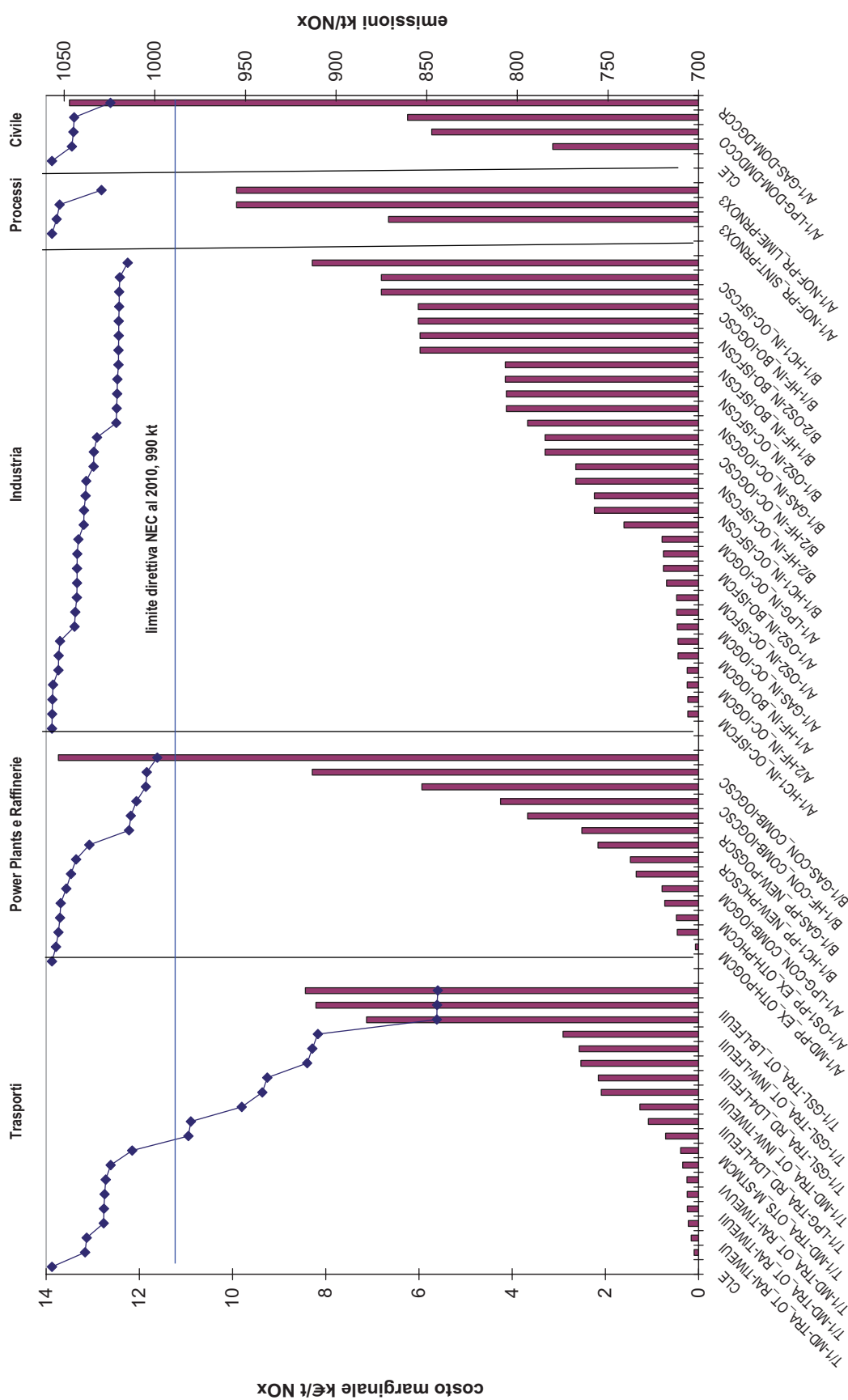


Figura 6: Curve dei costi e potenziale di abbattimento settoriale al 2010



---

## 5. Strumenti di policy per la riduzione delle emissioni di NO<sub>x</sub>

Il documento Enea “Valutazione dell’applicabilità di diversi strumenti di *policy* nel sistema energetico italiano per la riduzione delle emissioni di NO<sub>x</sub>”<sup>15</sup> presenta un sommario dell’intera attività di analisi svolta per lo studio di fattibilità sull’utilizzo di strumenti di *policy* per ridurre le emissioni di ossidi di azoto in Italia.

In estrema sintesi, confrontando tre strumenti di *policy* (due di carattere economico: *emission trading* e tassazione ambientale; uno di tipo comando e controllo: standard), anche se dal punto di vista della realizzabilità pratica la scelta cadrebbe sugli standard, l’*emission trading* (“*cap and trade*”) sarebbe preferibile dal punto di vista degli effetti distributivi, dell’efficacia ambientale e dell’efficienza economica.

Il documento entra quindi più nel dettaglio, a livello settoriale, per capire quali margini ci sono per ottenere gli obiettivi di riduzione degli NO<sub>x</sub> e quali strumenti di *policy* sono meglio adattabili a ciascun settore. Infatti per valutare la fattibilità e l’efficienza di un sistema di *emission trading* è necessario considerare la numerosità delle fonti di emissione sia nell’intero sistema energetico che all’interno dei vari settori. In particolare va verificata la presenza nel sistema energetico italiano, nel medio periodo, di differenti costi di abbattimento, sia tra i vari settori economici che all’interno di ciascun settore. Come sottolineato in letteratura, si tratta di una condizione necessaria affinché uno scambio di permessi di emissione sia di fatto realizzabile e risulti più efficiente rispetto alle possibili alternative (in quanto gli obiettivi possono essere raggiunti al minimo costo). Inoltre una valutazione della praticabilità di un sistema di permessi di emissione di NO<sub>x</sub> va fatta a partire dalle proiezioni circa l’evoluzione futura del sistema energetico italiano.

La Figura 6 mostra che a livelli simili di costo marginale di abbattimento corrispondono potenziali di riduzione delle emissioni molto diversi nei diversi settori. Mentre nelle raffinerie e nei settori industria, civile, elettrico, a costi marginali di abbattimento “modesti” corrispondono “modeste” riduzioni delle emissioni, nel settore dei trasporti sembrano possibili riduzioni delle emissioni molto significative. La rilevanza del settore dei trasporti, emersa da quanto visto, impone evidentemente di approfondirne l’analisi.

Almeno in prima approssimazione il settore dei trasporti è caratterizzato da una notevole parcellizzazione delle fonti di emissione, per cui i notevoli margini di abbattimento sembrano difficilmente perseguibili mediante un sistema di *cap and trade*. Ciononostante, assumendo che le società di trasporto passeggeri e quelle di trasporto merci per conto terzi di notevoli dimensioni siano le società responsabili della quota maggioritaria delle emissioni provenienti dai veicoli pesanti, si può arrivare a definire un numero non troppo elevato (circa 650) di società di trasporto che potrebbero essere coinvolte in un meccanismo di *emission trading*. Ma resterebbe il problema della difficoltà di valutazione/misurazione delle rispettive emissioni di ossidi di azoto.

Dal secondo punto di vista, se si passa ad esaminare più nel dettaglio i costi di abbattimento

---

<sup>15</sup> Vedi nota 11.

---

del settore, si scopre che la gran parte delle misure disponibili a costi marginali ridotti è costituita da misure relative ai trasporti non su strada, i trasporti marittimi in primis, che sia pure in linea puramente teorica (perché la massima applicazione di tutte le misure possibili nel sotto-settore è in effetti difficilmente realizzabile) sarebbero in grado di permettere da sole un avvicinamento sostanziale all'obiettivo. Ma in primo luogo, è necessario verificare l'effettiva realizzabilità di un massiccio obbligo di riduzione in capo al settore marittimo, indipendentemente dallo strumento utilizzato. A tale proposito, diversi argomenti fanno immaginare che la praticabilità di questa ipotesi risulterebbe piuttosto difficile, sebbene non impossibile: la mobilità delle fonti di emissione, che implica la possibilità per i soggetti colpiti di sfuggire all'obbligo; le notevoli difficoltà amministrative tanto per il regolatore che per il settore navale, data la novità di un intervento di riduzione in capo ad un settore finora non colpito; la necessità di un monitoraggio continuo delle emissioni. In secondo luogo, stabilita la suddetta realizzabilità, resta poi da valutare quale sia lo strumento di *policy* "migliore", e se possa essere possibile il coinvolgimento del settore in un sistema di *cap and trade*.

Dall'analisi settoriale si può concludere che i due strumenti economici analizzati (pur nelle loro diverse varianti) risultano complessivamente "preferibili" rispetto ad uno strumento meno flessibile, del tipo comando-e-controllo, come lo standard. Ciononostante, l'applicazione degli strumenti economici al contesto qui analizzato mostra anche i diversi *trade-off* che li caratterizzano, il principale dei quali sembra quello tra i livelli generalmente buoni di efficacia ambientale e di efficienza economica e la non sempre semplice realizzabilità pratica.

Inoltre, se si decide di adottare le misure con costi marginali minori, è praticamente impossibile rinunciare ad agire su pressoché tutti i settori. Una strategia possibile sarebbe prendere in considerazione misure il cui costo marginale sia inferiore ad un tetto massimo non troppo elevato, ma che allo stesso tempo sia tale che al di sotto di esso resti comunque disponibile un insieme di misure in grado di permettere un abbattimento potenziale ben maggiore della distanza dall'obiettivo di riduzione. In tal modo, dovrebbe essere possibile provare ad ottenere il possibile da ciascun settore, lasciando al contempo a ciascuno un discreto margine di riduzione potenziale "non sfruttato". Dovrebbe così essere possibile selezionare per ogni settore degli interventi utili ma non troppo penalizzanti, possibilmente introdotti anche in modo graduale. Al contrario, programmi più ambiziosi mirati a settori specifici risulterebbero probabilmente difficili da implementare, soprattutto entro il (breve) orizzonte temporale qui considerato, a causa delle molte difficoltà pratiche (incertezze sulla capacità di monitoraggio, di verifica e di imposizione degli obblighi, questioni legali, vincoli politici, difficoltà amministrative, ecc...). Tra l'altro, considerando la scarsa esperienza esistente circa l'utilizzo di strumenti di mercato, questo approccio graduale costituirebbe un'esperienza utile per successivi allargamenti (a più fonti e/o settori di emissione).

Notevoli potenziali di riduzione sono possibili nel settore elettrico, nell'industria e nella raffinazione; per tutti i settori suddetti emerge l'ipotesi che un sistema di scambio di permessi di emissione sia la soluzione più opportuna, per la maggiore efficacia ambientale rispetto all'ipotesi di tassazione delle emissioni e la maggiore efficienza economica rispetto all'ipotesi degli standard ambientali. Anche in questo caso, però, vanno tenute in conto le probabili significative difficoltà pratiche di una implementazione immediata.

Inoltre, nonostante la caratteristica flessibilità dello strumento renda lo scambio di permessi di emissione potenzialmente preferibile agli altri, da diversi punti di vista, la considerazione del-

---

l'insieme degli elementi analizzati fa emergere come l'intervento probabilmente più "efficace", per il raggiungimento dell'obiettivo "immediato" imposto dalla direttiva 2001/81/CE, riguardi invece un settore, quello marittimo, nel quale tale strumento può essere però applicato con molte difficoltà. In particolare, a fronte di un buon livello di efficienza economica e di efficacia ambientale, l'applicazione del *trading* in questo settore sembra presentare difficoltà pratiche e costi amministrativi tali da sconsigliarla quantomeno nel breve periodo, per le notevoli incertezze relative all'attività di monitoraggio, alla possibilità di imporre e verificare il rispetto degli obblighi, e per i tempi lunghi necessari a superare i probabili ostacoli di tipo legale e politico. Quindi, per l'obiettivo "immediato" sembra più appropriato iniziare con un approccio graduale, teoricamente meno efficiente ma più realistico, per poi valutare, anche alla luce dell'esperienza (oggi ancora limitata), una successiva espansione dello strumento. Tenendo anche conto dei risultati di uno studio specifico circa l'applicabilità di diversi strumenti di *policy* al settore marino<sup>16</sup>, questo approccio graduale potrebbe consistere in una introduzione progressiva di diversi strumenti (nei diversi settori), anche combinati tra loro:

- in primo luogo, l'uso contemporaneo di due strumenti (affiancati eventualmente da sussidi) caratterizzati da un livello piuttosto basso di efficacia ambientale, che hanno però il pregio di comportare poche difficoltà pratiche, e che potendo agire su un elevato margine potenziale di abbattimento delle emissioni, possono comunque determinare un significativo avvicinamento all'obiettivo, a costi molto ridotti:
  - a) una tassa differenziata nei porti, che può usufruire della positiva esperienza svedese, caratterizzata da una introduzione graduale e in un primo momento anche facoltativa (per i porti), ma fortemente incentivata. Per l'uso di questo strumento, sarebbe tra l'altro fortemente consigliabile il coinvolgimento degli altri paesi europei per ridurre il rischio di un impatto negativo sui porti nazionali;
  - b) uno standard sulle emissioni delle navi (che potrebbe riguardare anche la navigazione nei canali navigabili interni, da cui "in potenza" può derivare una riduzione significativa delle emissioni, circa 20kt, a costi molto contenuti, circa 0,5 k€/t);
- in un momento successivo, si potrebbe procedere verso un vero e proprio sistema di *cap-and-trade* passando per ulteriori programmi volontari, basati sul *benchmarking* (in cui eventualmente gli operatori possono riunirsi in consorzi per ridurre i costi di abbattimento) e poi su un meccanismo di crediti di emissione, che potrebbe rendere più economico il soddisfacimento degli obblighi di fonti "terrestri" soggette parallelamente a un meccanismo di *cap-and-trade*.

Sebbene l'applicazione della strategia di intervento qui ipotizzata abbia il pregio di partire dalla regolamentazione esistente, prevedendo poi una transizione ad un sistema basato su meccanismi di mercato mediante passaggi successivi (piuttosto che in modo immediato, potendo quindi acquisire in modo progressivo informazioni utili), è comunque necessario, per definire nel dettaglio una specifica proposta legislativa, un approfondimento e una valutazione dettagliata di alcune questioni chiave. Tra queste, vanno segnalate le seguenti:

– per tutti i possibili strumenti di intervento è prioritario approfondire i possibili problemi legali e politici che possono insorgere al momento dell'implementazione. Una strada per ridur-

---

<sup>16</sup> NERA, 2004, *Evaluation of the Feasibility of Alternative Market-Based Mechanisms To Promote Low-Emission Shipping In European Union Sea Areas*, A Report for the European Commission, Directorate-General Environment.

- 
- re questi rischi può essere quella del confronto preventivo con le associazioni dei soggetti coinvolti;
- un aspetto di particolare rilievo, dal punto di vista della necessaria cornice legislativa, riguarda l'individuazione delle istituzioni (esistenti o da creare) necessarie per l'efficacia degli interventi;
  - un elemento di fondamentale importanza per tutti gli strumenti di *policy* è quello della possibilità di realizzare, nei diversi ambiti, un sistema di monitoraggio delle emissioni, individuando anche le caratteristiche che esso deve avere per essere efficace;
  - accanto al problema del monitoraggio, un altro problema riguarda la possibilità di verificare, per i diversi settori e tecnologie, il rispetto degli obblighi di emissione, e la definizione dei modi con cui sanzionare le violazioni;
  - anche la possibilità di affiancare dei sussidi ai diversi strumenti di mercato richiede approfondimenti specifici, settore per settore, per valutarne la praticabilità, tenendo anche conto di forme di incentivazione già esistenti;
  - per l'approccio basato sui crediti, in particolare, è poi necessario sviluppare procedure per la certificazione dei crediti, a partire dalla definizione delle cosiddette *baseline*.

---

## 6. Conclusioni

Le analisi che si presentano in questo documento sono basate sulla curva nazionale dei costi per gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) all'anno 2010 calcolata con il modello Rains-Italia. Nell'ambito della stima dell'evoluzione delle emissioni nocive tra il 2000 e il 2020 per mezzo del modello Rains-Italia, si è preliminarmente verificata l'esistenza, per ciascuno dei principali settori economici, del margine di abbattimento teoricamente disponibile. La curva nazionale dei costi comprende l'elenco delle misure di abbattimento delle emissioni che possono essere introdotte, in aggiunta a quelle già previste dalla legislazione vigente.

Un primo risultato che emerge dalle analisi di dettaglio è relativo all'aggiornamento dei valori di riduzione delle emissioni stimati dal modello Rains-Italia. È stata eseguita un'analisi sulla fattibilità delle misure proposte dal modello, limitatamente a quelle con un potenziale di abbattimento superiore a 5 kt/NO<sub>x</sub> anno e ritenute implementabili entro il 2010. I risultati del lavoro mostrano un potenziale di abbattimento complessivo per tutte queste misure pari a circa 213 kt, vedi Tabella 7. Per le stesse misure, sempre all'orizzonte 2010 era stimato dal modello un potenziale di 347 kt, vedi Tabella 6.

Un secondo risultato che emerge è la notevole sproporzione che esiste tra le potenzialità di riduzione delle emissioni di NO<sub>x</sub> stimate dal modello Rains-Italia per il settore dei trasporti (140 kt) e le potenzialità stimate per gli altri settori (40 kt per i grandi impianti di combustione, 30 kt per l'industria e nessuna per i processi industriali ed il civile). Questi risultati indicano l'importanza del settore trasporti in una politica di riduzione delle emissioni.

Questi potenziali di riduzione delle emissioni vanno confrontati con l'obiettivo di riduzione aggiornato da conseguire, pari a 198 kt, vedi la valutazione nel Capitolo 4. I risultati del lavoro mostrano comunque che una riduzione delle emissioni di questo ordine di grandezza sarebbe possibile. La Figura 6 mostra che occorrerebbe utilizzare tutte le misure realisticamente adottabili in tutti i settori. In particolare le misure del settore dei trasporti, delle centrali elettriche e del settore industriale (combustione e processi). L'analisi puntuale delle misure da adottare che avrebbero il potenziale di conseguire l'obiettivo di riduzione ipotizzato di circa 200 kt di ossidi di azoto fa però notare alcune difficoltà nell'adozione pratica delle misure stesse:

- le tecnologie considerate nel settore dei trasporti sono relative in gran parte alle navi ed ai trattori agricoli, di cui si chiede l'aggiornamento agli standard emissivi euro 1, oltre all'esclusione dalla circolazione delle automobili inferiori allo standard euro 2; la messa in atto di queste azioni nel giro di circa un anno è problematica;
- nel settore dei grandi impianti si tratta di modificare molti impianti esistenti, dotandoli delle tecnologie migliori disponibili, opzione tutt'altro che praticabile in tempi brevi, visto che gli standard emissivi proposti sono spesso inferiori alle emissioni autorizzate;
- nel caso dell'industria le misure previste comportano l'adeguamento di pressoché tutte le caldaie (anche quelle di piccole dimensioni) almeno al livello di bruciatori a bassa emissione di ossidi di azoto.

Dal punto di vista degli strumenti di *policy* più appropriati per mettere in atto le misure ipotizzate per il settore dei trasporti (quello con maggiori potenzialità) lo strumento più adatto sembra essere un approccio graduale che consiste in una introduzione progressiva di diversi strumenti, anche combinati tra loro. Chiaramente tali azioni dispiegano i loro effetti nel medio periodo, oltre l'orizzonte 2010. Gli strumenti adottabili sono i seguenti:



- 
- a) una tassa differenziata nei porti, caratterizzata da un'introduzione graduale e in un primo momento anche facoltativa (per i porti), ma fortemente incentivata;
  - b) uno standard sulle emissioni delle navi (che potrebbe riguardare anche la navigazione nei canali navigabili interni, da cui "in potenza" può derivare una riduzione significativa delle emissioni, circa 20kt, a costi molto contenuti, circa 0,5 k€t);
  - c) in un momento successivo, si potrebbe procedere verso un vero e proprio sistema di *cap-and-trade* passando per ulteriori programmi volontari, basati sul *benchmarking* (in cui eventualmente gli operatori possono riunirsi in consorzi per ridurre i costi di abbattimento) e poi su un meccanismo di crediti di emissione, che potrebbe rendere più economico il soddisfacimento degli obblighi di fonti "terrestri" soggette parallelamente a un meccanismo *cap-and-trade*.

Per gli altri settori (elettrico, industria e raffinazione) l'ipotesi di un sistema di scambio di permessi di emissione sembra l'opzione più opportuna, per la maggiore efficacia ambientale rispetto all'ipotesi di tassazione delle emissioni e la maggiore efficienza economica rispetto all'ipotesi degli standard ambientali. Anche in questo caso, però, vanno tenute in conto le probabili significative difficoltà pratiche di una implementazione immediata; per ridurre al minimo le inevitabili difficoltà lo strumento dovrebbe essere introdotto con gradualità e almeno all'inizio preferibilmente su base volontaria.

Sebbene l'applicazione della strategia di intervento ipotizzata abbia il pregio di partire dalla regolamentazione esistente, prevedendo poi una transizione ad un sistema basato su meccanismi di mercato mediante passaggi successivi, è comunque necessario, per definire nel dettaglio una specifica proposta legislativa, un approfondimento e una valutazione dettagliata di alcune questioni chiave. Tra queste, vanno segnalate l'individuazione delle istituzioni (esistenti o da creare) necessarie, un sistema di monitoraggio delle emissioni, la possibilità di verificare, per i diversi settori e tecnologie, il rispetto degli obblighi di emissione, e la definizione dei modi con cui sanzionare le violazioni, approfondimenti specifici degli eventuali sussidi, per valutarne la praticabilità e tenendo anche conto di forme di incentivazione già esistenti.

Pertanto in conclusione non si ritiene realistico riuscire a porre in essere politiche in grado di determinare l'adozione di pressoché tutte le tecnologie disponibili da qui al 2010, pertanto il raggiungimento del tetto al totale delle emissioni nazionali sembra fuori portata. Tuttavia un aiuto a ridurre l'ammontare delle misure necessarie potrebbe venire dalla valutazione dei possibili effetti, sulle emissioni di NO<sub>x</sub>, di scenari energetici che prevedano anche politiche dirette all'aumento dell'efficienza energetica (come previsto dal sistema dei certificati bianchi) e misure di incentivazione delle fonti energetiche rinnovabili (come previsto dal sistema dei certificati verdi). L'impatto di tali misure sui consumi di energia e sul mix di combustibili utilizzati dal sistema può avere un effetto positivo "indiretto" sulle emissioni di NO<sub>x</sub>, determinando quindi una riduzione delle necessità di abbattimento rispetto allo scenario tendenziale, con conseguente possibile riduzione degli obblighi (e degli oneri) per i diversi settori.

# Appendice 1

## Potenzialità di riduzione delle emissioni di ossido di azoto nei vari settori al 2010

	Costo marginale (k€t NO <sub>x</sub> )	Emissioni residue (kt)
CLE	0,0001	1056,77
T/1-HF-TRA_OTS_L-STLHCM	0,09673	1038,44
T/1-MD-TRA_OT_RAI-TIWEUI	0,15999	1037,67
T/1-MD-TRA_OTS_L-STLMCM	0,2213	1028,26
T/1-MD-TRA_OT_RAI-TIWEUII	0,24122	1028,12
T/1-MD-TRA_OT_RAI-TIWEUIII	0,24579	1027,78
T/1-MD-TRA_OT_RAI-TIWEUVI	0,24888	1027,1
T/1-MD-TRA_OT_CNS-CAGEUI	0,34194	1024,4
T/1-MD-TRA_OTS_M-STMCM	0,38554	1012,5
T/1-MD-TRA_OT_AGR-CAGEUI	0,70574	981,53
T/1-LPG-TRA_RD_LD4-LFEUII	1,07743	980,17
T/1-MD-TRA_RD_HD-HDEUI	1,25739	952,13
T/1-MD-TRA_OT_INW-TIWEUII	2,08493	940,67
T/1-MD-TRA_OT_INW-TIWEUIII	2,14864	937,94
T/1-GSL-TRA_RD_LD4-LFEUII	2,52291	915,94
T/1-MD-TRA_OT_CNS-CAGEUIII	2,56276	913,08
T/1-GSL-TRA_OT_INW-LFEUII	2,90854	910
T/1-MD-TRA_RD_HD-HDEUVI	7,12411	844,37
T/1-GSL-TRA_OT_LB-LFEUII	8,21329	844,24
T/1-GSL-TRA_OT_INW-LFEUIV	8,43569	843,92
CLE	0,0001	1056,77
A/1-MD-PP_EX_OTH-POGCM	0,06687	1054,59
A/1-GAS-CON_COMB-IOGCM	0,45788	1053,14
A/1-OS1-PP_EX_OTH-PHCCM	0,47383	1052,28
A/1-GSL-PP_EX_OTH-POGCM	0,72599	1051,98
A/1-LPG-CON_COMB-IOGCM	0,78494	1048,89
B/1-HF-PP_NEW-POGSCR	1,33542	1046,23
B/1-HC1-PP_NEW-PHCSCR	1,46359	1043,39
B/1-HF-CON_COMB-IOGCSN	2,1573	1036,12
B/1-GAS-PP_NEW-POGSCR	2,50717	1014,32
B/1-GAS-CON_COMB-IOGCSN	3,66591	1013,29
B/1-HF-CON_COMB-IOGCSC	4,24762	1010,23
B/1-HF-PP_EX_OTH-POGCSC	5,93726	1004,95
B/1-GAS-CON_COMB-IOGCSC	8,28615	1004,54
B/1-GAS-PP_EX_OTH-POGCSC	13,73318	998,66
CLE	0,0001	1056,77
A/1-HC1-IN_OC-ISFCM	0,23096	1056,70
A/2-HC1-IN_OC-ISFCM	0,23096	1056,56
A/2-HF-IN_OC-IOGCM	0,24554	1056,22
A/1-HF-IN_OC-IOGCM	0,24554	1053,17
A/1-HF-IN_BO-IOGCM	0,44153	1053,09
A/2-HF-IN_BO-IOGCM	0,44153	1052,36

	<b>Costo marginale (k€t NO<sub>x</sub>)</b>	<b>Emissioni residue (kt)</b>
A/1-GAS-IN_OC-IOGCM	0,45788	1044,32
A/2-OS2-IN_OC-ISFCM	0,46985	1043,93
A/1-OS2-IN_OC-ISFCM	0,46985	1043,03
A/1-MD-IN_OC-IOGCM	0,68682	1042,99
A/1-OS2-IN_BO-ISFCM	0,75512	1042,93
A/2-OS2-IN_BO-ISFCM	0,75512	1042,79
A/1-LPG-IN_OC-IOGCM	0,78494	1042,25
A/1-GAS-IN_BO-IOGCM	1,60245	1039,21
B/1-HC1-IN_OC-ISFCSN	2,23385	1039,15
B/2-HC1-IN_OC-ISFCSN	2,23385	1038,3
B/2-HF-IN_OC-ISFCSN	2,63335	1037,85
B/1-HF-IN_OC-ISFCSN	2,63335	1033,79
B/2-HF-IN_OC-IOGCSC	3,2955	1033,61
B/1-HF-IN_OC-IOGCSC	3,2955	1031,98
B/1-GAS-IN_OC-IOGCSN	3,66591	1021,26
B/2-OS2-IN_OC-ISFCSN	4,12464	1021,11
B/1-OS2-IN_OC-ISFCSN	4,12464	1020,75
B/2-HF-IN_BO-ISFCSN	4,15127	1020,68
B/1-HF-IN_BO-ISFCSN	4,15127	1020,06
B/1-OS2-IN_BO-ISFCSN	5,97425	1020,04
B/2-OS2-IN_BO-ISFCSN	5,97425	1019,98
B/2-HF-IN_BO-IOGCSC	6,01521	1019,95
B/1-HF-IN_BO-IOGCSC	6,01521	1019,7
B/2-HC1-IN_OC-ISFCSC	6,80571	1019,68
B/1-HC1-IN_OC-ISFCSC	6,80571	1019,34
B/1-GAS-IN_OC-IOGCSC	8,28615	1015,05
CLE	0,0001	1056,77
A/1-NOF-PR_SINT-PRNOX3	6,655	1054,24
A/1-NOF-PR_CEM-PRNOX3	9,9117	1052,56
A/1-NOF-PR_LIME-PRNOX3	9,9117	1029,47
CLE	0,0001	1056,77
A/1-GAS-DOM-DGCCOM	3,12812	1045,77
A/1-LPG-DOM-DMDCCO	5,72542	1044,9
A/1-MD-DOM-DMDCCO	6,24591	1044,5
A/1-GAS-DOM-DGCCR	13,49765	1024,5

---

## Appendice 2

### Legenda:

#### CATEGORIE/CLASSI:

Per le sorgenti stazionarie, la categoria A indica le tecnologie che possono in qualunque momento essere sostituite da una categoria più efficiente, mentre la categoria B indica le tecnologie che una volta installate non possono essere sostituite da tecnologie più efficienti.

Per le sorgenti mobili, la categoria T indica che i veicoli sono prodotti nel rispetto della normativa vigente.

Le classi 1 e 2 si riferiscono alla capacità: classe 1 = prima del 2005; classe 2 = dopo il 2005.

#### COMBUSTIBILI:

**GAS**= gas

**GSL**= benzina senza piombo, kerosene, nafta

**HC1**= antracite, grado 1 (1% zolfo)

**HF**= olio combustibile pesante

**LPG**= gas di petrolio liquefatto

**MD**= distillati medi

**OS2**= altri combustibili solidi ad alto tenore di zolfo

#### SETTORI:

**PP\_EX\_OTH**= centrali elettriche esistenti (entrate in esercizio prima della fine del 1995)

**PP\_NEW**= centrali elettriche nuove

**CON\_COMB**= processi di trasformazione del combustibile

**DOM**= settore civile

**IN\_BO**= processi di combustione nei generatori di vapore, turbine a gas e motori stazionari nel settore industriale

**IN\_OC**= altri processi di combustione nel settore industriale

**PR\_CEM**= produzione di cemento (emissioni da processo)

**PR\_LIME**= produzione di calce (emissioni da processo)

**PR\_NIAC**= produzione di acido nitrico (emissioni da processo)

**PR\_REF**= raffinazione di petrolio (emissioni da processo)

**PR\_SINT**= impianti di sinterizzazione (emissioni da processo)

**TRA\_RD\_LD4**= trasporto su strada, auto e furgoni leggeri con motori a quattro tempi

**TRA\_RD\_HD**= trasporto su strada, veicoli pesanti

**TRA\_OT\_AGR**= trasporto non su strada, macchine agricole

**TRA\_OT\_INW**= trasporto non su strada, canali navigabili interni

**TRA\_OT\_RAI**= trasporto non su strada, ferrovia

**TRA\_OT\_LB**= altri trasporti terrestri non su strada

**TRA\_OTS\_M**= trasporto marittimo, navi di medio tonnellaggio

**TRA\_OTS\_L**= trasporto marittimo, navi di grande tonnellaggio

---

## **TECNICHE DI ABBATTIMENTO:**

### ***Power Plants (PP):***

**PHCSCR**= riduzione catalitica selettiva – nuovi impianti (combustibile: antracite)

**POGCM**= modifica processo di combustione – impianti esistenti (combustibile liquido o gas)

**POGCSC**= modifica processo di combustione + riduzione catalitica selettiva – impianti esistenti (combustibile liquido o gas)

**POGSCR**= riduzione catalitica selettiva – nuovi impianti (combustibile liquido o gas)

### ***Processi di trasformazione del combustibile e industria:***

**IOGCM**= modifica processo di combustione (combustibile liquido o gas)

**IOGCSC**= modifica processo di combustione + riduzione catalitica selettiva (combustibile liquido o gas)

**IOGCSN**= modifica processo di combustione + riduzione non catalitica selettiva (combustibile liquido o gas)

**ISFCM**= modifica processo di combustione (combustibili solidi)

**ISFCSC**= modifica processo di combustione + riduzione catalitica selettiva (combustibili solidi)

**ISFCSN**= modifica processo di combustione + riduzione non catalitica selettiva (combustibili solidi)

**PRNOX1**= controllo emissioni da processo – stadio 1

**PRNOX2**= controllo emissioni da processo – stadio 2

**PRNOX3**= controllo emissioni da processo – stadio 3

### ***Settore civile:***

**DGCCOM**= modifica processo di combustione – settore commerciale (combustibile gas)

**DGCCR**= modifica processo di combustione – settore commerciale e residenziale (combustibile gas)

**DMDCO**= modifica processo di combustione – settore commerciale (distillati medi e combustibile leggeri)

**DMDCR**= modifica processo di combustione – settore commerciale e residenziale (distillati medi e combustibile leggeri)

### ***Trasporto su strada, auto e furgoni leggeri con motori a 4 tempi:***

**LFEUI**= Euro I

**LFEUII**= Euro II

**LFEUIII**= Euro III

**LFEUIV**= Euro IV

**LFEUV**= Euro V – post 2005, stadio 1

**LFEUVI**= Euro VI – post 2005, stadio 2

**MDEUI**= Euro I – 1992/1994

**MDEUII**= Euro II – 1996

**MDEUIII**= Euro III – 2000

**MDEUIV**= Euro IV – 2005

**MDEUV**= Euro V – post 2005, stadio 1

**MDEUVI**= Euro VI – post 2005, stadio 2

### ***Trasporto su strada, veicoli pesanti:***

**HDEUI**= Euro I – 1992

**HDEUII**= Euro II – 1996

**HDEUIII**= Euro III – 2000

---

**HDEUIV**= Euro IV – 2005  
**HDEUV**= Euro V – 2008  
**HDEUVI**= Euro VI – post 2008  
**HDSEI**= stadio 1  
**HDSEII**= stadio 2  
**HDSEIII**= stadio 3

***Trasporto non su strada, veicoli agricoli:***

**CAGEUI**= Analogo allo standard Euro I per i veicoli pesanti – 1999  
**CAGEUII**= Analogo allo standard Euro II per i veicoli pesanti – 2000/2002  
**CAGEUIII**= Analogo allo standard Euro III per i veicoli pesanti  
**CAGEUIV**= Analogo allo standard Euro IV per i veicoli pesanti  
**CAGEUV**= Analogo allo standard Euro V per i veicoli pesanti  
**CAGEUVI**= Analogo allo standard Euro VI per i veicoli pesanti

***Trasporto non su strada, veicoli e corsi d'acqua interni:***

**TIWEUI**= Analogo allo standard Euro I per i veicoli pesanti – 1999  
**TIWEUII**= Analogo allo standard Euro II per i veicoli pesanti – 2000/2002  
**TIWEUIII**= Analogo allo standard Euro III per i veicoli pesanti  
**TIWEUIV**= Analogo allo standard Euro IV per i veicoli pesanti  
**TIWEUV**= Analogo allo standard Euro V per i veicoli pesanti  
**TIWEUVI**= Analogo allo standard Euro VI per i veicoli pesanti

***Trasporto marittimo:***

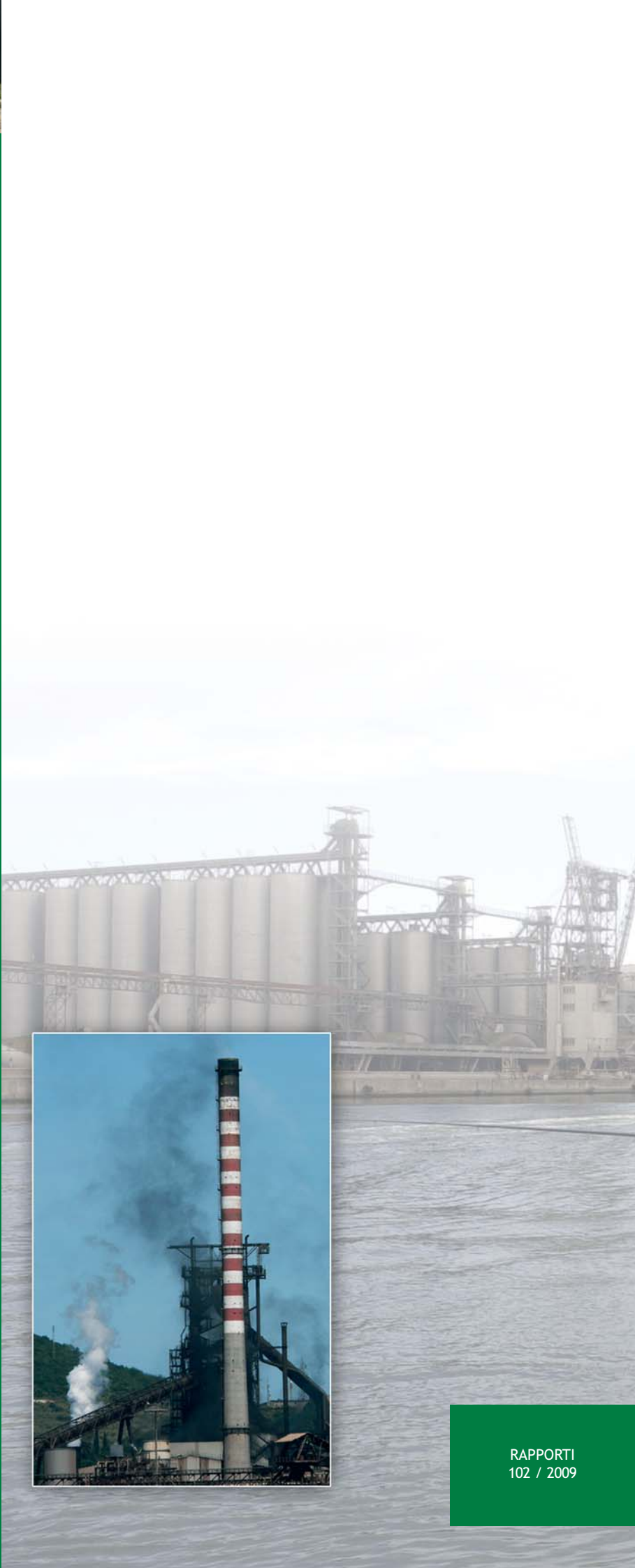
**STLHCM**= modifica processo di combustione – navi di grande tonnellaggio  
**STLSCR**= riduzione catalitica selettiva – navi di grande tonnellaggio  
**STMCM**= modifica processo di combustione – navi di medio tonnellaggio











ISBN 978-88-448-0403-9

