

LO SCENARIO EMISSIVO NAZIONALE NELLA NEGOZIAZIONE INTERNAZIONALE

ILARIA D'ELIA

ENEA - Unità Centrale Studi e Strategie
Servizio Prospettive Tecnologiche per la Sostenibilità
Centro Ricerche Casaccia, Roma

EMANUELE PESCHI

ISPRA - Settore Scenari di emissione, modelli integrati e indicatori
Via Cesare Pavese, Roma



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

LO SCENARIO EMISSIVO NAZIONALE NELLA NEGOZIAZIONE INTERNAZIONALE

ILARIA D'ELIA

ENEA - Unità Centrale Studi e Strategie
Servizio Prospettive Tecnologiche per la Sostenibilità
Centro Ricerche Casaccia, Roma

EMANUELE PESCHI

ISPRA - Settore Scenari di emissione, modelli integrati e indicatori
Via Cesare Pavese, Roma

Il presente rapporto è stato realizzato nell'ambito della convenzione tra ENEA e MATTM in materia di sviluppo, verifica e nuove applicazioni del sistema modellistico "MINNI" a supporto delle politiche di qualità dell'aria nazionali e dei piani e programmi di risanamento della qualità dell'aria regionali e della convenzione tra ISPRA e MATTM per lo svolgimento delle attività scientifiche e tecniche in tema di VIA, qualità dell'aria, mobilità sostenibile, inquinamento acustico, elettromagnetico e da radiazioni ionizzanti, VAS.

Si ringraziano per i contributi ed il lavoro svolto Luisella Ciancarella, Mario Contaldi, Riccardo De Lauretis e Giovanni Vialetto.



I Rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina <http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/rapporti-tecnici>

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia.

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

LO SCENARIO EMISSIVO NAZIONALE NELLA NEGOZIAZIONE INTERNAZIONALE

I. D'ELIA, E. PESCHI

Sommario

Nel corso del 2012 il processo negoziale per la revisione del protocollo di Göteborg si è chiuso positivamente fissando delle percentuali di riduzione delle emissioni di SO₂, NO_x, PM2.5, NMVOC e NH₃ rispetto all'anno base 2005 da conseguire entro il 2020. Contemporaneamente ha preso corso il processo di revisione della Strategia Tematica sull'Inquinamento Atmosferico, avviato dalla Commissione Europea nel 2011.

In tali ambiti, il ruolo giocato dagli scenari emissivi è di notevole importanza. È infatti anche attraverso la discussione degli scenari emissivi, calcolati da strumenti come il modello di valutazione integrata GAINS, che è possibile definire una politica internazionale, comunitaria e nazionale per la lotta all'inquinamento atmosferico, sebbene ogni scenario sia sempre caratterizzato da un determinato grado di incertezza che può avere importanti ripercussioni nella definizione delle politiche stesse.

Nel presente lavoro vengono presentati e discussi i risultati di un possibile scenario di riferimento *baseline*, ossia definito a partire dalle sole misure previste dalla legislazione vigente, elaborato con il modello di valutazione integrata GAINS-Italia. Lo scenario *baseline 2012* che verrà esaminato mostra una riduzione delle emissioni al 2020, rispetto all'anno base 2005, pari al 45% per gli ossidi di zolfo, al 33% per gli ossidi di azoto (nell'ipotesi che i limiti previsti per l'Euro 6 saranno effettivamente rispettati nei cicli reali di guida), al 31% per i composti organici volatili non metanici e pari al 8% per l'ammoniaca. Per le emissioni di PM2.5, invece, si prevede al momento una crescita del 5%, essenzialmente legata alla forte crescita dei consumi di biomassa nel settore civile. Si è inoltre valutata la possibilità di ulteriori margini di riduzione delle emissioni attraverso l'elaborazione di uno scenario Maximum Technically Feasible Reduction.

Parole chiave: scenario emissivo, inquinamento atmosferico, modelli integrati, politiche di riduzione delle emissioni

Abstract

In May 2012 the revision of the Gothenburg protocol ended fixing emission reduction targets for SO₂, NO_x, PM2.5, NMVOC and NH₃ at the year 2020 respect to 2005. At the same time the revision of the Thematic Strategy on Air Pollution, launched by the European Commission in 2011, was getting going. In this contest the use of emission scenarios for emission pollutant reductions was of the utmost importance. The discussion around emission scenarios, calculated through tools such the GAINS model, allowed the definition of international, European and national policies for the reduction of air pollution. Obviously, a scenario is always associated with a variety of uncertainties, with important impacts on policies conclusions. This report presents the results of a possible baseline scenario, calculated by the GAINS-Italy model, in which a full implementation of existing air pollution control legislation is assumed. The baseline 2012 shows at the year 2020 respect to 2005 an emission reduction of 45% for SO₂, of 33% for NO_x, if the Euro 6 limit values are effectively implemented, of 31% for NMVOC and of 8% for NH₃, while a 5% increase in PM2.5 emissions is foreseen. The PM2.5 increase is due to a huge growth in biomass consumption for the civil sector. The possibility of additional emission reductions has also been explored through the definition of the Maximum Technically Feasible Reduction scenario.

Key words: emission scenarios, air pollution, integrated assessment model, emission reduction policy

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	7
2	IL MODELLO GAINS-ITALIA	8
3	L'INVENTARIO DELLE EMISSIONI.....	10
4	GLI SCENARI DI INPUT AL GAINS-ITALIA	13
4.1	LO SCENARIO ENERGETICO.....	13
4.2	LO SCENARIO DELLE ATTIVITÀ PRODUTTIVE NON ENERGETICHE	19
4.3	LA STRATEGIA DI CONTROLLO.....	21
5	IL PROCESSO DI ARMONIZZAZIONE	24
5.1	ARMONIZZAZIONE CON L'INVENTARIO NAZIONALE DELLE EMISSIONI 2005/2010.....	25
5.2	CONFRONTO STIME IIASA 2005.....	32
6	LO SCENARIO EMISSIVO BASELINE 2012	36
6.1	SO ₂	36
6.2	NO _x	36
6.3	PM2.5.....	37
6.4	NMVOC.....	38
6.5	NH ₃	39
7	LO SCENARIO MTRF 2012	40
7.1	SO ₂	40
7.2	NO _x	42
7.3	PM2.5.....	43
7.4	NMVOC.....	44
7.5	NH ₃	46
8	IL CONFRONTO CON IL PROTOCOLLO DI GÖTEBORG	47
9	CONCLUSIONI ED ULTERIORI SVILUPPI	49
	APPENDICE A	51
	APPENDICE B	53
	BIBLIOGRAFIA.....	56

1 INTRODUZIONE

Gli scenari di emissione hanno assunto un'importanza crescente nella definizione delle politiche internazionali, comunitarie e nazionali per la lotta all'inquinamento atmosferico a partire dalla stesura della Convenzione di Ginevra sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grande distanza (*Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, CLRTAP*) entrata in vigore nel 1983 e successivamente estesa da otto specifici protocolli. In particolare, il protocollo di Göteborg del 1999 per combattere l'acidificazione, l'eutrofizzazione e l'ozono troposferico ha assunto un ruolo centrale nelle strategie per la lotta all'inquinamento atmosferico stabilendo dei tetti nazionali di emissione per ossidi di zolfo, ossidi di azoto, ammoniaca e composti organici volatili non metanici da raggiungere entro il 2010. Tale protocollo ha dato altresì origine, a livello comunitario, alla direttiva 2001/81/CE sui tetti nazionali di emissione, recepita in Italia dal decreto legislativo n. 171 del 2004, che ha inizialmente sancito a livello nazionale la necessità di predisporre inventari e scenari di emissione.

Successivamente, il decreto legislativo n. 155 del 2010 all'art. 22 comma 4 ha previsto che l'ISPRA elabori lo scenario energetico e delle attività produttive nazionale [1] e, sulla base di tale scenario, l'ENEA elabori, secondo la metodologia a tali fini sviluppata a livello comunitario, lo scenario emissivo nazionale.

In tale contesto ENEA ed ISPRA hanno congiuntamente elaborato il nuovo scenario emissivo nazionale tendenziale, denominato *baseline 2012* ed oggetto del presente rapporto, avvalendosi del modello GAINS-Italia. Tale modello, che fa parte del modello di valutazione integrata nazionale per l'inquinamento atmosferico (MINNI) sviluppato da ENEA, per conto del MATTM, in collaborazione con ARIANET s.r.l. e IIASA, riflette su scala nazionale la struttura del modello GAINS-Europe (GAINS, 2009) e rappresenta l'aggiornamento del modello RAINS (*Regional Air Pollution Information System*, Amann et al., 2004), sviluppato circa venti anni fa per rispondere alle crescenti esigenze di quantificazione e regolazione a livello internazionale delle emissioni di sostanze inquinanti in grado di produrre effetti sugli ecosistemi su scala continentale.

A questo punto è opportuno ricordare che uno scenario è sempre caratterizzato da un certo grado di incertezza, dipendente dai deficit di conoscenza dei fattori e dei processi determinanti le emissioni. Alcune di tali lacune possono essere colmate con strumenti statistici o con maggiori ricerche volte ad incrementare la conoscenza scientifica di determinate sorgenti emissive. Altre sono invece intrinseche al processo di elaborazione degli scenari e difficilmente potranno essere eliminate, perché legate all'incertezza delle proiezioni degli sviluppi economici futuri, alla reale efficacia delle politiche di riduzione delle emissioni operanti sui diversi settori, quali ad esempio la produzione di energia, i trasporti (come ha recentemente dimostrato il caso dell'Euro 5 per gli NO_x) o l'agricoltura, alle possibili variazioni dei parametri meteorologici legati ai cambiamenti climatici e così via.

Nel presente rapporto verrà pertanto analizzato un possibile scenario emissivo di riferimento, detto *baseline*, ossia definito a partire dalle sole misure previste dalla legislazione vigente. Tale scenario è stato realizzato al fine di fornire il contributo nazionale al processo di revisione del protocollo di Göteborg (conclusosi nel maggio 2012) e ad avviare il confronto con gli organismi comunitari nell'ambito della revisione della Strategia Tematica sull'Inquinamento Atmosferico (tutt'ora in corso).

Nel presente lavoro verrà preliminarmente fornita una sintetica descrizione del modello GAINS-Italia e dei dati di input utilizzati (paragrafi da 2 a 4). Successivamente verranno analizzati gli esiti del processo di armonizzazione per l'Italia a livello nazionale ed europeo (paragrafo 5), i risultati degli scenari emissivi così ottenuti (paragrafi 6 e 7) e realizzato un confronto tra gli scenari e i tetti nazionali di emissione definiti nell'ambito della revisione del Protocollo di Göteborg (paragrafo 8).

2 IL MODELLO GAINS-ITALIA

Il modello GAINS-Italia (Greenhouse and Air Pollution Interaction and Synergies) è un modello di valutazione integrata che fa parte di MINNI (Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziatone Internazionale sui temi dell'inquinamento atmosferico, Zanini et al. 2005), una suite modellistica sviluppata, per conto del Ministero dell'Ambiente, del Territorio e del Mare, da ENEA in collaborazione con ARIANET s.r.l. e IIASA (*International Institute for Applied Systems Analysis*) comprendente, oltre GAINS, il Sistema Modellistico Atmosferico (SMA), composto a sua volta da un modello meteorologico e da un modello di trasporto chimico con alcuni pre e post processori dei dati meteorologici ed emissivi (figura 1).

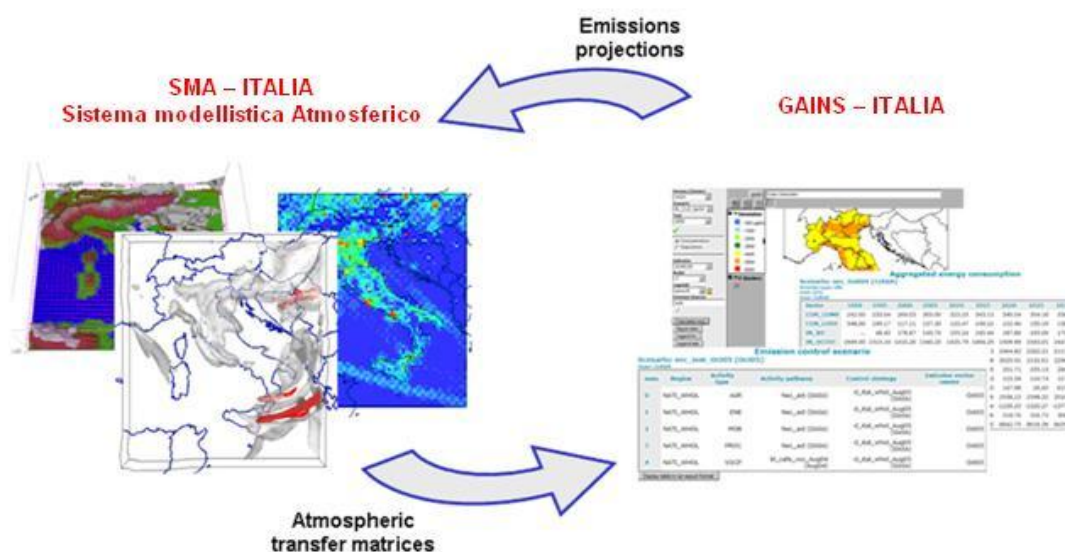


Fig. 1 ó Principali componenti del sistema modellistico MINNI.

Il modello GAINS (GAINS, 2009) elabora possibili scenari di riduzione delle emissioni di SO₂, NO_x, NH₃, NMCOV, PM e di gas ad effetto serra (Klaasen et al., 2005; Höglund-Isaksson e Mechler, 2005; Tohka, A., 2005; Winiwarer, 2005), così da considerare anche le interazioni tra inquinamento atmosferico e cambiamenti climatici; il modello stima, a scala nazionale ed internazionale gli effetti di acidificazione ed eutrofizzazione, i danni da ozono troposferico alla vegetazione e alla salute umana, nonché il danno alla salute umana da esposizione della popolazione alle concentrazioni di PM_{2.5}.

Il modello GAINS-Italia riflette la struttura del modello GAINS-Europa ma lo personalizza al caso italiano adottando la suddivisione del territorio in Regioni e utilizzando una risoluzione spaziale di 20 km.

Il modello GAINS-Italia (figura 2) calcola quindi scenari emissivi a livello nazionale e regionale sia di inquinanti tradizionali che di gas ad effetto serra, permette analisi di impatto sulla qualità dell'aria e analisi dei costi di misure di abbattimento/mitigazione degli inquinanti atmosferici e GHGs.

Il sistema SMA ed il modello GAINS-Italia sono connessi circolarmente attraverso le matrici di trasferimento atmosferico (MTA) e il software RAIL (*RAINS ó Atmospheric Inventory Link*).

Le MTA contengono un legame sorgente-ricettore di tipo lineare in grado di calcolare, al variare delle emissioni su base regionale, mappe di deposizione/concentrazione e di impatto con risoluzione spaziale di 20 km. Le matrici di trasferimento del modello GAINS-Italia sono state calcolate con il sistema SMA considerando come anno emissivo di riferimento, attorno al quale sono stati effettuati i run necessari alla costruzione dei coefficienti delle matrici, il 2015, in analogia a quanto effettuato su scala europea con il modello EMEP, al fine di garantire la tenuta della linearità nell'anno emissivo di questo anno.

Come anni meteorologici sono stati considerati gli anni 1999, 2003, 2005, 2007 e l'anno meteorologico medio.

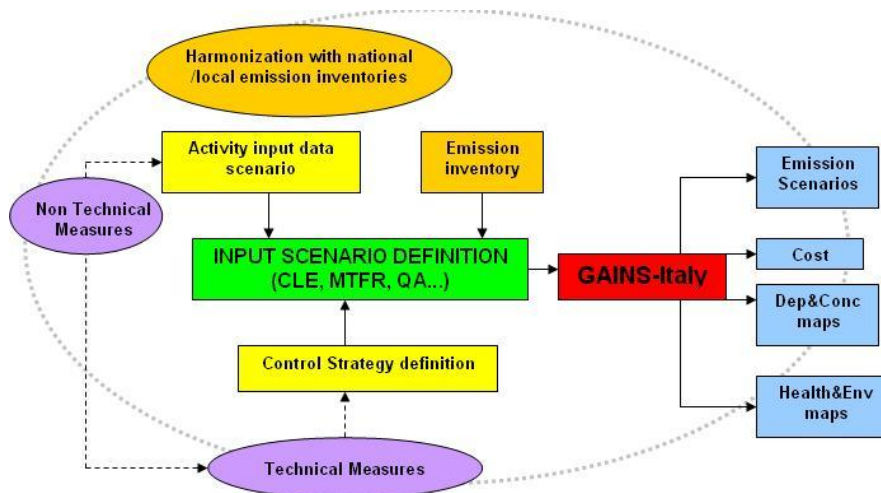


Fig. 2 ó Il modello GAINS-Italia (da DøElia et al., 2009).

A sua volta il modello GAINS-Italia è in grado di alimentare il sistema SMA-Italia attraverso il RAIL, un codice che consente la trasformazione di un output emissivo di GAINS in trend applicabili a qualunque inventario delle emissioni. In tal modo è possibile offrire valutazioni di impatto di politiche e misure future sulla qualità dell'aria a scale spaziali di maggior dettaglio.

Il modello GAINS-Italia è accessibile online (previa registrazione) al link <http://gains-it.bologna.enea.it/gains/IT/index.login>. Gli scenari emissivi che verranno discussi nel presente lavoro sono disponibili online nel gruppo "All scenarios" col nome di "Baseline_2012_new_evö".

Per maggiori informazioni, dettagli e pubblicazioni aggiornate si rimanda al sito del progetto <http://www.minni.org/>.

3 L'INVENTARIO DELLE EMISSIONI

L'inventario nazionale delle emissioni consiste nella quantificazione, a livello nazionale, delle emissioni di diversi inquinanti prodotte da una serie di sorgenti codificate e condivise a livello internazionale. L'inventario viene elaborato con cadenza annuale per rispondere sia agli impegni contenuti nella Convenzione di Ginevra sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza e nei successivi protocolli attuativi, sia agli impegni stabiliti nell'ambito della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC). L'inventario nazionale delle emissioni risponde anche agli obblighi contenuti nel decreto legislativo n. 171/2004 e nel decreto legislativo n. 155/2010.

In particolare, in questo rapporto, uniformandosi agli inquinanti considerati nel modello GAINS-Italia, si prenderanno in considerazione gli elementi relativi ad alcuni degli inquinanti che ricadono nella CLRTAP, ovvero SO₂, NO_x, NH₃, NMCOV e PM.

Per una esposizione dettagliata si rimanda all'*Informative Inventory Report*, redatto annualmente in attuazione della CLRTAP (ISPRA, 2012a), e al *National Inventory Report*, redatto anch'esso annualmente in attuazione della UNFCCC (ISPRA, 2012b).

Come accennato nell'introduzione, sia il protocollo di Göteborg del 1999 sia la direttiva 2001/81/CE stabilivano dei tetti nazionali di emissione che dovevano essere raggiunti nel 2010. Con l'utilizzo degli inventari e degli scenari di emissione si è monitorata nel corso degli anni la possibilità di raggiungimento degli obiettivi prefissati a livello internazionale in modo che le autorità competenti potessero adottare le misure di riduzione delle emissioni eventualmente necessarie con un ragionevole anticipo rispetto alla scadenza.

L'inventario nazionale delle emissioni relativo al 2010, elaborato in via definitiva nel corso del 2012, ha permesso di dimostrare il rispetto di tutti i tetti nazionali di emissione, come illustrato nella tabella seguente.

Tab. 1 6 Emissioni (in kt) dell'inventario nazionale delle emissioni 2010 e confronto con i tetti previsti dalla Direttiva NEC e dal protocollo di Göteborg.

Inquinante	Tetto nazionale (kt) al 2010 ó direttiva NEC	Tetto nazionale (kt) al 2010 ó protocollo di Göteborg	Emissione nazionale (kt) al 2010
SO ₂	475	500	210
NO _x	990	1000	964
NMVOG	1159	1159	1080
NH ₃	419	419	379

La direttiva NEC nella formulazione attuale ed il protocollo di Göteborg nella formulazione antecedente al maggio 2012 non fissano alcun limite alle emissioni nazionali di PM.

Nei grafici seguenti è riportato l'andamento, dal 2000 al 2010, delle emissioni complessive di ciascun inquinante insieme a quelle derivanti dalle sorgenti emissive che forniscono i contributi più alti (figure. da 3 a 5).

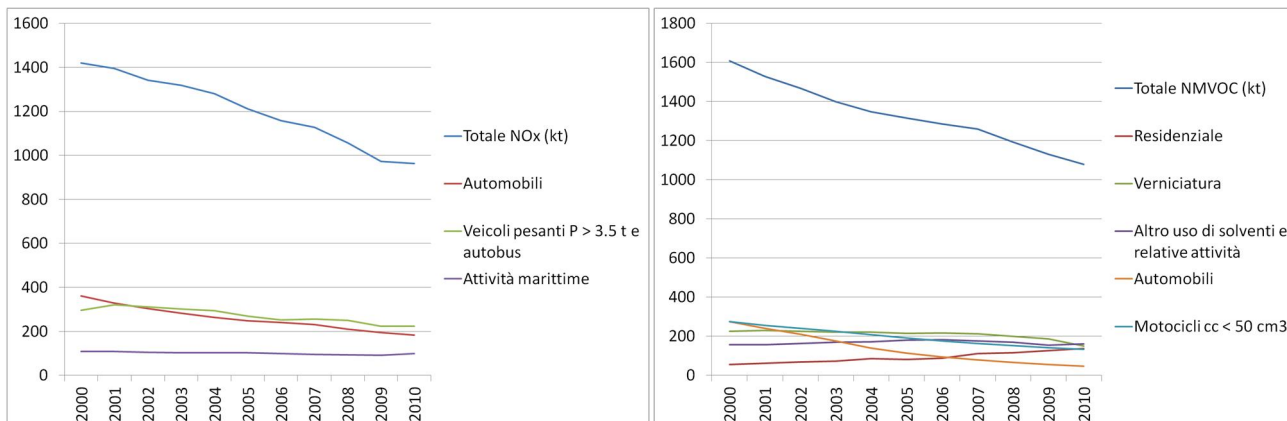


Fig. 3 ó Andamento delle emissioni (in kt) di NO_x (sx) e NMVOC (dx) dal 2000 al 2010.

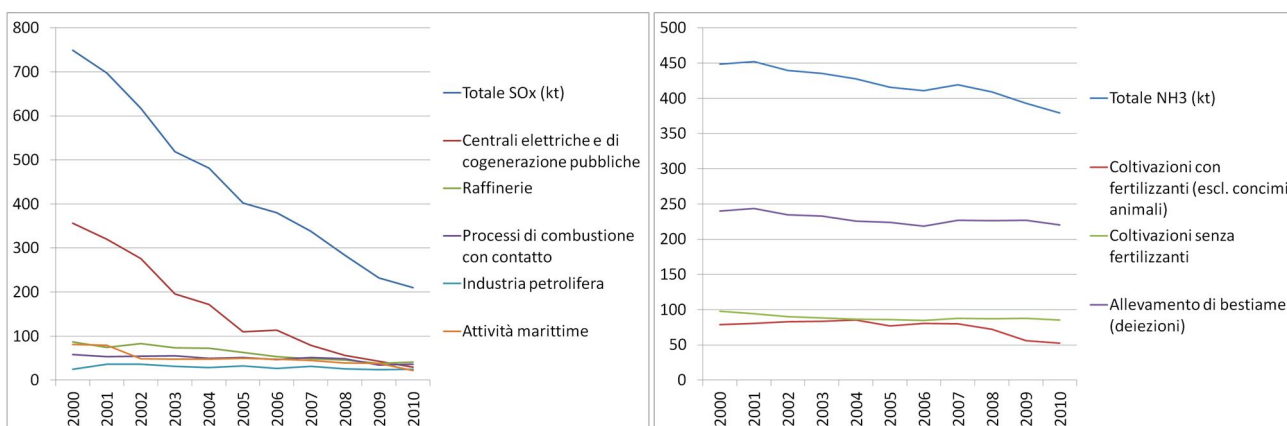


Fig. 4 ó Andamento delle emissioni (in kt) di SO_x (sx) e NH₃ (dx) dal 2000 al 2010.

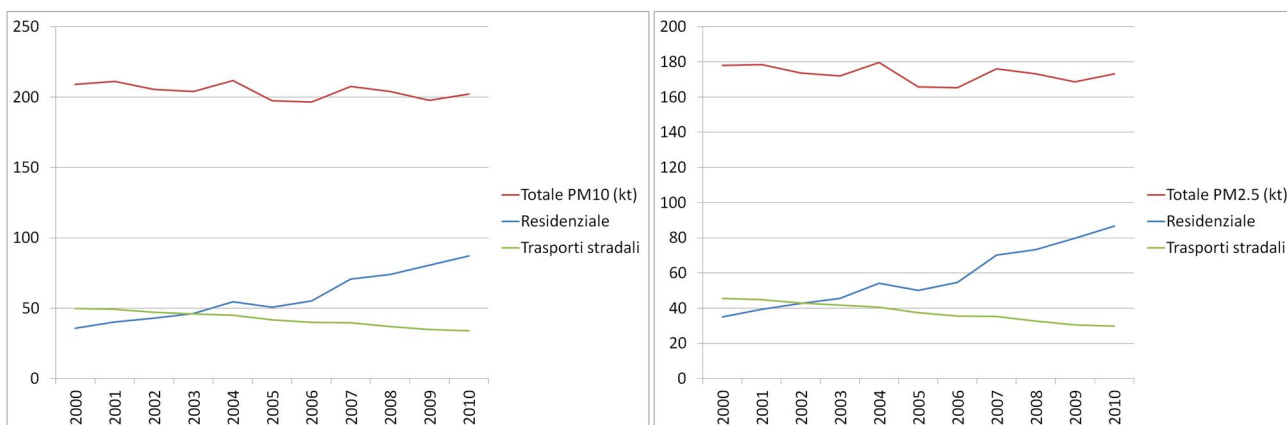


Fig. 5 ó Andamento delle emissioni (in kt) di PM₁₀ (sx) e PM_{2.5} (dx) dal 2000 al 2010.

Da tali grafici risulta evidente una riduzione significativa della maggior parte degli inquinati, ad eccezione del PM per il quale è subito palese la crescita delle emissioni provenienti dal settore residenziale. Tale andamento è dovuto essenzialmente alla crescita dei consumi di biomassa per il riscaldamento delle abitazioni, attestato da diverse fonti ed in particolare dal Bilancio Energetico Nazionale (BEN, vari anni) elaborato e pubblicato annualmente dal Ministero per lo Sviluppo economico.

Secondo i dati disponibili, infatti, a causa di diversi fattori, tra cui le politiche in materia di riduzione delle emissioni di CO₂ e l'aumento dei prezzi dei combustibili tradizionali, si sta assistendo negli ultimi anni ad un progressivo incremento dei consumi di biomassa per la produzione di calore.

Tale incremento, se in parte tiene conto della crescita costante che generalmente si registra nei consumi energetici col passare del tempo, d'altro canto avviene in sostituzione di combustibili tradizionali quali il metano. Ciò fa sì che, a fronte di una riduzione delle emissioni di PM2.5 in quasi tutti i settori, dovuta alla diffusione di tecnologie via via più efficienti e meno emissive, nel riscaldamento domestico si assista ad un continuo incremento delle emissioni, legato sia all'incremento di combustibili intrinsecamente capaci di determinare emissioni maggiori di polveri, sia al lento tasso di rinnovo delle apparecchiature in cui tali combustibili vengono bruciati. Secondo il BEN, infatti, nel 2010 si rileva un aumento dei consumi finali di legna pari a quasi il 40% rispetto all'anno precedente; incremento che diventa ancora più consistente (65%) se ci si limita al solo riscaldamento residenziale, come mostrato nel grafico seguente.

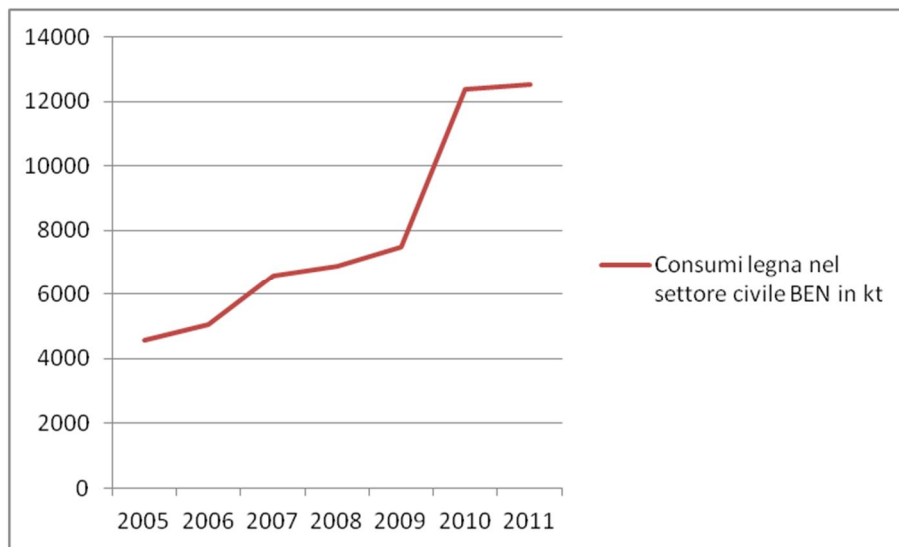


Fig. 6 ó Andamento dei consumi di legna nel settore civile dal 2005 al 2011 (BEN).

Al momento sono in corso diversi studi ed indagini volti a fornire dati più accurati circa l'effettivo ammontare dei consumi di legna nel settore residenziale, al termine dei quali si potranno fornire dati più accurati circa l'andamento storico e previsto delle emissioni prodotte da questo settore.

Al link <http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it/dgerm/ben.asp> è possibile consultare i bilanci energetici nazionali elaborati per gli anni dal 1998 al 2011.

4 GLI SCENARI DI INPUT AL GAINS-ITALIA

Lo sviluppo di uno scenario emissivo di riferimento (detto anche *baseline* o, più correttamente, *Current Legislation* o CLE, ossia basato sull'applicazione delle sole misure di abbattimento previste dalla legislazione vigente), elaborato con il modello GAINS-Italia, richiede preliminarmente la quantificazione delle attività antropogeniche e la definizione di una strategia di controllo ad intervalli quinquennali per il periodo temporale 1990-2050. Per quanto riguarda le attività antropogeniche è necessario definire uno scenario energetico per stimare le emissioni provenienti da sorgenti energetiche, ed uno scenario relativo alle attività produttive, industriali e no, per stimare le emissioni provenienti dai processi produttivi (numero di capi allevati, quantità di fertilizzanti, quantità di vernici, quantità di solventi, produzione di cemento, acciaio, ecc.). La strategia di controllo rappresenta l'insieme delle misure tecnologiche che si prevede saranno introdotte entro l'orizzonte temporale di riferimento sulla base dell'applicazione della legislazione nazionale e comunitaria vigente, e si esprime in termini di percentuale di applicazione per settore, combustibile e tecnologia. Seppur nell'ultimo aggiornamento l'orizzonte temporale del modello GAINS-Italia è stato esteso al 2050, l'analisi mostrata nel presente lavoro verrà limitata al 2030.

Nei paragrafi seguenti verranno illustrati gli scenari e la strategia di controllo utilizzati.

4.1 Lo scenario energetico

Lo scenario energetico utilizzato come input è stato elaborato da ISPRA con l'utilizzo del modello Markal ó Italy, basato sul software Markal (*Market Allocation*), la cui metodologia è stata sviluppata nell'ambito dell'*Energy Technology Systems Analysis Programme* (ETSAP) dell'*International Energy Agency* (IEA). Per maggiori dettagli sul software si rimanda al link <http://www.iea-etsap.org/web/Markal.asp>. Il modello sviluppato per l'Italia è del tipo "ad equilibrio economico parziale" formulato come un problema di programmazione lineare e rappresenta il sistema energetico nazionale e le sue emissioni principali (CO₂, NO_x e SO₂). Per una descrizione dettagliata si rimanda al documento (Gracceva e Contaldi, 2004). Il modello segue un approccio tecnologico *bottom up*: partendo dal singolo settore o sottosettore, il dato aggregato è ottenuto per somma dei singoli prodotti o servizi energetici. Questo approccio garantisce un'accuratezza e un dettaglio maggiore rispetto ad un approccio *top down*, in cui le variabili settoriali sono derivate da macro variabili generali, come ad esempio il reddito. Al suo interno sono state definite oltre 70 diverse domande di servizi energetici, che includono i quattro settori principali: agricoltura, industria, trasporti e civile. Ogni settore è stato a sua volta diviso in sottosectori omogenei dal punto di vista del servizio energetico e, per l'industria, del principale materiale prodotto. In particolare il settore industriale è stato diviso nei sottosectori acciaio, non ferrosi, laterizi, ceramica, vetro, cemento, carta, chimica, meccanica, tessile ed alimentare. Per ognuna delle domande esistono due o più tecnologie che possono contribuire insieme o in alternativa. Ogni tecnologia è caratterizzata da dati sulla sua efficienza energetica, le prestazioni emissive ed i costi, sia di investimento che di esercizio. Ad esempio, nel settore civile è stata descritta la domanda di riscaldamento espressa in mq di superficie riscaldata e divisa tra edifici nuovi ed esistenti, plurifamiliari o indipendenti; è possibile specificare diversi livelli di isolamento e l'uso di riscaldamento centralizzato, indipendente e teleriscaldamento, oltre che caldaie con differenti efficienze.

Per ogni servizio energetico sono inoltre state specificate diverse tecnologie (sono state simulate in tutto oltre 1000 tecnologie), con passaggi gradualmente dall'una all'altra opzione. In molte delle catene di fornitura dei servizi è stata inclusa altresì la possibilità di importare ed esportare materiali *energy intensive* o vettori energetici. Le emissioni di anidride carbonica sono stimate direttamente all'interno del modello utilizzando il "reference approach" dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on*

Climate Change) e i fattori di emissione nazionali; le emissioni di ossidi di azoto sono direttamente legate alle tecnologie utilizzate e sono calcolate con l'utilizzo dei fattori di emissione dell'inventario nazionale delle emissioni. Gli anni di simulazione si estendono fino al 2050.

Lo scenario energetico utilizzato nel presente lavoro è stato armonizzato con quanto contenuto nei lavori per la definizione del Piano di azione nazionale per la riduzione dei livelli di emissione di gas ad effetto serra, di aggiornamento del precedente Piano approvato con la delibera CIPE n. 123/2002 e modificato con la successiva delibera CIPE n. 135/2007. Il piano risponde a precisi impegni comunitari e internazionali relativi alla riduzione delle emissioni per il periodo di programmazione 2013-2020. Tale scenario rappresenta lo stato di avanzamento dei lavori dell'aprile 2012 e tiene conto delle attività del gruppo di lavoro interministeriale istituito per la redazione della bozza di delibera CIPE¹. Lo scenario include, inoltre, l'uso dei dati di consumo energetico a consuntivo più recenti all'epoca disponibili, come input addizionale al modello, nonché le modifiche alla domanda finale che tengono conto degli effetti della crisi economica in atto e di alcuni anni di bassa crescita. Infine sono stati utilizzati i prezzi internazionali dell'energia suggeriti dalla Commissione UE per gli scenari da inviare in base alla Decisione N. 280/2004/EC.

Per l'elaborazione degli scenari emissivi comunitari, invece, l'input energetico al modello GAINS-Europa viene fornito dal modello PRIMES, un modello di equilibrio parziale per i mercati europei dell'energia, sviluppato dall'*Energy ó Economy ó Environment Modelling LABORatory* dell'Università di Atene.

PRIMES simula un equilibrio di mercato dell'energia all'interno dell'Unione europea prendendo in considerazione i meccanismi che influenzano l'evoluzione della domanda e dell'offerta. PRIMES è usato principalmente nel campo della politica energetica e ambientale per analizzare, ad esempio, l'impatto dello scambio delle emissioni di carbonio e di politiche di efficienza energetica e rinnovabili nei mercati energetici all'interno di ciascuno dei 27 Stati membri. Per maggiori informazioni si rimanda al link <http://www.e3mlab.ntua.gr/e3mlab/index.php>

I dati che alimentano PRIMES sono raccolti ed aggregati a livello comunitario e non sempre i dati storici di consuntivo e le proiezioni coincidono con quelli raccolti ed elaborati dai singoli Paesi. Le principali differenze sono riconducibili sia al diverso dettaglio delle informazioni disponibili, sia all'evoluzione delle politiche nazionali che sovente non possono essere adeguatamente riprodotte all'interno di un modello di scala continentale.

In questa sede non è tanto importante analizzare le cause che portano ad una differenza tra le stime del modello PRIMES e quelle prodotte a livello nazionale, quanto la quantificazione delle stesse e le loro conseguenze in termini emissivi. Come già accennato, infatti, il modello PRIMES fornisce l'input energetico al modello GAINS-Europe, le cui proiezioni costituiscono un punto di riferimento fondamentale per la Commissione europea nei processi di definizione delle politiche dell'Unione in materia di inquinamento atmosferico.

Di seguito si riporta un'analisi sintetica delle principali differenze tra gli scenari elaborati col modello PRIMES e gli scenari elaborati a livello nazionale con il modello MARKAL.

Nel grafico in figura 7 è riportato l'andamento dal 2005 al 2030 dei consumi nazionali totali secondo quattro diversi scenari. Gli scenari PRIMES_BL2009 e PRIMES_BL2010 sono stati utilizzati a livello comunitario come riferimento, rispettivamente, per la revisione del protocollo di Göteborg, analizzato in Amann et al., 2011, e per l'avvio del processo di revisione della strategia tematica dell'UE sull'inquinamento atmosferico, descritto in Amann et al., 2012. A tale riguardo va però

¹ L'approvazione del Piano è stata deliberata nella seduta del CIPE dell'8 marzo 2013. La delibera sarà successivamente pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale una volta superato l'esame della Corte dei Conti.

sottolineato che, nel processo di revisione, lo scenario PRIMES_BL2010 sarà a breve sostituito da un nuovo scenario PRIMES, il cui rilascio è previsto nel marzo 2013.

Lo scenario NAT_NOCP, elaborato nel 2010, è lo scenario nazionale utilizzato come riferimento per la definizione della posizione italiana nel processo di revisione del protocollo di Göteborg e nella predisposizione dell'istanza di deroga per le concentrazioni di NO₂ ai sensi dell'art. 22, comma 1 della Direttiva 2008/50/CE (MATTM, 2011), mentre lo scenario NAT_CIPE è lo scenario che sta alla base delle proiezioni delle emissioni oggetto del presente rapporto, che aggiorna il precedente scenario NOCP sulla base delle nuove evidenze disponibili, utilizzato negli incontri bilaterali con lo IASA, di cui al paragrafo 5.2, preliminari alla definizione della nuova strategia tematica.

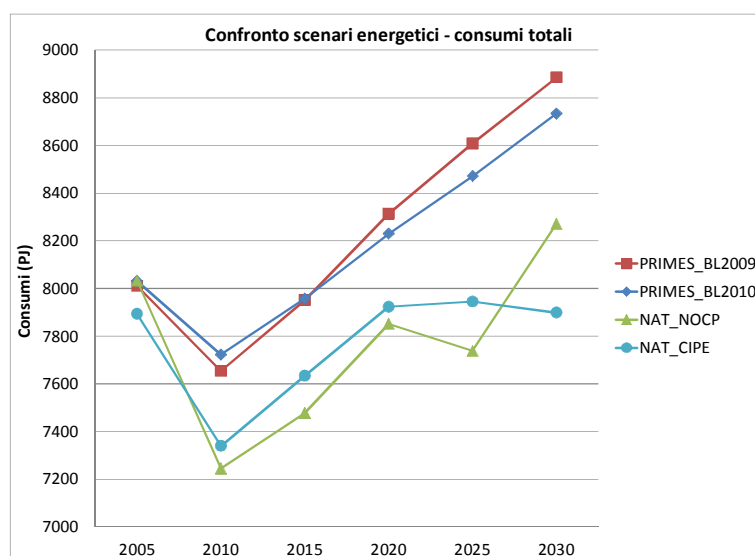


Fig. 7 ó Andamento dei consumi totali dal 2005 al 2030 ó confronto tra gli scenari PRIMES e nazionali.

Come si può vedere nel grafico di figura 7, gli scenari PRIMES e gli scenari nazionali hanno andamenti piuttosto diversi. Gli scenari PRIMES, infatti, si attestano su livelli di consumi energetici molto più elevati poiché sono stati elaborati senza tenere in considerazione i dati e le informazioni sugli effetti della crisi economica internazionale. Inoltre, quello che appare evidente negli scenari PRIMES è il costante incremento dei consumi energetici dovuto ad una previsione di costante crescita economica non accompagnata, negli scenari *baseline*, da un incremento dell'efficienze energetica o della struttura produttiva.

Gli scenari nazionali, invece, rappresentano in modo più realistico gli effetti della crisi economica poiché meglio incorporano i dati a consuntivo degli ultimi anni. Le differenze fra i due scenari nazionali, sono dovute essenzialmente al fatto che sono stati elaborati a circa due anni di distanza. In tale lasso di tempo, da un lato si sono resi disponibili nuovi dati sull'andamento storico dei consumi energetici, dall'altro la crisi economica ha agito profondamente sulla struttura energetica del paese determinando anche un cambiamento nell'andamento dei livelli futuri di consumo, cui si aggiunge, inoltre, l'aggiornamento delle politiche nazionali in ambito climatico, che incidono direttamente sulle previsioni dei consumi.

Per poter meglio comprendere come tali differenze si riflettano nell'ambito dei negoziati internazionali e comunitari e come influiscano sulle proiezioni delle emissioni nazionali, è opportuno procedere ad una analisi e ad un confronto nei diversi settori emissivi.

Nelle figure seguenti sono riportati gli andamenti previsti dai quattro scenari per il consumo di combustibili per la generazione di energia elettrica.

Tutti gli scenari indicano correttamente il gas come principale fonte per la produzione di energia elettrica in Italia, ma differiscono in modo sostanziale per gli andamenti. Gli scenari PRIMES,

inoltre, sovrastimano in modo rilevante i consumi di combustibili liquidi e sottostimano i consumi futuri di carbone. Anche il consumo complessivo appare piuttosto differente sia guardando il dato del 2010 (che nello scenario NAT_CIPE deriva dal BEN del 2010 ed è quindi un dato di consuntivo, mentre negli altri casi si tratta di un dato di scenario), sia guardando al 2030, dove PRIMES prevede una forte riduzione.

Tali differenze portano a sensibili discrepanze in termini di emissione e di valutazione degli andamenti delle stesse, che verranno analizzate nei paragrafi successivi, con particolare riferimento all'anno 2005, anno base per il calcolo degli obiettivi di riduzione delle emissioni in accordo con la nuova versione del protocollo di Göteborg.

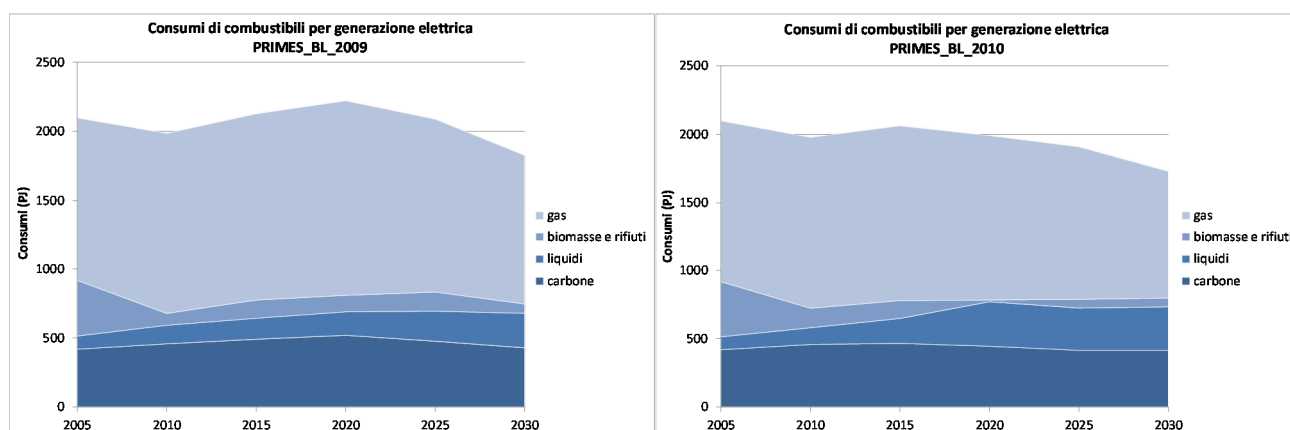


Fig. 8 ó Andamento dei consumi di combustibili per la generazione elettrica dal 2005 al 2030 - scenari PRIMES_BL2009 (sx) e PRIMES_BL2010 (dx).

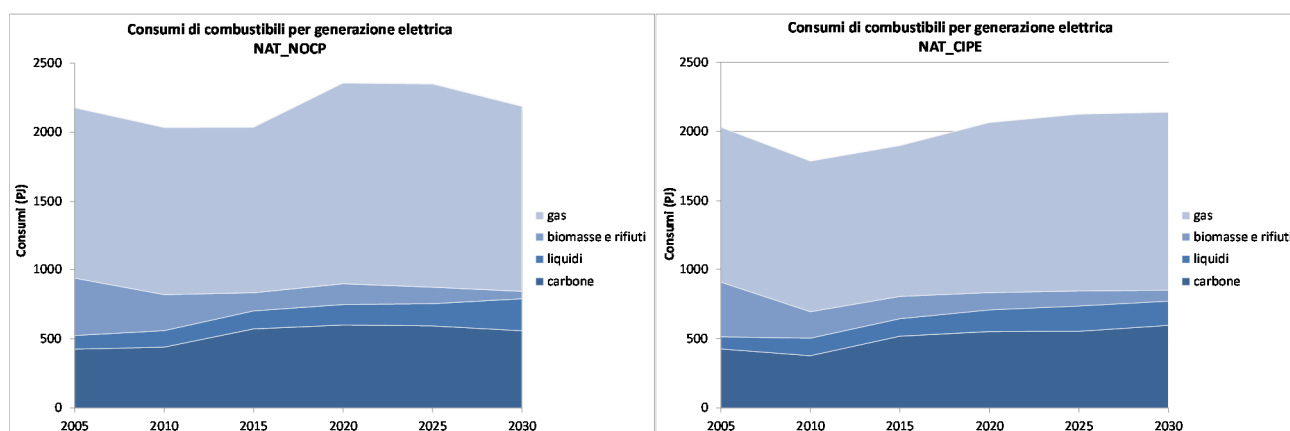


Fig. 9 ó Andamento dei consumi di combustibili per la generazione elettrica dal 2005 al 2030 - scenari nazionali NOCP (sx) e CIPE (dx).

Grazie alle politiche adottate a livello nazionale e comunitario ed al costante sviluppo delle tecnologie, gli impianti per la produzione di energia elettrica stanno progressivamente riducendo il loro impatto in termini di emissione di inquinanti come ossidi di azoto, ossidi di zolfo e polveri, ma mano a mano che il contributo di questo settore alle emissioni nazionali si va riducendo, emergono nuovi settori su cui nei prossimi anni sarà necessario intervenire in modo incisivo per favorire una riduzione delle concentrazioni di inquinanti nell'aria ambiente.

Particolare rilevanza in tale contesto la sta assumendo il settore Civile (riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda per abitazioni, uffici, esercizi commerciali, ecc.).

Come mostrato nel grafico in figura 10, i quattro scenari oggetto del presente confronto, non differiscono in misura elevata per quanto riguarda il consumo totale di combustibili nel periodo 2005-2030 (le differenze visibili per gli anni 2005 e 2010 negli scenari nazionali sono in parte dovute

agli aggiornamenti in corso dei dati statistici sul consumo di biomassa e in parte alle temperature effettivamente registrate nei mesi invernali del 2010, si ricorda infatti che per il solo scenario NAT_CIPE i dati del 2010 sono dati di consuntivo e non di previsione).

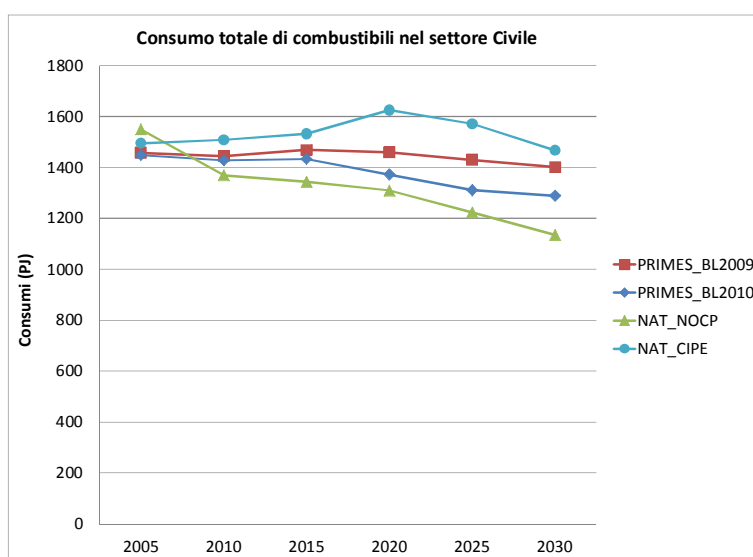


Fig. 10 ó Confronto andamento consumi di combustibili nel settore Civile nei diversi scenari per il periodo 2005-2030.

Le differenze diventano però significative quando l'analisi si sposta sul contributo dei singoli combustibili al consumo totale del settore, come si evince dal grafico seguente relativo ai consumi del 2010.

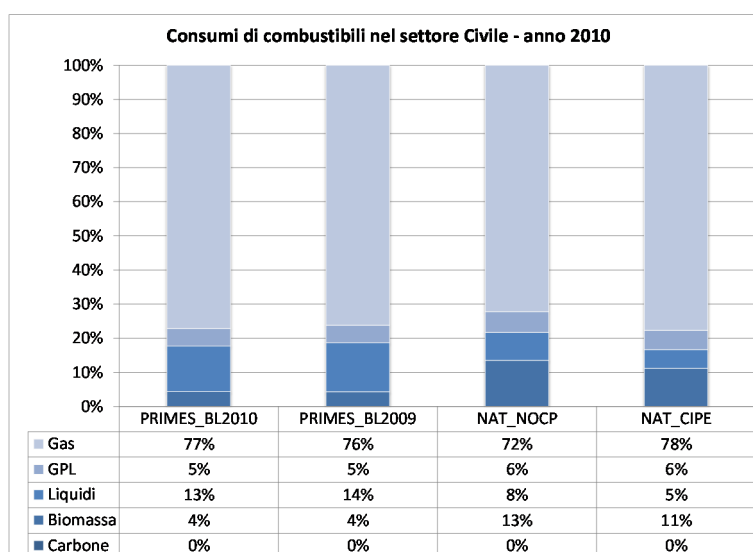


Fig. 11 ó Composizione percentuale dei consumi di combustibili nel settore civile al 2010 nei diversi scenari presi in considerazione.

Dall'analisi di tale grafico risulta evidente il ruolo predominante del metano in tutti gli scenari, mentre sostanziali sono le differenze inerenti il consumo di biomassa.

Come già evidenziato nel paragrafo 3, il crescente consumo di biomassa sta determinando un incremento consistente delle emissioni di PM a livello nazionale, quindi un mancato accordo tra gli scenari nazionali e quelli PRIMES su tale punto risulta particolarmente critico, poiché può determinare una pesante sottostima a livello comunitario del ruolo che il riscaldamento domestico riveste per l'inquinamento atmosferico in Italia e, conseguentemente, una distorsione nella definizione delle politiche più efficienti di miglioramento della qualità dell'aria.

Come si può notare dal grafico di figura 12, tali differenze diventano ancora più rilevanti guardando alle proiezioni dei consumi, poiché vanno ad influire pesantemente sul totale delle emissioni nazionali di particolato.

Infatti, mentre a livello nazionale si prevede un continuo incremento dei consumi di biomassa fino al 2030, secondo PRIMES tali consumi rimarranno pressoché costanti.

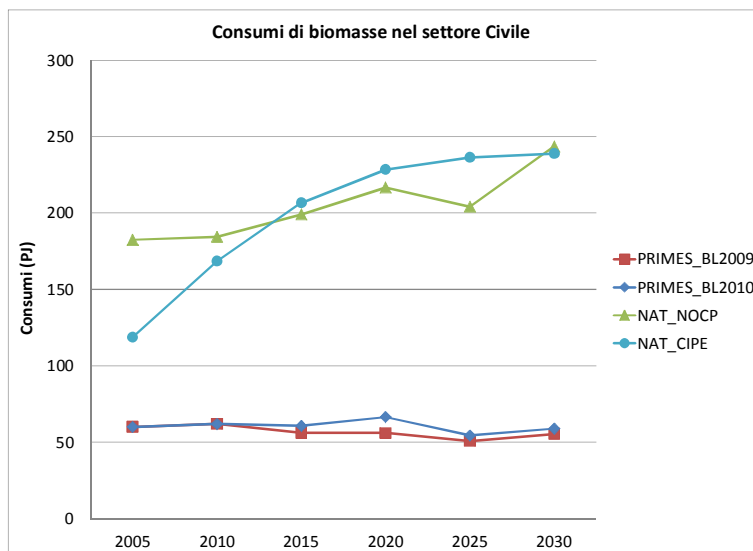


Fig. 12 - 6 Confronto andamento dei consumi di biomassa nel settore civile nei diversi scenari per il periodo 2005-2030.

Un altro settore particolarmente importante, ma che presenta delle criticità analoghe a quelle del settore civile, è quello dei trasporti. Anche in questo caso, se si confrontano i totali dei consumi di combustibili per i trasporti stradali si può notare un sostanziale accordo tra tutti gli scenari².

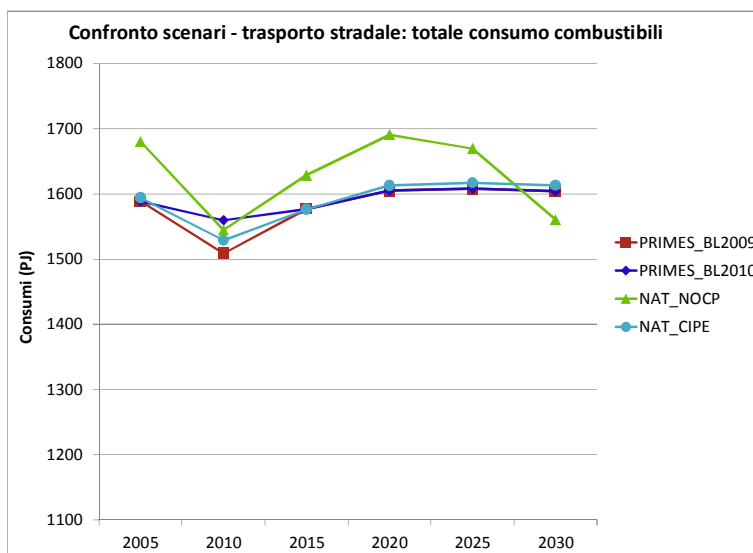


Fig. 13 6 Confronto andamento consumi di combustibili per i trasporti stradali nei diversi scenari, periodo 2005-2030.

² In accordo con le metodologie definite nell'ambito della Convenzione LRTAP i consumi di carburanti per i trasporti devono essere valutati secondo il principio del *öfuel soldö* ovvero tenendo in considerazione i combustibili venduti sul territorio nazionale a prescindere che gli stessi siano consumati o meno su tale territorio. Ovviamente in questo modo non vengono conteggiati i combustibili acquistati all'estero e consumati sul territorio nazionale. I maggiori consumi dello scenario NAT_NOCP derivano in buona parte dal fatto che, per diverse ragioni dipendenti dalle finalità per cui tale scenario è stato elaborato, in esso tali consumi sono invece stati considerati.

Se si passa però ad analizzare la composizione di tali consumi ci si rende conto di come i dati nazionali e i dati di PRIMES presentino significative differenze.

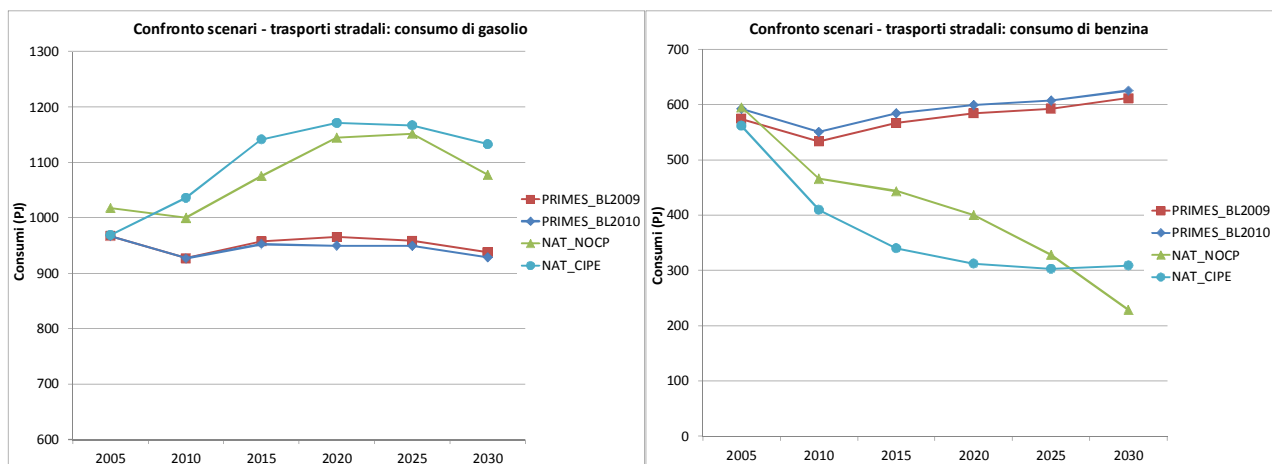


Fig. 14 ó Confronto andamento dei consumi di gasolio (sx) e benzina (dx) per i trasporti stradali nei diversi scenari per il periodo 2005-2030.

Come si può notare dai grafici di figura 14, gli scenari nazionali e gli scenari PRIMES ripartiscono in modo diverso il consumo totale tra gasolio e benzina. In particolare, gli scenari PRIMES sottostimano il consumo di gasolio (sia per il 2010 che per gli anni successivi) e sovrastimano quello di benzina rispetto agli scenari nazionali. Ciò porta ad una errata rappresentazione del parco dei veicoli circolanti (si pensi che la benzina viene quasi esclusivamente utilizzata per il trasporto passeggeri e non per le merci) con una serie di conseguenze significative in termini di emissioni prodotte, soprattutto per quanta riguarda gli ossidi di azoto e le polveri.

La differenza risulta ancor più evidente nei grafici di figura 15, in cui è illustrata la ripartizione percentuale dei consumi fra i principali combustibili utilizzati per i trasporti stradali secondo gli scenari PRIMES_BL2010 e NAT_CIFE. Si noti in particolare la differenza all'anno 2010, i cui dati, nello scenario nazionale, rappresentano non delle stime del modello di calcolo utilizzato, ma il consuntivo dei consumi reali, così come riportati nelle statistiche nazionali.

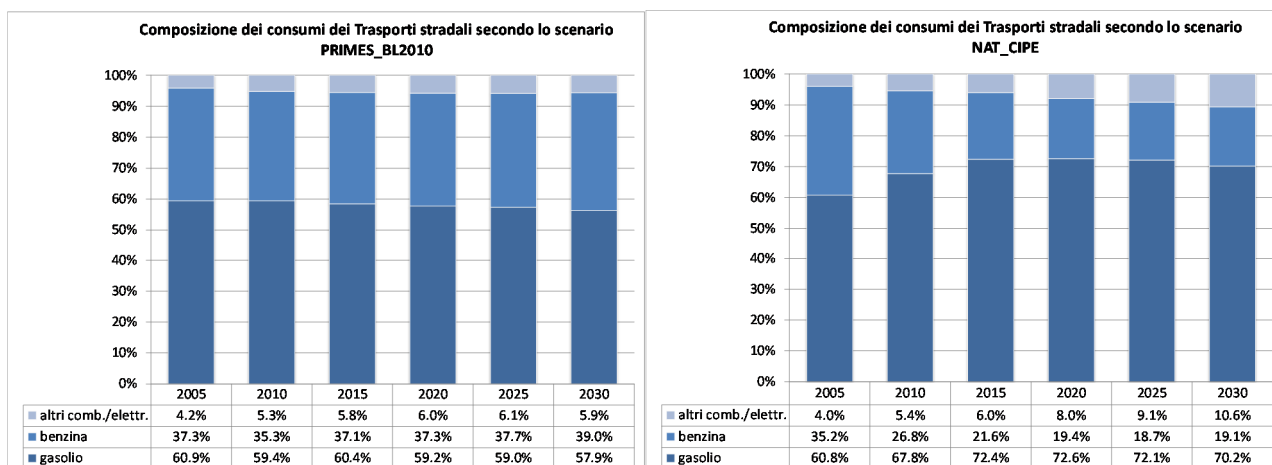


Fig. 15 ó Confronto andamento delle componenti dei consumi di combustibili per i trasporti stradali nei diversi scenari PRIMES_BL2010 (sx) e NAT_CIFE (dx) per il periodo 2005-2030.

4.2 Lo scenario delle attività produttive non energetiche

Oltre ai settori energetici, il modello GAINS-Italia necessita della definizione degli scenari di numerose attività produttive non energetiche. La definizione di tali scenari si basa su variabili

economiche, quali il PIL o il valore aggiunto, dati sulla popolazione, statistiche di settore, risultati dello scenario energetico. L'elenco completo dei settori per cui è stato necessario definire un andamento è riportato nel manuale d'uso del modello GAINS-Italia (D'Elia et al., 2011). In tabella 2 si riportano le ipotesi adottate per alcune categorie industriali.

Tab. 2 6 Andamento dati di attività delle principali categorie emmissive.

Settore	2000-2010	Variazione annua			
		var 11-15	var 16-20	var 21-25	var 26-30
Siderurgia	dati consuntivo	2.91%	0.80%	0.80%	0.80%
Vetro	dati consuntivo	1.21%	1.20%	1.20%	1.20%
Cemento	dati consuntivo	-1.80%	2.22%	2.82%	2.16%
Calce	dati consuntivo	-2.04%	1.11%	1.41%	1.08%
Raffineria	dati consuntivo	-1.28%	-0.63%	0.14%	1.25%
Uso domestico vernici/solventi	dati consuntivo	0.43%	0.28%	0.19%	0.13%
Estrazione e distribuzione combustibile	dati consuntivo	0.28%	0.23%	0.29%	0.28%

Differente è il caso per la proiezione del numero di capi animali, per la quale si è messo a punto un metodo di previsione basato sull'individuazione di alcuni fattori-chiave da cui dipendono i livelli di attività (variabili dipendenti).

L'espressione matematica che consente di scomporre tali variabili (numero di animali) nei suoi fattori-chiave è un'identità, scritta per ognuna di esse.

Nel costruire l'identità, si è cercato, per quanto possibile, di porre in relazione la variabile dipendente, con tre variabili che individuano, per il processo considerato, l'intensità, la struttura e l'attività. La scelta di un approccio di questo tipo è tra l'altro supportata dal fatto che simili metodologie sono già state applicate in altri settori, come ad esempio nel settore energetico per l'analisi dell'andamento delle emissioni di CO₂, attraverso la cosiddetta identità di Kaya (Gracceva e Contaldi, 2004). Una dettagliata descrizione sulla formulazione matematica del metodo di previsione seguito per gli allevamenti è riportato in Appendice A.

Il risultato del metodo di previsione utilizzato, applicato per la proiezione del numero di capi dei principali allevamenti animali responsabili delle emissioni di NH₃ (bovini, suini, avicoli e ovocaprini), è riportato in tabella 3 e figura 16.

Tab. 3 6 Andamento del numero di capi animali degli allevamenti più emissivi.

Allevamento	2000-2010	Variazione annuale			
		var 11-15	var 16-20	var 21-25	var 26-30
Mucche da latte	dati consuntivo	-0.19%	-0.88%	-0.14%	-0.13%
Altri bovini	dati consuntivo	0.53%	-0.50%	-0.16%	-0.43%
Suini	dati consuntivo	0.30%	0.13%	0.15%	0.20%
Galline da covata	dati consuntivo	0.50%	0.64%	0.34%	0.28%
Altri avicoli	dati consuntivo	0.00%	-0.01%	0.29%	0.06%
Ovocaprini	dati consuntivo	-0.17%	0.28%	0.19%	0.13%

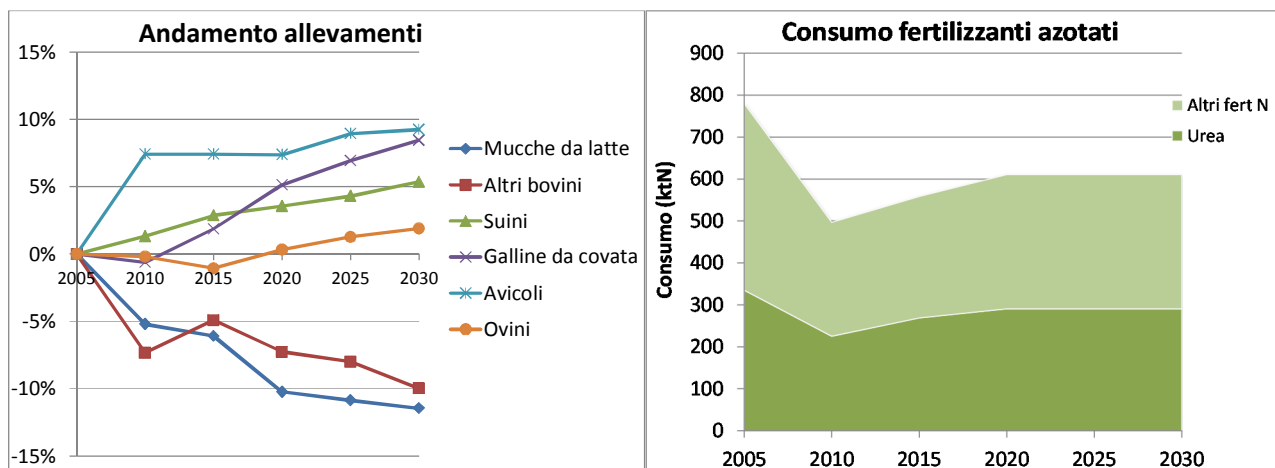


Fig. 16 ó Scenario dei principali indicatori agricoli: a sx andamento dei principali allevamenti animali (in % rispetto al 2005), a dx andamento del consumo dei fertilizzanti azotati (in ktN).

L'esito dell'applicazione del modello di previsione per gli allevamenti mostra una riduzione del numero di capi bovini, più consistente per le mucche da latte rispetto agli altri bovini. Per il numero di capi degli allevamenti suinicoli ed avicoli si osserva un progressivo incremento.

Per quanto riguarda i fertilizzanti azotati, le proiezioni vengono formulate a partire dai dati dell'European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA, 2012). In particolare, per il consumo di urea si è osservata una forte riduzione dei consumi nel periodo 2005-2010, cui segue una ripresa dei consumi fino al 2020 per poi stabilizzarsi dopo tale anno.

4.3 La strategia di controllo

Il modello GAINS-Italia è un modello tecnologico, che contiene quindi un lungo elenco di tecnologie e processi emissivi e possibili tecnologie di riduzione delle emissioni inquinanti, di cui si riporta una sintesi nei box seguenti.

Box 1: Principali tecnologie per la riduzione delle emissioni di SO₂ (circa 180 opzioni in GAINS).

- Use of low sulfur coal
- Use of low sulfur heavy fuel oil
- Use of low sulfur diesel (3 stages)
- Use of low sulfur gasoline
- In-furnace control
- Flue gas desulfurization
- Advanced flue gas desulfurization
- Process emissions controls (3 stages)

Box 2: Principali tecnologie per la riduzione delle emissioni di NO_x (circa 400 opzioni in GAINS).

- Combustion modifications
- SNCR
- SCR
- Road: Euro stages
- Non-road: Euro equivalents
- Seagoing ships:
 - Combustion modification
 - SCR

Box 3: Principali tecnologie per la riduzione delle emissioni di PM (circa 850 opzioni in GAINS).

For stationary sources
Cyclones, ESPs, fabric filters, wet scrubbers,
Improved and new boilers and stoves in the residential and commercial sectors
Good practices
For mobile sources
Same as for NO _x

Box 4: Principali tecnologie per la riduzione delle emissioni di NMVOC (circa 500 opzioni in GAINS).

Basic emission management techniques: <i>good housekeeping, regular maintenance programs, process modification</i>
Solvent substitution
End-of-pipe techniques: <i>thermal and catalytic incineration, carbon adsorption, etc.</i>
Combination of these measures

Box 5: Principali tecnologie per la riduzione delle emissioni di NH₃ (circa 110 opzioni in GAINS).

Low nitrogen feed (dietary changes)
Biofiltration (air purification)
Housing adaptation: <i>low emission housing</i>
Covered outdoor storage of manure
Low ammonia application techniques: <i>efficient application of manure</i>
Incineration of poultry manure
Urea substitution

Per la struttura del modello GAINS-Italia, ai fini dell'elaborazione di uno scenario emissivo, è necessario definire una strategia di controllo, che consiste nell'insieme delle misure tecnologiche di riduzione delle emissioni che si prevede saranno introdotte entro l'orizzonte temporale di riferimento sulla base dell'applicazione della legislazione nazionale e comunitaria vigente, e si esprime in termini di percentuale di applicazione per settore, combustibile e tecnologia emissiva.

Le principali direttive considerate riguardano per esempio il tenore di zolfo dei combustibili, gli standard Euro per il settore trasporti, i limiti alle emissioni industriali degli impianti, i limiti al contenuto di solventi nelle vernici, i limiti previsti per gli allevamenti suinicoli e avicoli e così via.

Nello scenario *baseline* si è quindi ipotizzata la piena applicazione della legislazione vigente o che si prevede entrerà in vigore nell'orizzonte temporale dello scenario.

Per quanto riguarda il settore trasporti, è però necessario fare una precisazione.

La strategia di controllo non rappresenta la distribuzione del parco in funzione del numero di veicoli, ma le potenzialità di diffusione dei nuovi veicoli nell'ipotesi che un nuovo veicolo abbia una percorrenza media annua più alta di un veicolo vecchio. Nelle figure seguenti si riporta la strategia di controllo per autovetture divise in funzione del combustibile utilizzato (benzina e gasolio) e per i camion pesanti (> 3.5t) e leggeri (< 3.5t) a gasolio.

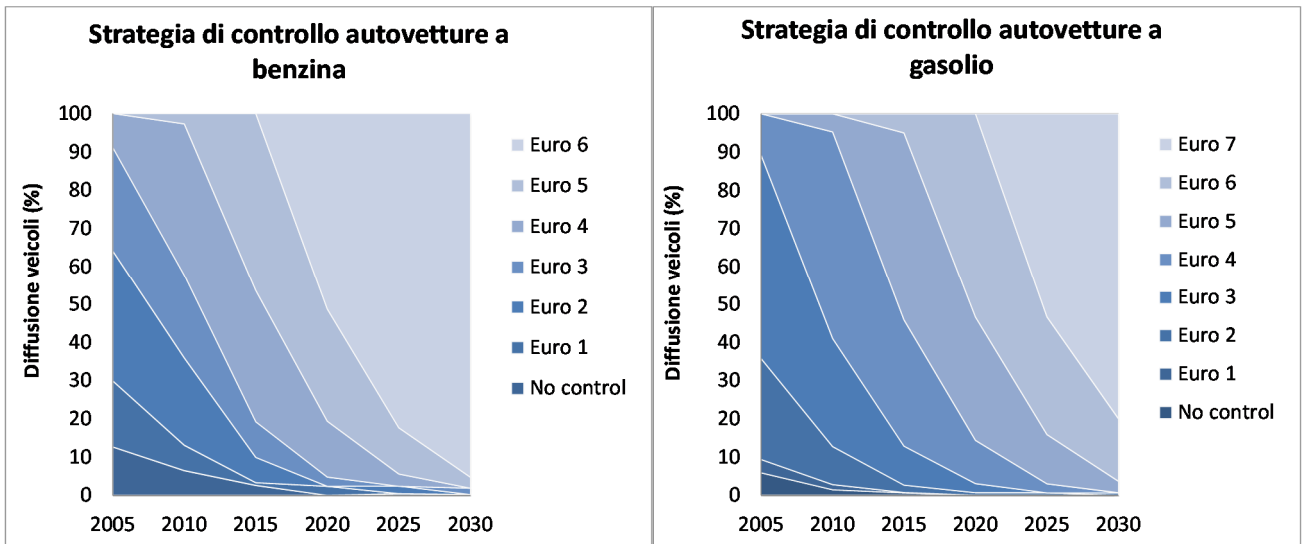


Fig. 17 ó Strategia di controllo per le autovetture a benzina (sx) e gasolio (dx).

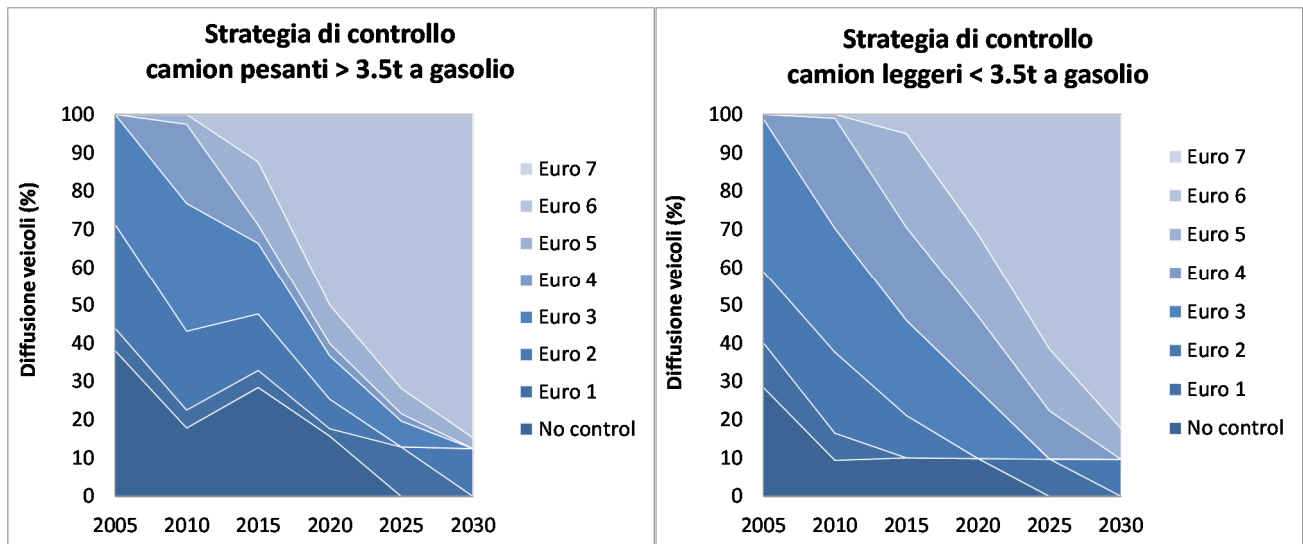


Fig. 18 ó Strategia di controllo per i camion a gasolio: a sx pesanti > 3.5t, a dx furgoncini leggeri < 3.5t.

Nonostante la legislazione europea preveda limiti via via più stringenti per le classi Euro maggiori, studi sui cicli reali di guida (Pelkmans e Debal, 2006; Rubino et al., 2007; Rubino et al., 2009; Vojtiser-Lom et al., 2009; Verbeek et al., 2010; Weiss et al., 2011; Weiss et al., 2012) hanno dimostrato che le emissioni di NO_x dalle autovetture a gasolio non sono diminuite nel passaggio dagli Euro 2 agli Euro 5.

5 IL PROCESSO DI ARMONIZZAZIONE

Le metodologie di stima delle emissioni di inventario e modello sono diverse.

In linea generale, la metodologia utilizzata per elaborare gli inventari nazionali delle emissioni è quella illustrata nell'*EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (EEA, 2009).

L'equazione che sta alla base degli inventari di emissione è

$$E_j = Act_j * EF_j$$

dove Act_j rappresenta il livello di attività del settore j ed EF_j il relativo fattore di emissione.

Ad esempio, per quanto riguarda la produzione di energia elettrica, il consumo di un dato combustibile può costituire un livello di attività e la quantità di ossidi di azoto per unità di combustibile bruciato il fattore di emissione.

Tale approccio di base può essere ulteriormente sviluppato per tenere in considerazione le eventuali informazioni disponibili circa gli elementi che determinano le emissioni prodotte da una data sorgente. Il *guidebook* illustra una metodologia articolata su più livelli, di complessità e completezza crescenti.

La metodologia di primo livello, Tier 1, consiste nella relazione lineare di cui sopra. I dati di attività sono ricavati dalle statistiche nazionali, quali bilanci energetici, livelli di produzione, popolazione, numero di veicoli ecc. I fattori di emissione, in questo caso, rappresentano delle medie o delle situazioni tipiche e non sono direttamente collegati ad una particolare tecnologia o processo.

La metodologia di secondo livello, Tier 2, usa dati di attività analoghi al primo livello, ma fattori di emissione più dettagliati e specifici riconducibili anche alle tecnologie e ai processi che generano le emissioni. Ovviamente è necessario disporre anche di dati di attività ad un adeguato livello di dettaglio.

La metodologia di terzo livello, Tier 3, va oltre l'approccio usato dalle precedenti e può includere la raccolta di informazioni direttamente a livello dei singoli impianti e processi che generano le emissioni (come ad esempio i grandi impianti di combustione di cui alla direttiva 2010/75/CE), nonché l'uso di sofisticati modelli (come ad esempio il modello COPERT per le emissioni dei trasporti stradali).

Per una spiegazione più dettagliata delle metodologie di stima delle emissioni si rimanda all'*EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (EEA, 2009)

Il modello GAINS-Italia è un modello di tipo tecnologico in cui le tecnologie di abbattimento delle emissioni sono esplicitamente considerate nella relazione seguente

$$E_{i,p} = \sum_k \sum_m A_{i,k} \cdot ef_{i,k,m,p} \cdot x_{i,k,m,p}$$

con

i, k, m, p rispettivamente Regione (nazione, etc.), attività, misura di riduzione delle emissioni, inquinante;

$E_{i,p}$ emissioni dell'inquinante p per la Regione (nazione, etc.) i ;

$A_{i,k}$ livello di attività k (consumo gas centrali elettriche, numero suini, etc.) della Regione (nazione, etc.) i ;

$ef_{i,k,m,p}$ fattore di emissione dell'inquinante p per l'attività k nella Regione (nazione, etc.) i dopo l'applicazione della misura m ;

$x_{i,k,m,p}$ percentuale della quantità di attività k soggetta alla misura m relativa all'inquinante p nella Regione (nazione, etc.) i .

Il modello GAINS, come tutti i modelli, non è che una rappresentazione semplificata di una realtà molto più complessa. Per esigenze di modellazione, il GAINS non contiene tutte le sorgenti emissive che possono essere trovate nel mondo reale o contenute in un inventario delle emissioni, ma seppur limitati e aggregati, i settori considerati nel modello costituiscono una rappresentazione piuttosto efficace di tutte le sorgenti emissive.

Come precedentemente sottolineato, il modello GAINS è stato sviluppato distinguendo le sorgenti emissive in base ai fattori di emissione e alle tecnologie di abbattimento degli inquinanti. Nasce quindi l'esigenza di costruire un'associazione tra le sorgenti emissive considerate nel modello GAINS, dotate di un proprio sistema di classificazione, e quelle contenute in un inventario delle emissioni identificate invece secondo la classificazione SNAP (*Selected Nomenclature for Air Pollution*) oppure NFR (*Nomenclature For Reporting*) per la comunicazione delle emissioni nell'ambito della convenzione CLRTAP. Informazioni dettagliate sull'associazione qui adottata tra settori GAINS e codici SNAP sono riportate nel manuale d'uso del modello GAINS-Italia (D'Elia et al., 2011), mentre le specifiche modifiche all'associazione generale descritta nel manuale resesi necessarie nel presente lavoro sono riportate nell'Appendice B.

Risulta pertanto di particolare importanza verificare l'affidabilità delle emissioni calcolate dal modello attraverso una procedura di confronto tra i dati storici delle emissioni per un determinato anno e il dato emissivo calcolato dal modello per lo stesso anno. Il processo di armonizzazione è quindi un passaggio fondamentale per garantire la validazione del modello e la robustezza delle proiezioni. L'anno o gli anni scelti per la taratura delle emissioni del modello vengono definiti *anni base*. Essendo il modello GAINS-Italia definito ad intervalli temporali quinquennali a partire dal 1990, gli anni di armonizzazione scelti nel presente lavoro sono stati gli anni 2005 e 2010.

Proprio riflettendo sulla necessità di stabilire quali settori del modello e dell'inventario confrontare e definirne una corretta associazione, si è deciso di seguire un approccio differente rispetto ai precedenti lavori di armonizzazione (si confronti Pignatelli et al., 2007). Consapevoli delle differenze insite nelle stime dei due sistemi (inventario e modello GAINS), si è seguito un approccio tecnologico aggregando, laddove necessario, le emissioni dell'inventario secondo la logica GAINS, e di riprodurre in GAINS-Italia, per quanto possibile, le emissioni specifiche degli impianti, modificando opportunamente il fattore di emissione o inserendo una strategia di controllo quanto più possibile aderente alla realtà tecnologica nazionale, evitando in questo modo "pericolose" forzature che avrebbero potuto influenzare significativamente la successiva analisi di ottimizzazione dei costi (analisi che è tuttora in corso sia a livello nazionale che a livello europeo e che non verrà, pertanto, trattata nel presente rapporto).

Tale approccio si è rivelato quindi molto più difficoltoso per il settore industriale, termoelettrico e di trasformazione del combustibile per le evidenti sovrapposizioni dei tre settori nella classificazione delle emissioni e per una certa rigidità del modello. Per gli altri settori (in particolare, domestico, trasporto stradale e non stradale, agricoltura, uso solventi) è stato invece più semplice stabilire una associazione tra i due sistemi di classificazioni.

Nei paragrafi successivi si illustreranno in dettaglio alcune delle ipotesi formulate soprattutto nell'armonizzazione dei settori SNAP 01, 03 e 04.

5.1 Armonizzazione con l'inventario nazionale delle emissioni 2005/2010

Come evidenziato nel paragrafo precedente, la procedura di armonizzazione seguita nel presente lavoro ha introdotto alcune variazioni rispetto alle precedenti armonizzazioni soprattutto per il settore

termoelettrico, industriale e di trasformazione del combustibile che verranno di seguito illustrate dettagliatamente.

Dopo un primo confronto tra i consumi energetici dei settori *Power Plants* (PP), Trasformazione del combustibile (CON_COMB) e Industria (IN), è emersa la necessità di effettuare una differente aggregazione dei consumi energetici utilizzati nell'inventario per riprodurre, in modo più aderente, la suddivisione dei consumi operata nello scenario energetico nazionale nel formato di input al modello GAINS-Italia.

In particolare, sia al 2005 che al 2010, ai consumi totali dei PP dell'inventario nazionale (SNAP 0101) sono stati aggiunti i seguenti consumi

- gas di acciaieria, cokeria, altoforno e gas naturale del settore 010401 e 010406;
- rifiuti del settore 020103 e 020302;
- tutti i consumi dei motori stazionari del settore 02;
- olio e tar+catrame dello 010301 e olio dello 010401;
- gas di raffineria dello 010301;
- per il solo 2010, parte del gas naturale del settore 010301, il cui consumo totale (circa 50.87 PJ) è stato suddiviso in CON_COMB-GAS (circa 21.21 PJ) e PP-GAS (circa 29.66 PJ) secondo quanto previsto dal Bilancio Energetico Nazionale;
- gas naturale (autoproduzione) del settore industriale 0301.

A valle della differente aggregazione dei consumi operata nell'inventario in funzione delle precedenti ipotesi, si riporta in figura 19 l'esito del confronto tra inventario e modello GAINS al 2005 e 2010 relativo ai consumi dei settori *power plant*, industria e trasformazione del combustibile.

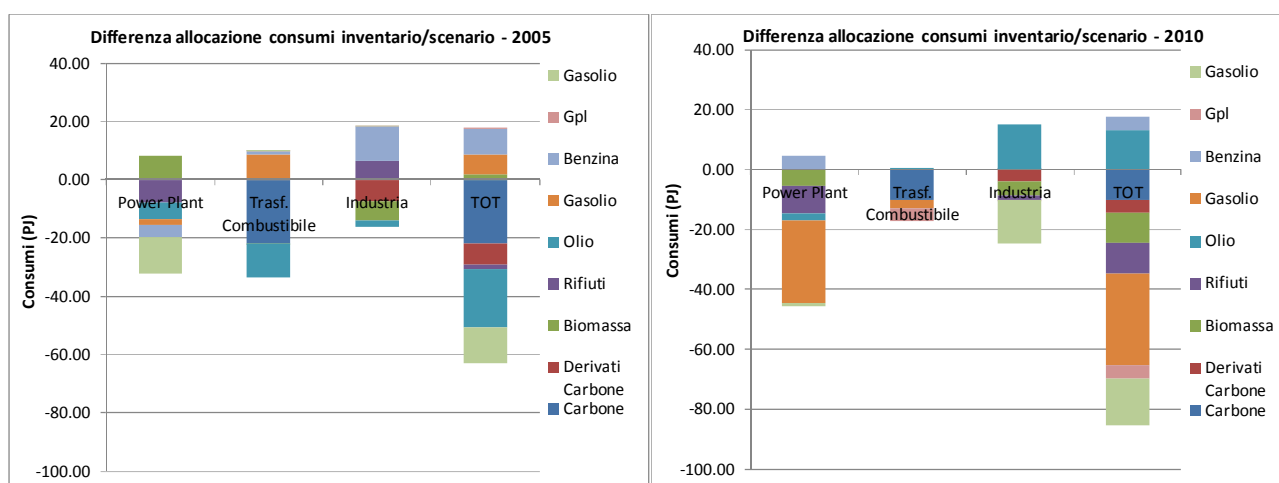


Fig. 19 Confronto allocazione consumi al 2005 (sx) e 2010 (dx) tra inventario e scenario.

Nel grafico, il segno \pm indica un consumo maggiore dell'inventario rispetto allo scenario e viceversa il segno \mp

La differenza principale al 2005 si osserva nel carbone utilizzato nella trasformazione del combustibile (produzione di coke), mentre al 2010 nel gasolio consumato dagli impianti di generazione elettrica (*power plant*). In realtà la differenza nei consumi di carbone è solo apparente e legata ad un diverso modo di contabilizzare le emissioni dalle cokerie. Tali consumi sono stati inseriti in GAINS come perdite dal settore CON_COMB, ma le relative emissioni sono state calcolate nella voce cokeria, PR_COKE, in accordo con l'inventario.

La maggiore differenza nei consumi di combustibili liquidi registrata al 2010 è parzialmente legata ad una differente distribuzione dei combustibili tra i tre settori in oggetto, ed in particolare per il

gasolio è dovuta all'aver considerato nel modello un consumo significativamente più alto di bioliquidi rispetto all'inventario.

Le differenze riscontrate nei consumi sono state ritenute accettabili ed incidono sui consumi totali per l'1% al 2005 e per il 2% al 2010 nei *power plant*, per l'8% al 2005 e per il 7% al 2010 nella trasformazione del combustibile e sono praticamente ininfluenti sia al 2005 che al 2010 per il settore industriale.

In base alle precedenti ipotesi di assegnazione dei consumi, si sono poi confrontati i fattori di emissione, le tecnologie e le relative efficienze di emissione presenti nel modello GAINS-Italia con i fattori di emissione utilizzati nell'inventario o calcolati a partire dai dati contenuti nelle banche dati nazionali delle emissioni degli impianti

Per il settore industriale si è persa in GAINS la suddivisione netta tra emissioni da combustione (SNAP 03) e da processo (SNAP 04). In appendice B si riporta l'associazione codici SNAP/codici GAINS adottata nel presente lavoro da cui emerge che, in funzione della rilevanza dell'inquinante considerato, lo stesso settore SNAP viene in GAINS tradotto con codici differenti (si osservi per esempio il settore 040605 che per SO₂, NO_x e PM viene considerato in OTHER mentre per gli NMVOC è in FOOD).

Le emissioni dai laterizi (SNAP 030319), rispetto alle precedenti armonizzazioni in cui venivano considerate nella voce OTHER, sono state, inoltre, esplicitamente contabilizzate nella voce PR_BRICK. La stima di questo nuovo settore in GAINS-Italia ha richiesto la definizione di appositi fattori di emissione per le tecnologie considerate nel modello. Si è cercato quindi, per quanto possibile, di ridurre la quantificazione delle emissioni della voce OTHER, che rappresenta il contenitore in cui vengono inserite tutte le emissioni non esplicitamente trattate dal modello GAINS e che nelle proiezioni viene generalmente mantenuta costante.

Per gli altri settori è stato relativamente più semplice armonizzare le emissioni delle due stime essendo stato possibile determinare una corrispondenza quasi diretta tra settori SNAP e codici GAINS. In questo caso, stabilita la corrispondenza, si è inserito nel modello GAINS il dato di attività dell'inventario e si è successivamente armonizzato il fattore di emissione delle tecnologie di abbattimento considerate nel modello con il fattore di emissione dell'inventario.

Per illustrare l'approccio seguito nel processo di armonizzazione, si riporta, come esempio, l'armonizzazione delle emissioni di NO_x per le centrali termoelettriche a gas.

In base alle ipotesi precedentemente illustrate, si è preliminarmente proceduto al confronto dei consumi di gas del settore PP in GAINS con i consumi di gas dell'inventario organizzati secondo la logica GAINS. L'esito di tale confronto è riportato in tabella 4.

Tab. 4 ó Confronto inventario/output GAINS al 2005 sui consumi di gas nelle centrali termoelettriche.

INVENTARIO 2005			GAINS 2005		
CODICE SNAP	Combustibile	Consumi (PJ)	Consumi (PJ)	codice GAINS	Tecnologia
0101 Public Power	Gas naturale	1025.87			
010401 Transformation fuel	Gas naturale	6.77			
	Gas di Acciaieria	4.44			
	Gas di cokeria	11.95			
	Gas di altoforno	36.77			
0301 Industrial boiler	gas naturale autoprodotto	11.62			
	TOTALE GAS INV	1097.42	1111.10	TOT GAS PP GAINS	
			297.06	PP_EX_OTH (GAS)	Boiler
			35.00	PP_NEW (GAS)	Turbine
			779.04	PP_MOD (GAS)	CCGT

Una volta verificati i consumi, si è poi proceduto alla definizione dei fattori di emissione medi per l'anno di riferimento.

In funzione delle categorie previste dal modello GAINS-Italia per le centrali a gas (boiler, turbine a gas e cicli combinati), si sono calcolati i fattori di emissione a partire da quelli utilizzati per l'inventario nazionale delle emissioni e tenendo conto delle emissioni dei singoli impianti disponibili nelle banche dati PRTR³ e Grandi impianti di combustione⁴. Essendo GAINS un modello di tipo tecnologico, è stato necessario determinare per ogni tecnologia, settore e combustibile previsto dal modello i fattori di emissione sia in assenza che in presenza di sistemi di abbattimento nonché le efficienze di rimozione degli stessi.

Il modello, come più volte ripetuto, non è che una schematizzazione di tutte le casistiche presenti nella realtà e pertanto prende in considerazione una selezione ristretta ma significativa delle tecnologie realmente disponibili, cui assegna un'efficienza di abbattimento media. Dopo una consultazione con IIASA, si è deciso di non modificare l'efficienza di rimozione ipotizzata per le varie tecnologie, ma di agire sui fattori di emissione non abbattuti considerati nel modello. Per cui, nell'esempio delle centrali a gas, dalle dichiarazioni degli impianti si è individuato il fattore di emissione minimo e massimo presenti necessari a tarare il fattore di emissione non abbattuto e la tecnologia più efficiente (si confronti tabella 5).

Tab. 5 ó Definizione fattore di emissione e strategia di controllo per gli NO_x nei cicli combinati a gas.

Settore	Codice GAINS	Tech	Comb	FE (ktNO _x /PJ)	App Tech (%)
Cicli combinati	PP_MOD	NOC	Gas	0.030	85
Cicli combinati	PP_MOD	POGSCR	Gas	0.006	15

Determinato l'intervallo minimo e massimo, in funzione della taglia degli impianti, del fattore di emissione per impianto, si è determinato il fattore di emissione medio annuale dell'inventario che ha permesso conseguentemente la taratura delle percentuali di applicazione delle tecnologie per quel settore (cicli combinati) per quel combustibile (gas).

Definite tutte le variabili in input al modello GAINS, si sono poi calcolate le emissioni di NO_x per gli impianti a gas verificandole con le emissioni dell'inventario. Tale procedura è stata ripetuta per tutti i settori per tutti i combustibili per tutti gli inquinanti. Nella seguente figura si riporta il confronto per gli NO_x di tutto il settore *power plant* al 2005.

³ Per maggiori informazioni si rimanda al sito web <http://www.dichiarazioneines.it/homepage.asp>

⁴ Per maggiori informazioni si rimanda al sito web <http://www.isprambiente.gov.it/servizi-per-lambiente/grandi-impianti-di-combustione>

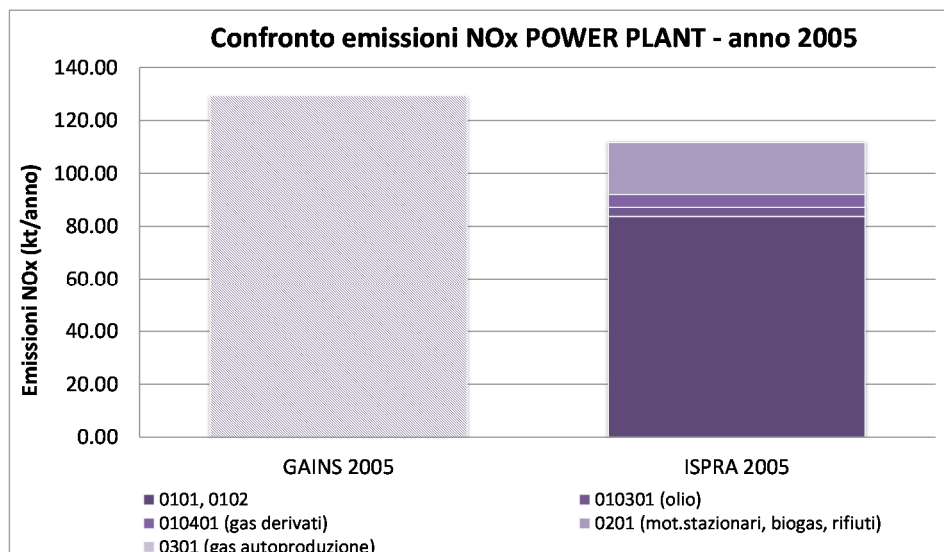


Fig. 20 ó Armonizzazione emissioni NO_x al 2005 del settore *power plant*.

L'esito del processo di armonizzazione per settore per inquinante per gli anni 2005 e 2010 è riportato nelle figure e tabella seguenti.

Tab. 6 ó Confronto emissioni totali anni 2005 e 2010.

Inquinante	Emissioni 2005			Emissioni 2010		
	GAINS (kt)	Inventario (kt)	Δ (%)	GAINS (kt)	Inventario (kt)	Δ (%)
SO ₂	392.85	402.53	-2.40%	227.82	210.18	8.39%
NO _x	1245.97	1212.18	2.79%	999.46	963.64	3.72%
PM10	215.29	197.30	9.12%	219.38	202.06	8.57%
PM2.5	164.86	165.82	-0.58%	176.93	173.21	2.15%
NMVOC	1336.48	1316.60	1.51%	1079.99	1080.29	-0.03%
NH ₃	420.25	415.85	1.06%	379.43	378.98	0.12%

La tabella 6 mostra un buon accordo tra le emissioni totali stimate da GAINS e le emissioni dell'inventario nazionale con variazioni che oscillano da -2.40% a 9.12% al 2005 e da -0.03% a 8.57%, anche se procedendo al confronto per settore è possibile apprezzare alcune significative differenze.

Nel 2005 il maggior contributo alle emissioni di SO₂ (figura 21) deriva dai *power plants* le cui emissioni si riducono drasticamente al 2010 a causa di una riduzione dei consumi di carbone e olio negli impianti esistenti. Conseguentemente al 2010 il settore che maggiormente contribuisce alle emissioni totali di SO₂ è quello industriale. Nonostante il buon accordo tra i dati di inventario e le stime GAINS per tali settori, si osserva al 2010 una differenza non trascurabile nel trasporto marittimo legata ad una differente stima dei consumi di gasolio.

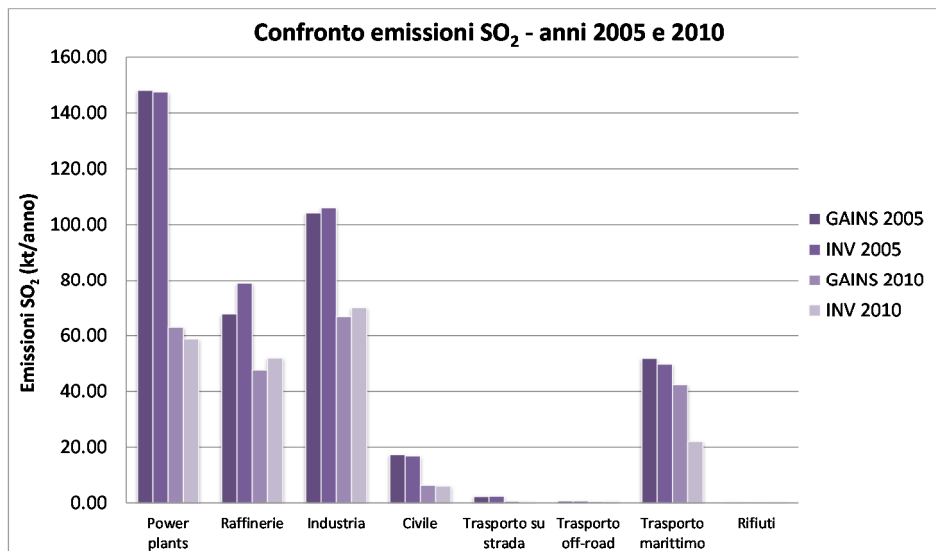


Fig. 21 ó Confronto emissioni SO₂ per settore ó anni 2005 e 2010.

Per quanto riguarda gli NO_x, le emissioni derivano principalmente dal trasporto stradale. L'armonizzazione (figura 22) mostra un buon accordo tra le due stime per quasi tutti i settori. Si osserva una maggiore differenza nella stima emissiva dei *power plant* al 2010 legata ad una diversa contabilizzazione dei biocombustibili (in GAINS è presente un quantitativo maggiore rispetto al dato dell'inventario).

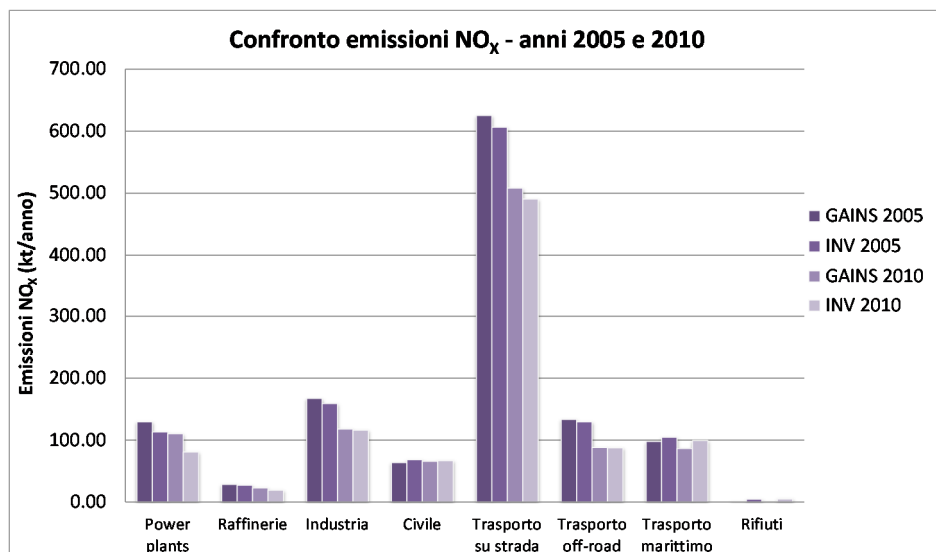


Fig. 22 ó Confronto emissioni NO_x per settore ó anni 2005 e 2010.

Come già evidenziato, l'analisi delle emissioni di PM₁₀ mostra un preponderante e crescente contributo del settore civile, seguito dal trasporto su strada e dall'industria. L'armonizzazione mostra maggiori differenze nella determinazione delle emissioni del trasporto su strada legate alla diversa stima delle emissioni di PM₁₀ derivanti dall'abrasione degli pneumatici, dal manto stradale e dai freni. Il modello GAINS-Italia stima inoltre emissioni che attualmente non sono contabilizzate nell'inventario a causa della loro elevata incertezza. Tali emissioni, considerate nella voce "Altro", comprendono le emissioni da barbecue, fumo di sigaretta, fuochi d'artificio, attività di costruzione. Analoghe considerazioni possono essere estese anche al PM_{2.5}.

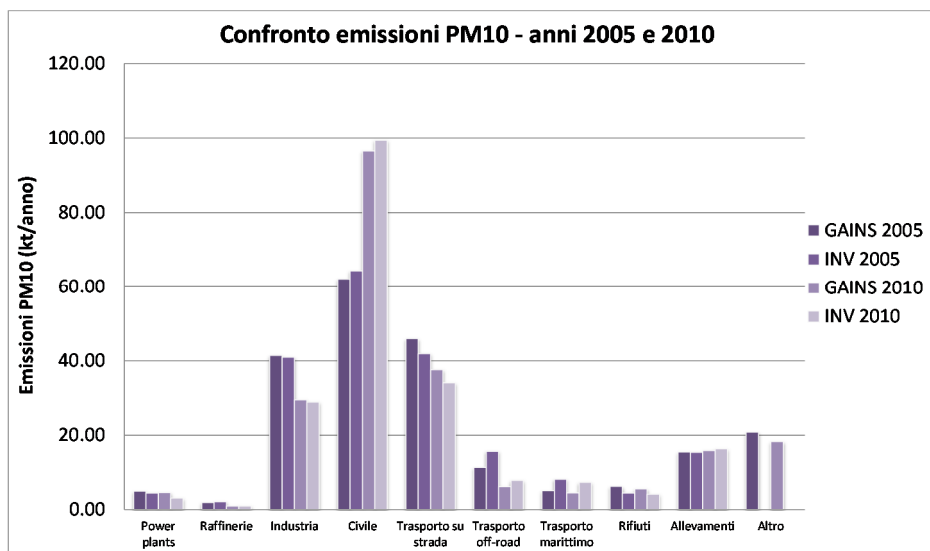


Fig. 23 ó Confronto emissioni PM10 per settore ó anni 2005 e 2010.

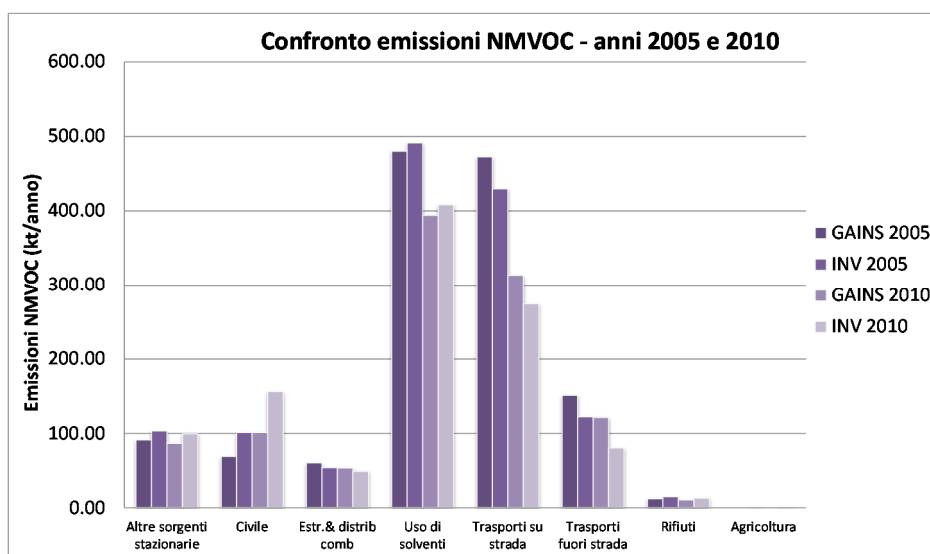


Fig. 24 ó Confronto emissioni NMVOC per settore ó anni 2005 e 2010.

Pur mostrando un ottimo accordo nella stima delle emissioni totali di NMVOC, come evidenziato in tabella 6, la figura 24 mostra un quadro leggermente differente nell'analisi per settori. Infatti, mentre si registra un buon accordo per quanto riguarda le emissioni di NMVOC da uso solventi e trasporto stradale, che rappresentano i settori preponderanti, si osservano maggiori differenze nella stima delle emissioni prodotte dal settore civile e dal trasporto fuori strada. Nel settore civile si è in particolare anticipata una modifica sui fattori di emissioni associati alla combustione della legna che dovrebbe essere introdotta nel prossimo aggiornamento dell'inventario, sulla base di alcuni studi specifici ancora in corso di pubblicazione. Si è pertanto deciso di anticipare in GAINS-Italia tale modifica che ha quindi come effetto un'apparente sottostima delle emissioni di NMVOC dal settore civile.

Le emissioni di NH₃ mostrano un buon accordo anche a livello settoriale, in cui risultano preponderanti le emissioni dei bovini, seguite da suini, avicoli e uso di fertilizzanti azotati. In un trend sostanzialmente stabile di questo inquinante, si osserva una forte riduzione delle emissioni prodotte dalla fertilizzazione con urea legata ad una analoga riduzione dei consumi di tale fertilizzante.

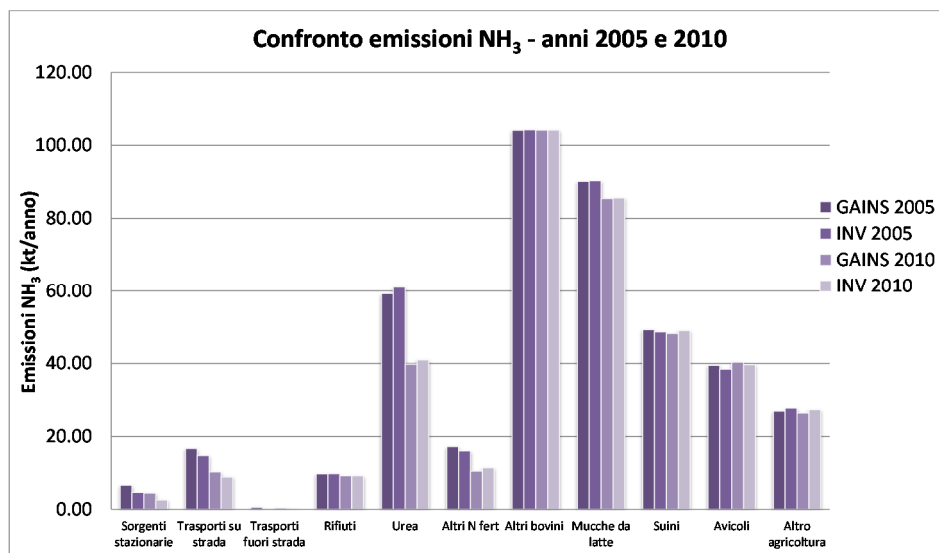


Fig. 25 Confronto emissioni NH₃ per settore e anni 2005 e 2010.

5.2 Confronto stime IIASA 2005

Nel corso della Revisione della Strategia Tematica sull'Inquinamento Atmosferico (TSAP), su indicazione della Commissione europea si sono svolti degli incontri bilaterali tra lo IIASA, che su incarico della Commissione stessa predispone degli scenari di emissione per ciascun paese dell'Unione europea, e i vari Stati Membri per la definizione dei dati di input per gli scenari *baseline*. Lo IIASA ha richiesto, inoltre, ai Paesi che ne fossero in possesso, scenari (energetici e no), strategia di controllo, fattori di emissione nazionali nel formato di input al GAINS in modo da creare uno scenario per la TSAP a partire dai dati nazionali.

L'Italia ha aderito alle richieste della Commissione e dello IIASA fissando un incontro bilaterale nel settembre 2012. L'analisi condotta congiuntamente durante l'incontro si è incentrata sulle differenze tra le stime nazionali e le stime PRIMES all'anno base, il 2005, per dimostrare come l'utilizzo di alcune ipotesi, per esempio sulla distribuzione dei combustibili nel trasporto stradale, possano fortemente alterare l'analisi di scenario ed il conseguente processo di ottimizzazione.

Nel seguito verrà mostrato un confronto, effettuato sui dati dell'anno 2005, tra la stima IIASA (IIASA 2005), l'inventario nazionale delle emissioni (INV 2005) e la stima del modello GAINS-Italia (IT 2005) armonizzata con l'inventario come precedentemente descritto.

Le figure seguenti mostrano l'esito di tale confronto.

La figura 26 mostra come sebbene ci sia un buon accordo tra le emissioni totali di SO₂ e NO_x stimate da IIASA e quelle dell'inventario nazionale (differenze rispettivamente del 5% e 10%), il confronto per settori mostra notevoli differenze nei settori *power plant* e industria per lo SO₂ e nel settore trasporto per gli NO_x.

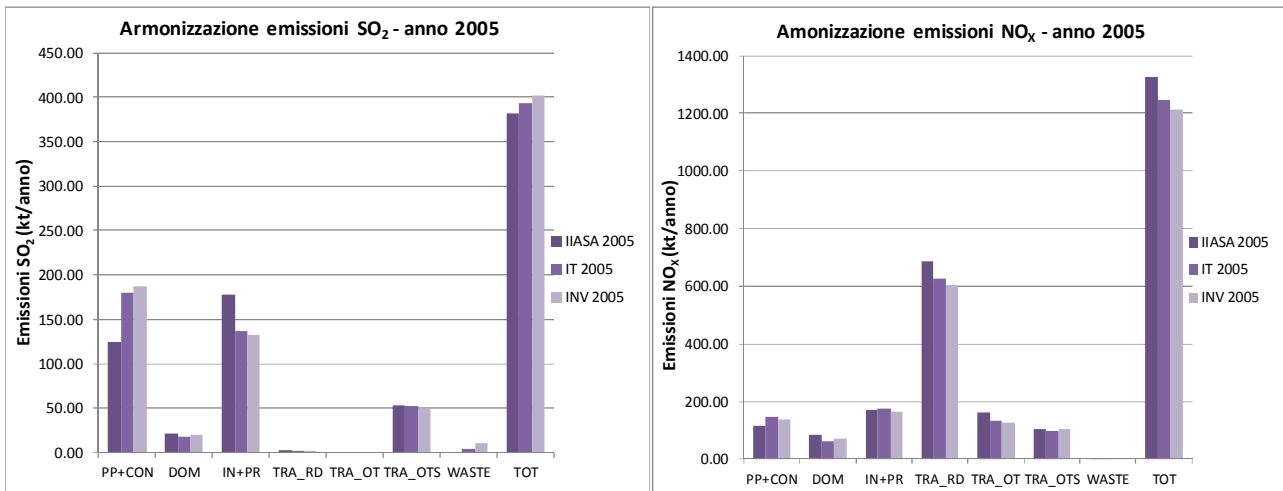


Fig. 26 ó Confronto emissioni IIASA, GAINS-IT e INV 2005: a sx SO₂, a dx NO_x.

La discrepanza nelle emissioni di SO₂ dei settori *power plant* e industria sembrerebbe legata ad una differente distribuzione dei combustibili liquidi, ed in particolare di olio combustibile, tra le differenti sorgenti stazionarie (figura 27). Ad un consumo totale di olio combustibile al 2005 praticamente confrontabile (variazione del 5% rispetto al consumo nazionale), viene applicata una distribuzione per settori completamente diversa rispetto a quella contenuta nell'inventario con pesanti ripercussioni sulle emissioni (IIASA sovrastima del 15% le emissioni totali calcolate nell'inventario anche a causa dell'elevato tenore di zolfo assegnato all'olio industriale nel modello europeo).

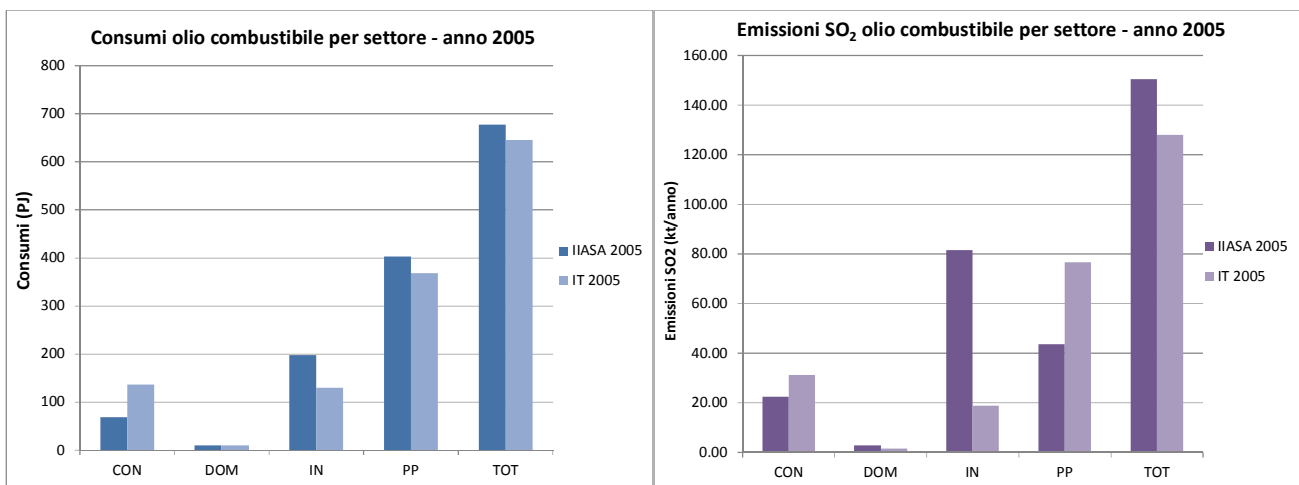


Fig. 27 ó Confronto stima IIASA e nazionale al 2005: assegnazione consumi di olio combustibile (in PJ) tra (sx) ed emissioni di SO₂ (in kt) per le sorgenti stazionarie (dx).

Analoghe considerazioni possono essere ripetute per gli NO_x nel trasporto stradale (figura 28), in cui si osserva che lo stesso consumo totale di gasolio viene ripartito differentemente nella stima IIASA e nazionale tra le varie tipologie veicolari. In particolare, nella stima IIASA viene assegnato un più elevato consumo di gasolio ai camion pesanti rispetto alle autovetture con conseguenze notevoli in termini di emissioni di NO_x (IIASA sovrastima complessivamente le emissioni di NO_x prodotte dai veicoli stradali a gasolio del 19% a causa di una sovrastima delle emissioni dei camion pesanti del 56% e ad una sottostima delle emissioni delle autovetture del 31%).

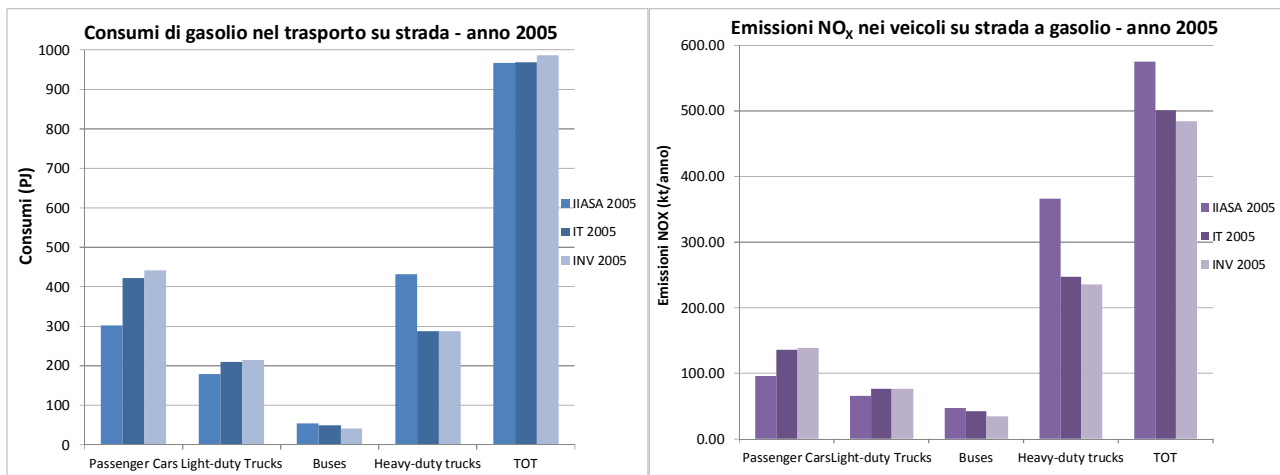


Fig. 28 Confronto stima IIASA e nazionale al 2005: ripartizione consumi di gasolio (in PJ) tra le varie tipologie veicolari nel trasporto su strada (sx) e relative emissioni di NO_x (in kt) (dx).

Per quanto riguarda le emissioni totali di PM₁₀ al 2005, si osserva un ottimo accordo tra la stima IIASA e l'inventario nazionale (differenza dell'1%). Analizzando il confronto per settori, riportato in figura 29 (sx), si rileva però una notevole discrepanza nelle emissioni del settore domestico (sottostima IIASA di circa il 52%) compensata parzialmente dalla stima emissiva del settore "Other" che comprende le emissioni dai fuochi d'artificio, dalle attività di costruzione ed agricole, dai barbecue e dal fumo di sigaretta. I motivi della discrepanza nel settore domestico sono legati ai consumi totali di biomassa (differenza di circa il 50%) e alla sua distribuzione tra le varie tecnologie (figura 29 dx). Analoghe considerazioni possono essere ripetute anche per il PM_{2.5}.

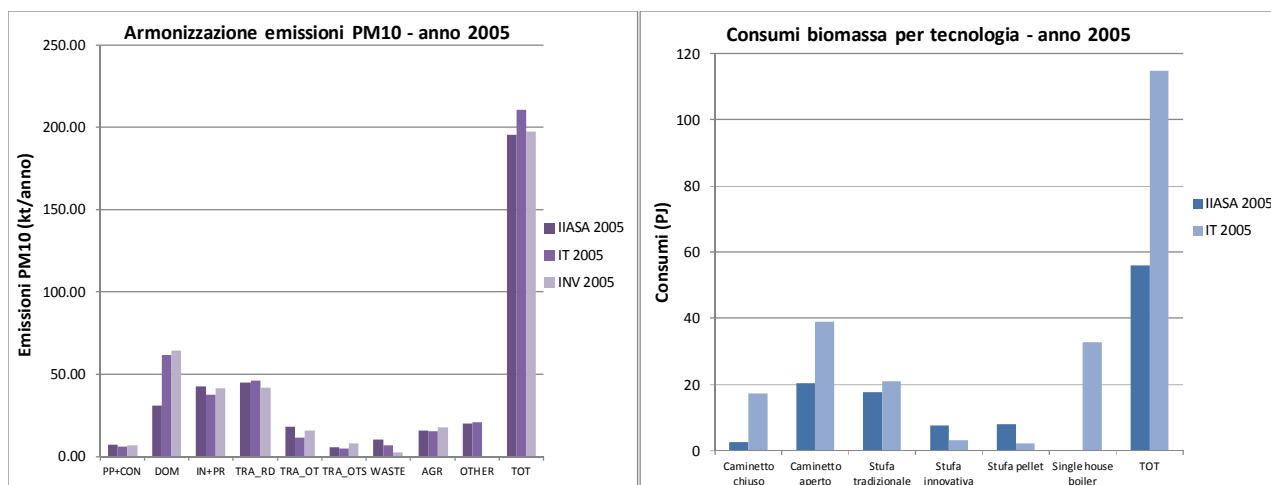


Fig. 29 Confronto stima IIASA e nazionale al 2005: confronto emissioni PM₁₀ (in kt) per settori (sx) e ripartizioni dei consumi di biomassa (in PJ) nel settore civile per tecnologia (dx).

Il caso del PM è particolarmente significativo. Spesso in campo internazionale, l'armonizzazione all'anno base della stima emissiva del modello europeo con l'inventario viene riportata in termini di totale emissivo. L'esempio del PM₁₀ mostra come possano esserci significativi effetti di compensazione che mascherano le differenze settoriali, con la conseguenza di poter prevedere riduzioni di emissioni in settori dove in realtà ci sono pochi margini di riduzione e di alterare la successiva analisi di ottimizzazione.

Il confronto emissivo all'anno 2005 per gli NMVOC e l'NH₃ è riportato in figura 30. Anche per questi due inquinanti si osserva un ottimo accordo tra stima IIASA e stime nazionali in termini di emissioni totali, ma l'analisi delle emissioni settoriali ancora una volta ci conduce a conclusioni differenti.

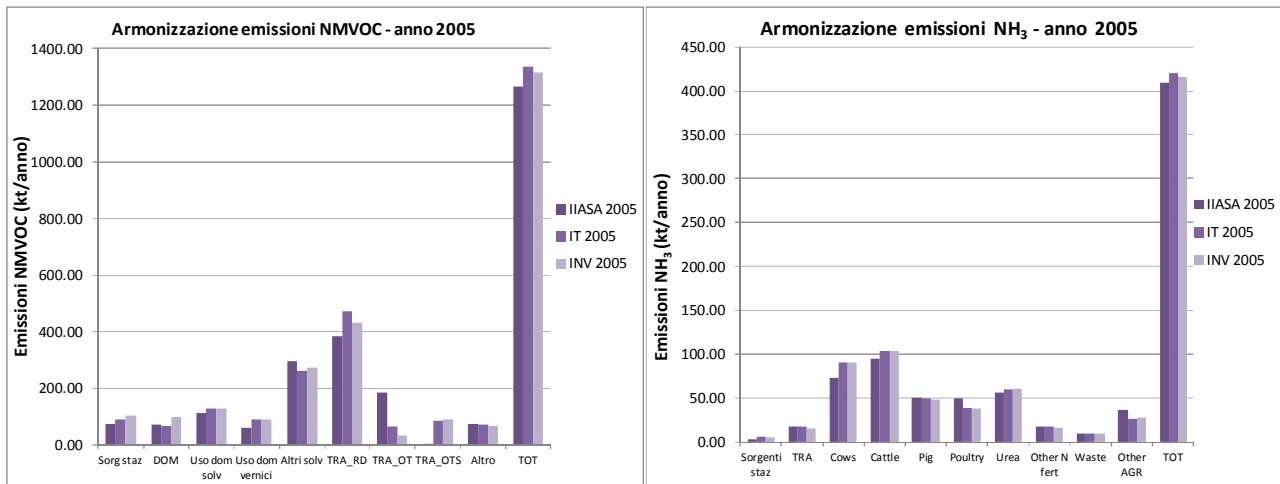


Fig. 30 Confronto emissioni IIASA, GAINS-IT e INV 2005: a sx NMVOC, a dx NH₃.

Per quanto riguarda gli NMVOC, si osserva una forte differenza nella stima delle emissioni dal trasporto off-road e marittimo legata ad una diversa contabilizzazione delle emissioni dei motori a due tempi delle piccole imbarcazioni. Le differenze nei solventi sono invece legate ad una differente ipotesi di diffusione delle tecnologie nel settore.

Per quanto riguarda l'ammoniaca, la discrepanza maggiore è legata alla stima delle emissioni prodotte dai bovini ed in particolare dalle mucche da latte. Per quest'ultima tipologia di allevamenti i fattori di emissione delle varie fasi gestionali (ricovero, stoccaggio, spandimento e pascolo) utilizzati nel modello europeo erano diversi dai fattori di emissione considerati nell'inventario. La stima delle emissioni di conigli e bufalini, per cui manca nel modello un settore specifico, è stata considerata nella voce Other animal rappresentata nel grafico in Other AGR.

Le stime IIASA presentate nei precedenti grafici sono relative allo stato dell'armonizzazione al momento dell'incontro bilaterale, che aveva come finalità proprio la riduzione delle discrepanze evidenziate.

Nel novembre 2012 i dati nazionali sono stati inviati a IIASA. La elaborazione di un nuovo scenario per la TSAP è ancora in corso di preparazione e nel momento in cui verrà reso disponibile nuove analisi verranno condotte per verificarne la corrispondenza con gli scenari nazionali.

6 LO SCENARIO EMISSIVO BASELINE 2012

Definiti gli scenari di input al modello GAINS-Italia e armonizzata la stima delle emissioni agli anni base 2005 e 2010 come precedentemente descritto, il modello elabora, attraverso la formulazione riportata nel paragrafo 5, uno scenario delle emissioni per i principali inquinanti atmosferici e per i sei gas serra previsti nel protocollo di Kyoto. Nei paragrafi seguenti verrà illustrato l'andamento delle emissioni di SO₂, NO_x, PM2.5, NMVOC e NH₃ dal 2005 al 2030 nello scenario *baseline*. Gli scenari analizzati sono disponibili online sul sito <http://gains-it.bologna.enea.it/gains/IT/index.login> nel gruppo "All scenarios" col nome di "Baseline_2012_new_ev".

6.1 SO₂

La maggior parte delle emissioni antropogeniche di SO₂ deriva dalla combustione di combustibili contenenti zolfo, quali olio e carbone. La progressiva riduzione del tenore di zolfo in questi combustibili e la diffusione di tecnologie via via più efficienti ha portato ad una forte riduzione delle emissioni già nel periodo 2005-2010.

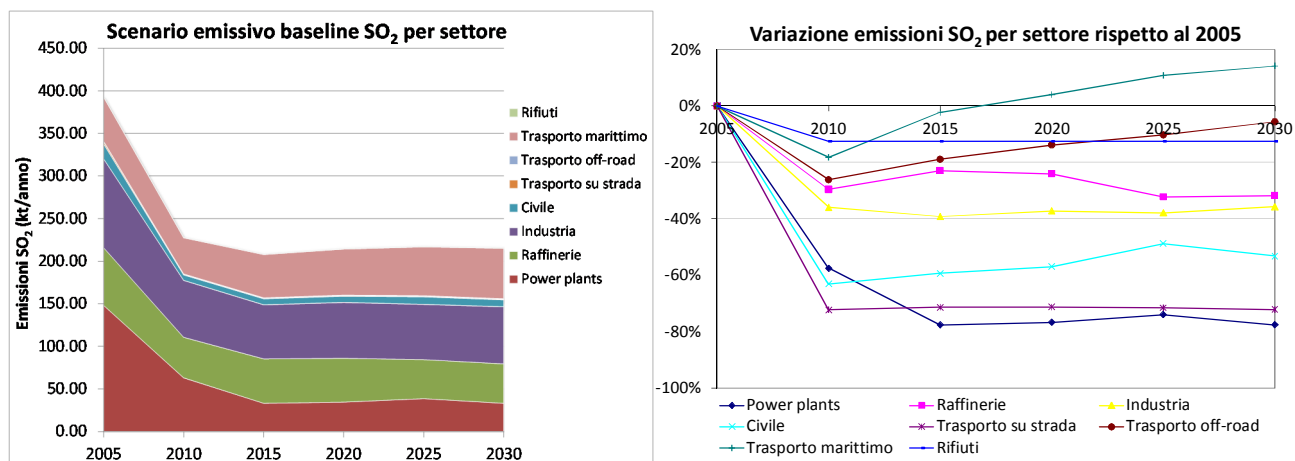


Fig. 31 Scenario nazionale di SO₂ per settore elaborato con il modello GAINS-Italia ad intervalli quinquennali: a sx emissioni di SO₂, a dx trend settoriali rispetto all'anno base 2005.

Come mostrato in figura 31, le principali riduzioni avvengono nel periodo 2005-2010, in particolare nei *power plant* le cui emissioni al 2015 si riducono del 78% rispetto al 2005, per poi assestarsi dopo tale anno. I *power plant*, che al 2005 rappresentavano il settore maggiormente emissivo contribuendo per il 38% delle emissioni totali, vengono sostituiti già al 2010 dal settore industriale che rimarrà il settore predominante fino al 2030 (già nel periodo 2005-2010 si registra una forte riduzione, pari a circa il 57%, delle emissioni dei *power plant*). Al settore industriale, il cui contributo alle emissioni totali passa dal 27% del 2005 al 31% del 2020 e 2030, segue il trasporto marittimo che passa dal 13% del 2005 al 25% e 27% rispettivamente nel 2020 e 2030. Il settore marittimo è infatti l'unico settore in cui, rispetto al 2005 si registra un incremento delle emissioni (del 4% al 2020 e del 14% al 2030). In generale, si osserva al 2020 una riduzione delle emissioni totali del 45% rispetto al 2005, riduzione che resta sostanzialmente stabile negli anni successivi.

6.2 NO_x

Il trasporto stradale è la principale sorgente di emissioni di NO_x che al 2005 rappresenta il 50% delle emissioni totali seguito, col 13%, dal settore industriale, con il 11% dal trasporto off-road e con il 10% dai *power plant*, come mostrato in figura 32.

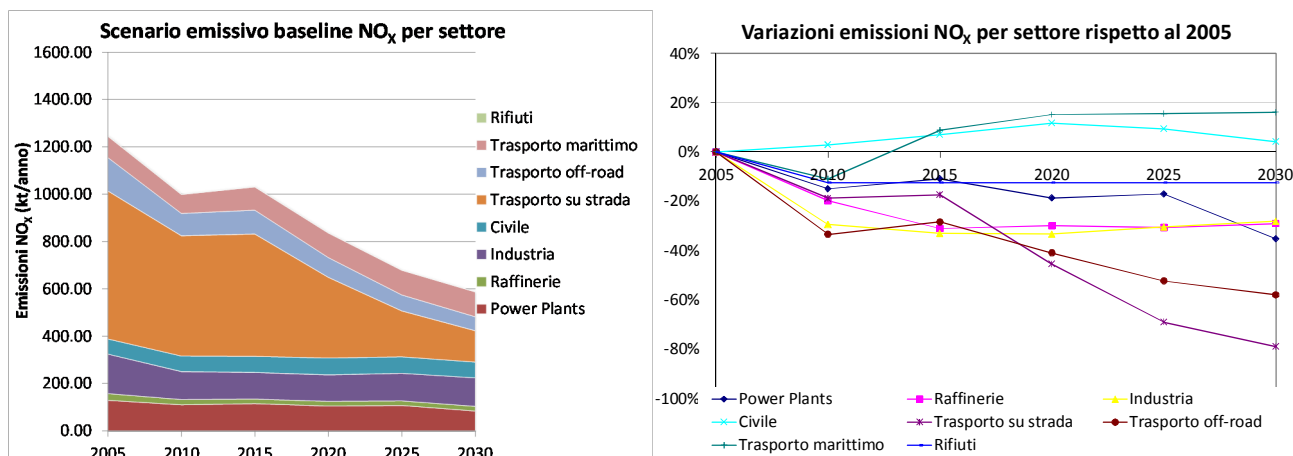


Fig. 32 Scenario nazionale di NO_x per settore elaborato con il modello GAINS-Italia ad intervalli quinquennali: a sx emissioni di NO_x, a dx trend settoriali rispetto all'anno base 2005.

Le emissioni complessive di NO_x si riducono del 33% al 2020 e del 53% al 2030 rispetto al 2005 come conseguenza di una forte riduzione delle emissioni prodotte dal trasporto stradale a partire dal 2015 e pari a circa il 45% al 2020 e al 79% al 2030 rispetto al 2005. Come evidenziato in figura 32, dal 2010 al 2015 le emissioni di NO_x da trasporto stradale rimangono sostanzialmente stabili a causa del mancato effetto di riduzione atteso per l'Euro 5 in base ai valori standard previsti dalle norme comunitarie. Per gli anni futuri, si è ritenuta valida l'ipotesi che vengano rispettate le riduzioni previste dalla progressiva introduzione dell'Euro 6. Per quanto riguarda gli altri settori, si osserva un incremento delle emissioni del trasporto marittimo del 15% al 2020 e del 16% al 2030 rispetto al 2005, mentre le emissioni del trasporto fuori strada si riducono del 41% al 2020 e del 58% al 2030. Dopo una riduzione dal 2005 al 2010, le emissioni delle raffinerie e dell'industria restano sostanzialmente stabili, mentre è prevista una riduzione delle emissioni del 35% al 2030 per i *power plant*.

Essendo le emissioni di NO_x dominate dal trasporto stradale, la riduzione complessiva delle emissioni dipenderà fortemente dalla positiva applicazione dei nuovi standard Euro nei veicoli stradali.

6.3 PM2.5

Le emissioni di PM2.5 al 2005 sono dominate dal settore civile che contribuisce alle emissioni totali per il 37%, ed il cui contributo è previsto in forte espansione fino ad arrivare al 61% nel 2020 e al 65% nel 2030. Al settore civile seguono le emissioni dal trasporto su strada con il 23% e dal settore industriale con il 16%. Contrariamente agli altri inquinanti, le emissioni totali di PM2.5 sono previste in crescita al 2020 con un incremento del 5% rispetto all'anno base 2005 per poi ridursi al 2030 del 7% (figura 33). L'incremento delle emissioni è pilotato da un significativo incremento delle emissioni dal settore civile, +72% al 2020 e +62% al 2030 rispetto al 2005, che di fatto vanifica la riduzione prevista negli altri settori ed in particolare nel trasporto su strada, in cui si prevede una riduzione delle emissioni del 54% al 2020 e del 78% al 2030 rispetto al 2005. L'aumento delle emissioni del settore civile è determinato dall'incremento previsto nei consumi di biomassa, come mostrato nel paragrafo 4.1, cui non segue un efficace miglioramento delle tecnologie di combustione della stessa. Nel trasporto stradale, inoltre, riducendosi le emissioni prodotte dai motori, il contributo delle emissioni non esauste prodotte dalle abrasioni alle emissioni totali del trasporto su strada diventa sempre più significativo passando dal 16% del 2005 al 46% del 2020.

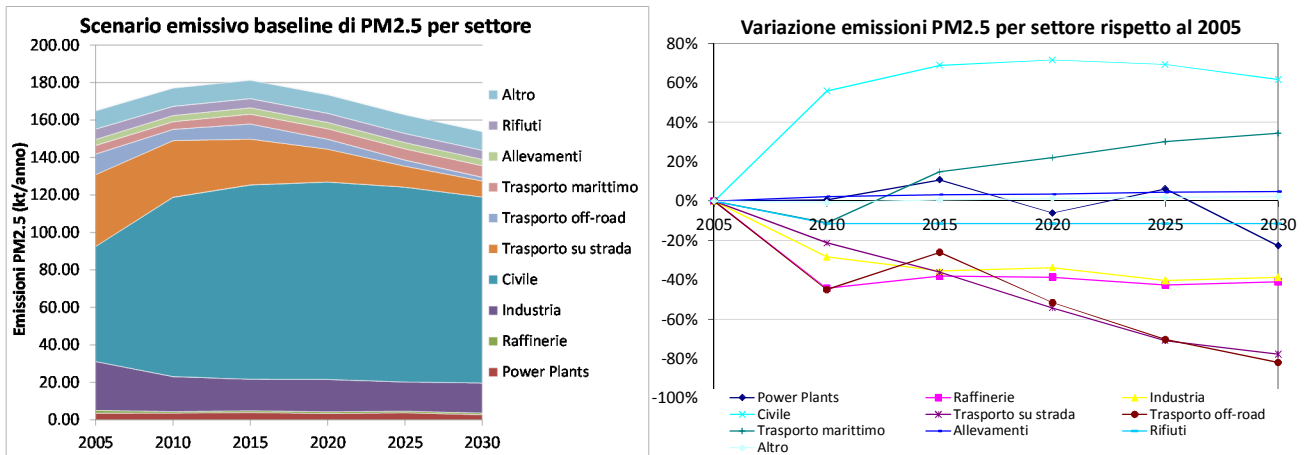


Fig. 33 Scenario nazionale di PM2.5 per settore elaborato con il modello GAINS-Italia ad intervalli quinquennali: a sx emissioni di PM2.5, a dx trend settoriali rispetto all'anno base 2005.

Si osserva inoltre una forte riduzione delle emissioni del settore industriale nel periodo 2005-2010 pari al 28%, dovuta probabilmente all'effetto della crisi sulle produzioni industriali, riduzione che raggiunge il 36% al 2015 rispetto al 2005 per poi mantenersi sostanzialmente stabile. Per il trasporto marittimo, dopo una iniziale riduzione delle emissioni dell'1% al 2010 rispetto al 2005, si osserva poi una costante crescita delle emissioni pari al 22% al 2020 e al 34% al 2030 rispetto alle emissioni del 2005.

6.4 NMVOC

Al 2005 i maggiori contributi alle emissioni totali di NMVOC derivano dall'uso di solventi, circa il 36%, e dal trasporto su strada, circa 35%, cui segue il trasporto off-road con l'1%.

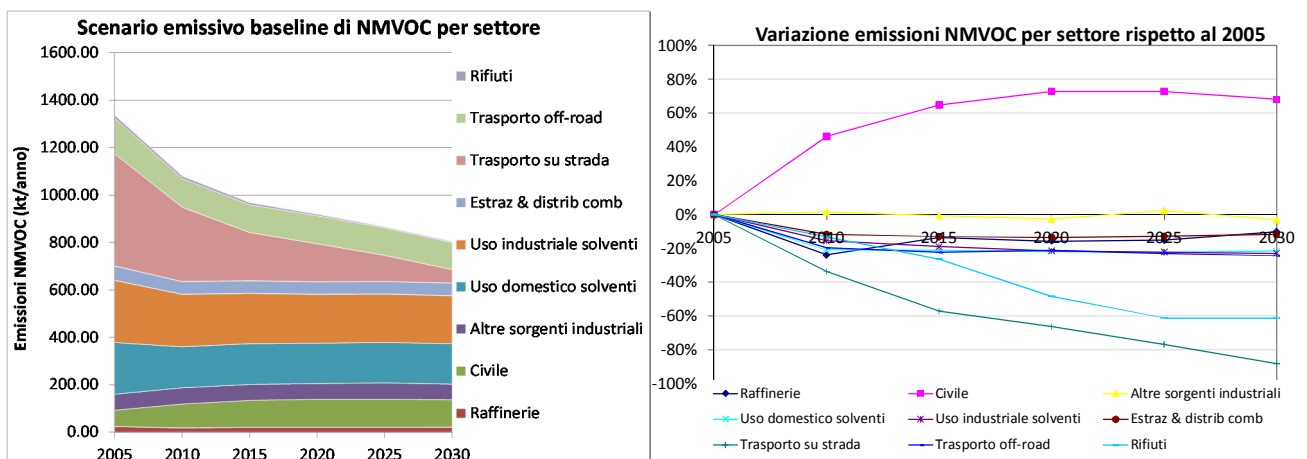


Fig. 34 Scenario nazionale di NMVOC per settore elaborato con il modello GAINS-Italia ad intervalli quinquennali: a sx emissioni di NMVOC a dx trend settoriali rispetto all'anno base 2005.

Per effetto della progressiva sostituzione di veicoli Euro 0 e dell'incremento dei veicoli a gasolio rispetto ai veicoli a benzina, il contributo delle emissioni dal trasporto stradale si riduce al 17% al 2020 e al 7% al 2030 con una forte riduzione delle emissioni pari al 66% al 2020 e all'88% al 2030 rispetto ai valori del 2005 (figura 34). L'uso di solventi offre pertanto il principale contributo alle emissioni totali di NMVOC e dopo una riduzione di circa il 20% dal 2005 al 2010 si assiste poi ad un andamento sostanzialmente stabile. Riducendosi il contributo del trasporto su strada, il settore civile inizia a diventare particolarmente significativo passando da un contributo alle emissioni totali del 5% al 2005, al 13% al 2020 e al 14% al 2030, con un forte incremento delle emissioni fino al 2020 pari

al 73% dei valori del 2005, andamento che poi rimane sostanzialmente stabile fino al 2030. Complessivamente le emissioni totali di NMVOC si riducono rispetto al 2005 del 31% al 2020 e del 40% al 2030.

6.5 NH₃

L'agricoltura è la principale sorgente di emissioni di ammoniaca, contributo che supera il 90% e che resta sostanzialmente stabile negli anni. Delle emissioni totali di NH₃ al 2005, il 44% proviene dagli allevamenti di bovini, il 14% dal consumo di urea, il 12% dagli allevamenti suinicoli e il 9% dagli avicoli.

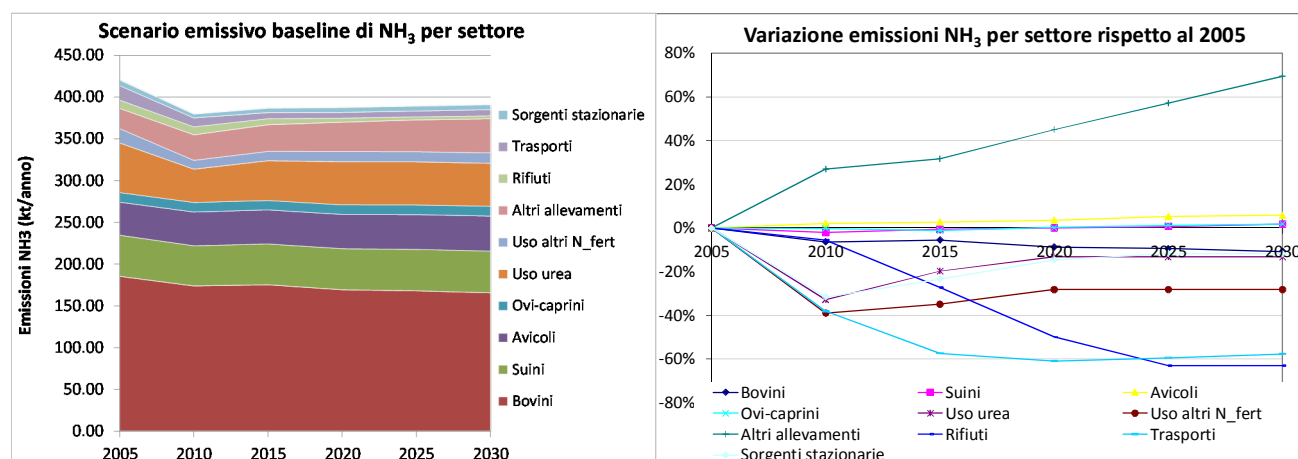


Fig. 35 Scenario nazionale di NH₃ per settore elaborato con il modello GAINS-Italia ad intervalli quinquennali: a sx emissioni di NH₃ a dx trend settoriali rispetto all'anno base 2005.

Dopo una riduzione iniziale delle emissioni dal 2005 al 2010 di circa il 10% trainata da una riduzione delle emissioni dal consumo di urea del 33% e del 39% dall'uso di altri fertilizzanti azotati, le emissioni registrano una lieve crescita fino al 2015 per poi restare sostanzialmente stabili. Tale crescita è determinata da un'attesa crescita nel consumo di fertilizzanti azotati, come discusso nel paragrafo 4.2. L'andamento delle emissioni dagli allevamenti suinicoli ed avicoli resta sostanzialmente stabile e solo modeste riduzioni sono previste per i bovini. In generale, rispetto ai valori 2005, si osserva una lieve riduzione delle emissioni totali dell'8% al 2020 e del 7% al 2030.

7 LO SCENARIO MTFR 2012

Come precedentemente descritto, il modello GAINS-Italia contiene un lungo elenco di misure *end-of-pipe* che possono essere applicate per ottenere riduzioni che vadano oltre lo scenario *baseline*. Tutte queste tecnologie sono disponibili sul mercato e potenzialmente applicabili. Lo scenario che consente di esplorare l'ulteriore riduzione delle emissioni oltre lo scenario *baseline* attraverso la completa applicazione delle più efficienti tecnologie disponibili, che non comportino modifiche negli scenari dei livelli di attività, viene definito *Maximum Technically Feasible Reduction* (MTFR). Nel presente lavoro è stato elaborato lo scenario MTFR2012 al 2020 e al 2030 a partire dagli stessi scenari di attività dello scenario *baseline 2012* e modificando opportunamente la strategia di controllo. Nei seguenti paragrafi viene analizzata la possibilità di ulteriori riduzioni delle emissioni per SO₂, NO_x, PM_{2.5}, NMVOC e NH₃. Gli scenari che verranno di seguito presentati sono disponibili online nel gruppo *All scenarios* col nome di *MTFR_IT_2012*.

7.1 SO₂

Se tutte le più efficienti tecnologie applicabili fossero utilizzate al 2020 e al 2030, si genererebbe per gli SO₂ lo scenario MTFR riportato in figura 36.

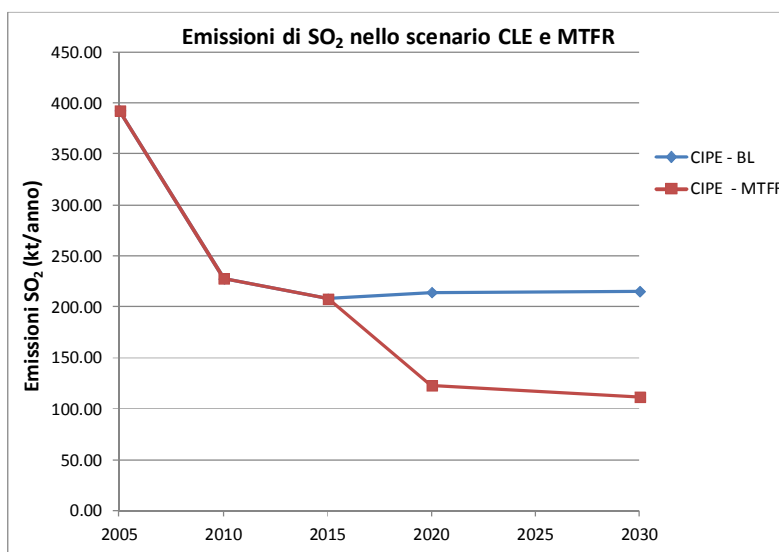


Fig. 36 Emissioni di SO₂ (in kt) nello scenario CLE e MTFR2012.

Dalla figura 36 si evince come con lo scenario MTFR sia possibile ottenere un'ulteriore riduzione delle emissioni totali del 43% al 2020 e del 48% al 2030 rispetto allo scenario *baseline*.

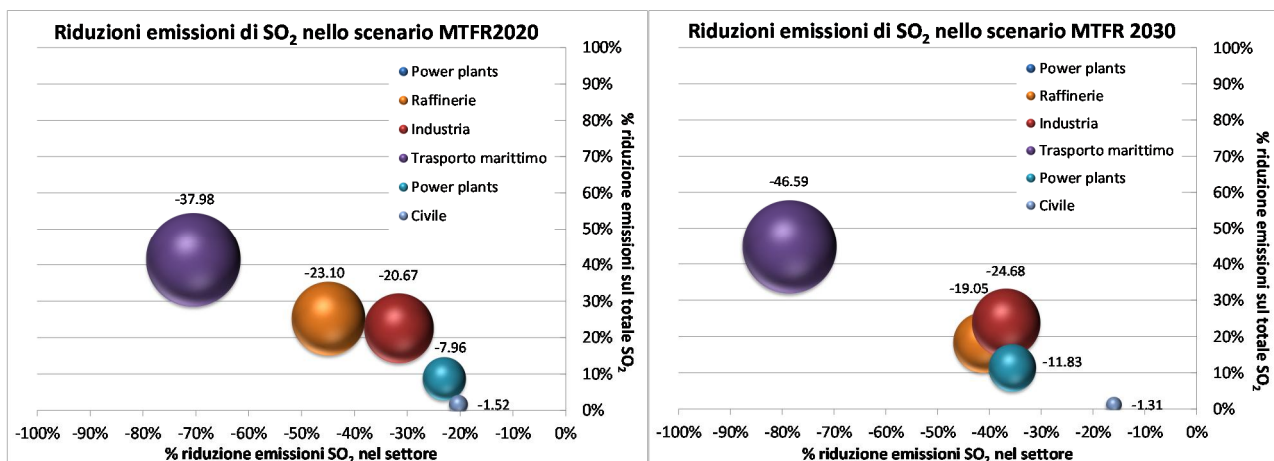


Fig. 37 6 Riduzioni emissioni di SO₂ (in kt) per settori (ascisse in %) e sul totale (ordinate in %) nello scenario MTFR al 2020 (sx) e al 2030 (dx).

Tale riduzione è guidata sia al 2020 che al 2030 dal trasporto marittimo con una riduzione delle emissioni rispettivamente di circa 38 kt e 47 kt, con un contributo alla riduzione totale delle emissioni del 41% al 2020 e del 45% al 2030 e rispettivamente del 70% e 79%, rispetto alle emissioni del settore (figura 37). Il trasporto marittimo è seguito al 2020 dalle raffinerie, con un contributo alla riduzione delle emissioni totali del 25%, e dal settore industriale, con un contributo del 23%. Solo minori riduzioni sono invece previste nel settore *power plant* e civile, stante la forte riduzione già registrata negli anni passati. Il contributo di raffinerie e industria si inverte al 2030 in cui cresce al 24% il contributo del settore industriale e scende al 18% quello delle raffinerie con una riduzione delle emissioni all'interno del settore, rispetto ai valori *baseline*, del 32% al 2020 e del 37% al 2030 nel settore industriale, e del 45% al 2020 e 41% al 2030 nelle raffinerie.

Visto il contributo alla riduzione delle emissioni di SO₂ apportato dal settore industriale, si sono indagati in dettaglio i principali comparti industriali coinvolti da tale riduzione (figura 38). Sia al 2020 che al 2030 predominano le riduzioni dei cementifici, con possibilità di riduzione delle emissioni del settore rispetto ai valori *baseline* del 45% al 2020 e del 60% al 2030, e con un contributo alla riduzione delle emissioni totali del settore industriale rispettivamente del 40% e del 51%.

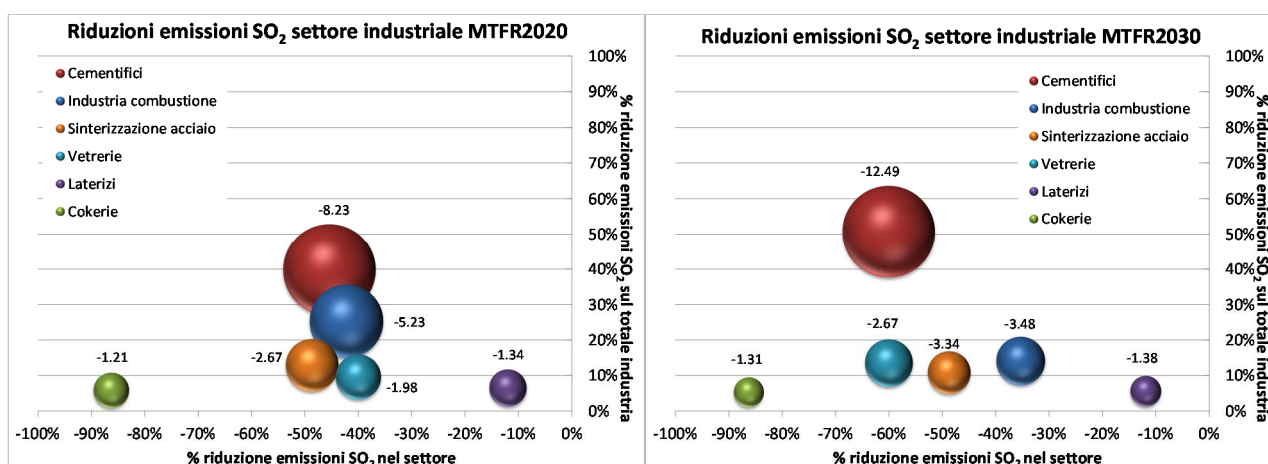


Fig. 38 6 Riduzioni emissioni di SO₂ (in kt) per settore industriale (ascisse in X) e sul totale del settore industriale (ordinate in %) nello scenario MTFR al 2020 (sx) e al 2030 (dx).

Al 2020 il settore che offre le maggiori possibilità di riduzione delle emissioni dopo i cementifici è quello della combustione industriale con un contributo del 25% alla riduzione delle emissioni totali e del 42% alla riduzione delle emissioni del settore rispetto ai valori dello scenario *baseline*. Minori possibilità di riduzione sono offerte dagli impianti di sinterizzazione dell'acciaio, dalle vetriere, dal

settore dei laterizi e dalle cokerie. Al 2030, invece, i cementifici da soli potrebbero contribuire alla riduzione delle emissioni per circa il 50%, mentre gli altri settori variano dal 5-6% di cokerie e laterizi al 14% di vetrerie e combustione industriale.

7.2 NO_x

Lo scenario MTFR2012 per gli NO_x è riportato in figura 39 in cui si osserva una ulteriore possibilità di riduzione delle emissioni rispetto allo scenario *baseline* del 15% al 2020 e del 26% al 2030.

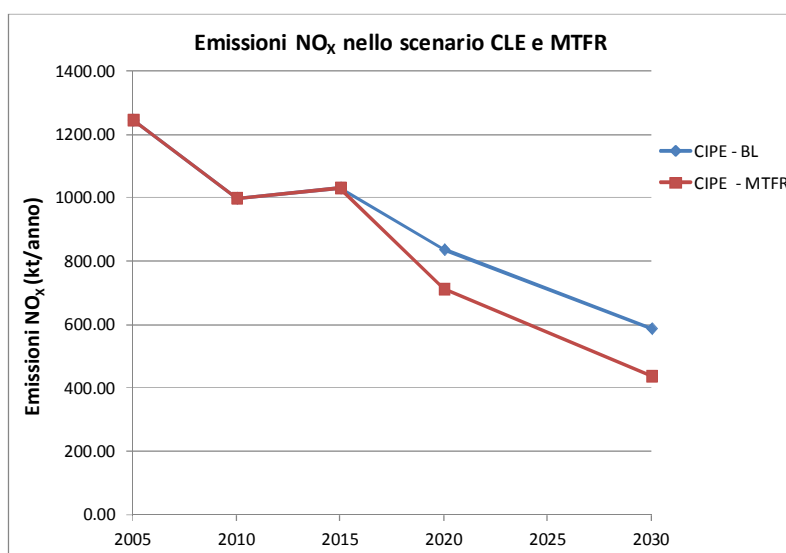


Fig. 39 Emissioni di NO_x (in kt) nello scenario CLE e MTFR2012.

Al 2020, il maggior contributo alla riduzione delle emissioni proviene dai *power plant*, pari a circa il 33% delle emissioni complessive, seguito dal trasporto off-road con il 23% e dal settore industriale con il 21% (figura 40). Non trascurabili sono inoltre le riduzioni dal settore marittimo, circa 12%, mentre minori riduzioni sono previste per il settore civile e le raffinerie. Tali riduzioni appaiono ancor più significative se confrontate con i contributi dei singoli settori. Infatti il settore dei *power plant* presenta un potenziale di riduzione delle emissioni pari al 40% rispetto ai valori dello scenario *baseline* al 2020, mentre il trasporto off-road e l'industria hanno rispettivamente un potenziale di riduzione pari al 35% e al 24%.

Al 2030 tale graduatoria si inverte e il maggior contributo alla riduzione delle emissioni proviene dal settore industriale, con circa il 36% delle emissioni totali, seguito dai *power plant* con il 24%, dal trasporto off-road con il 16% e dal trasporto marittimo per il 13%. In termini di potenziale di riduzione di ciascun settore rispetto ai valori dello scenario *baseline* tali percentuali si traducono in circa: 45% per il settore industriale, 43% per il *power plant* e 40% per il trasporto off-road.

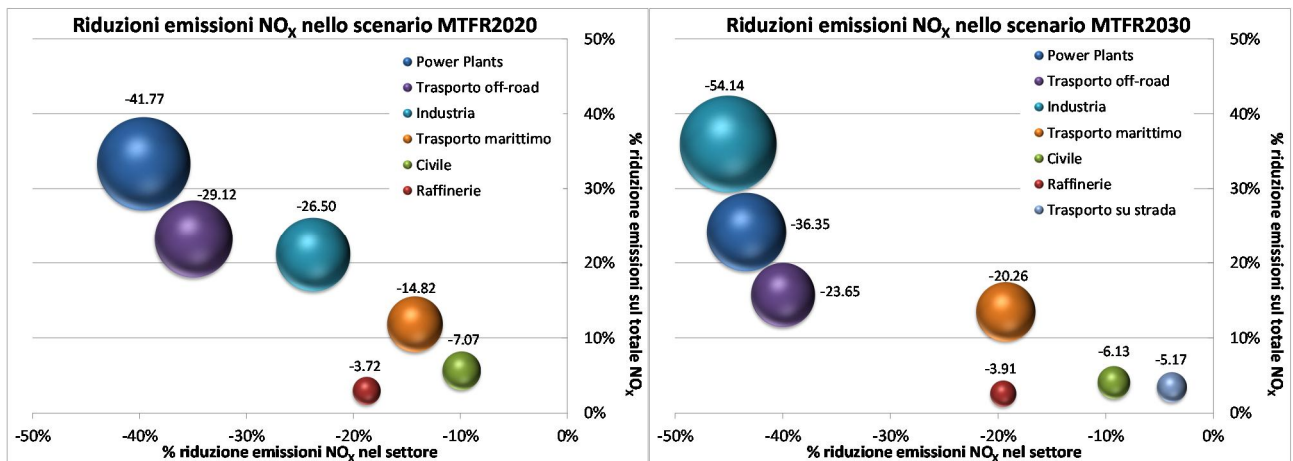


Fig. 40 ó Riduzioni emissioni di NO_x (in kt) per settori (ascisse in %) e sul totale (ordinate in %) nello scenario MTRF al 2020 (sx) e al 2030 (dx).

Dalla precedente figura, si evince che un eventuale ulteriore inasprimento dei limiti di emissione dei veicoli rispetto agli attuali standard Euro 6 produrrebbe un effetto dal 2020 in poi praticamente trascurabile in termini di emissioni di NO_x.

Per quanto riguarda il trasporto off-road, la tipologia di veicoli che offre le riduzioni maggiori è l'agricoltura, con il 77% al 2020 e il 68% al 2030 rispetto al contributo totale offerto dalla categoria off-road, seguita dai veicoli da costruzione, con il 21% al 2020 e 30% al 2030.

Per quanto riguarda il comparto industriale (figura 41), il settore che al 2020 maggiormente contribuisce alla riduzione delle emissioni è la combustione in caldaie industriali con il 41% seguita con il 31% dai cementifici, mentre minori riduzioni sono attese da vetrerie e sinterizzazione acciaio rispettivamente per il 14% e 11%.

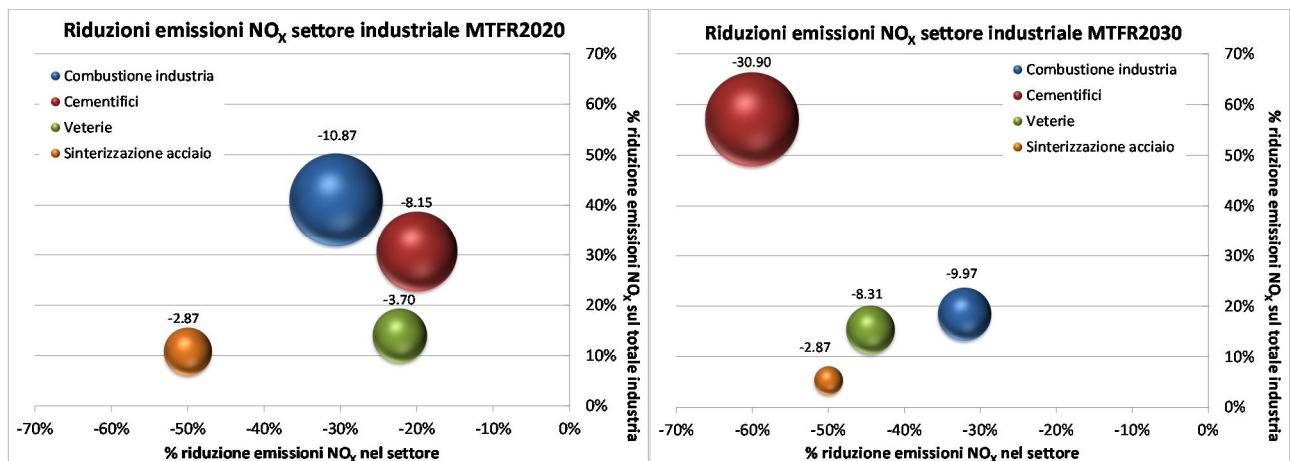


Fig. 41 ó Riduzioni emissioni di NO_x (in kt) per settore industriale (ascisse in X) e sul totale del settore industriale (ordinate in %) nello scenario MTRF al 2020 (sx) e al 2030 (dx).

Al 2030 il comparto industriale che offre il potenziale di riduzione maggiore è quello dei cementifici, con un contributo pari al 57% delle emissioni totali dell'industria ed una riduzione delle proprie emissioni rispetto ai valori dello scenario *baseline* del 60%.

7.3 PM2.5

Il potenziale di riduzione delle emissioni di PM2.5 nello scenario MTRF, figura 42, appare particolarmente significativo e pari al 35% al 2020 e al 46% al 2030.

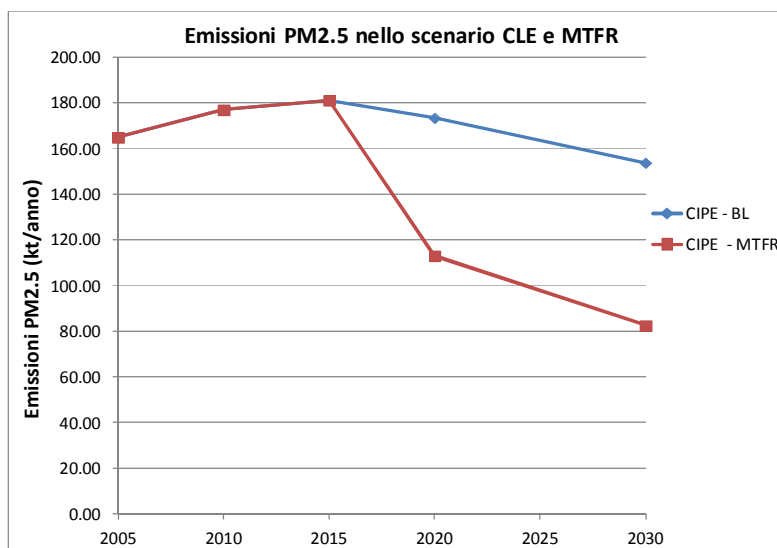


Fig. 42 6 Emissioni di PM2.5 (in kt) nello scenario CLE e MTR2012.

Come mostrato nei precedenti paragrafi sull'analisi dello scenario energetico ed emissivo *baseline* e ribadito nella figura 43, appare evidente che i maggiori margini di riduzione delle emissioni di PM2.5 siano offerte proprio dal settore civile.

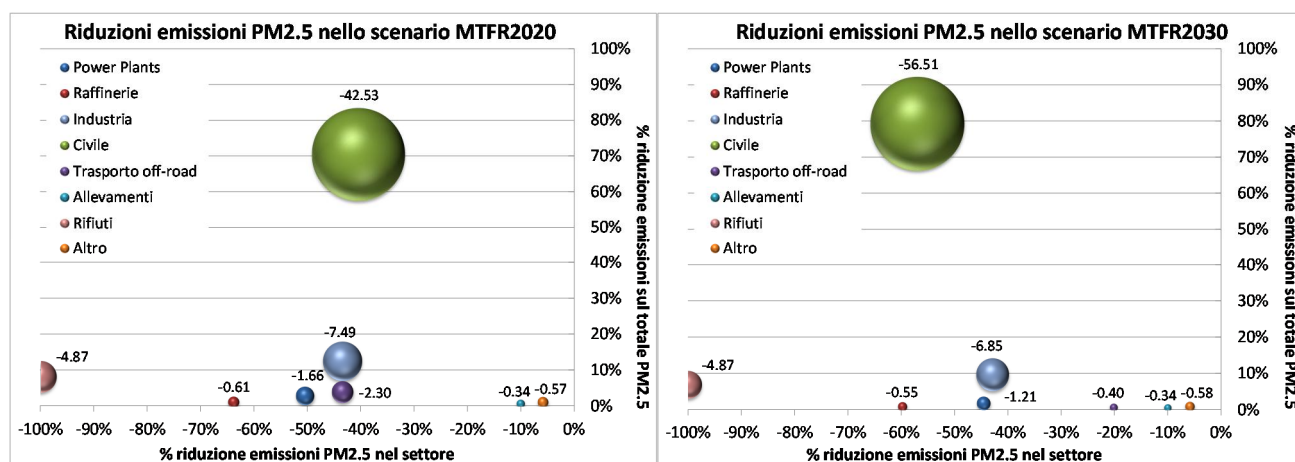


Fig. 43 6 Riduzioni emissioni di PM2.5 (in kt) per settori (ascisse in %) e sul totale (ordinate in %) nello scenario MTR al 2020 (sx) e al 2030 (dx).

Il contributo alla riduzione delle emissioni totali offerto dal settore civile è pari al 70% al 2020 e di poco inferiore all'80% al 2030, con un potenziale di riduzione delle emissioni rispetto alle emissioni del settore nello scenario *baseline* del 40% al 2020 e del 57% al 2030. Minori sono le riduzioni possibili negli altri settori.

Questa analisi conferma che l'incremento dei consumi di biomassa per il riscaldamento domestico può determinare una crescita modesta delle emissioni solo se accompagnato da una massiccia sostituzione degli apparecchi più obsoleti con altri, come ad esempio le stufe a pellet, caratterizzati da maggiore efficienza e minori emissioni.

7.4 NMVOC

Le potenzialità di riduzione delle emissioni totali di NMVOC rispetto ai valori dello scenario *baseline* sono pari al 20% al 2020 e al 25% al 2030, come riportato in figura 44.

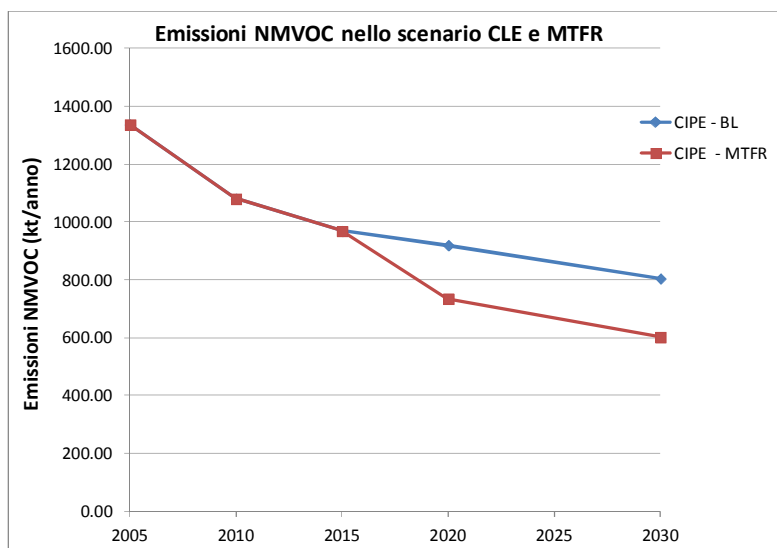


Fig. 44 6 Emissioni di NMVOC (in kt) nello scenario CLE e MTR2012.

Le maggiori riduzioni delle emissioni di NMVOC sono previste nel settore solventi ed in particolare nell'uso industriale di solventi, che contribuisce alla riduzione delle emissioni totali per il 36% al 2020 e per il 33% al 2030, e nell'uso domestico, con un contributo del 25% al 2020 e del 26% al 2030. Significativi sono anche i margini di riduzione dei due settori rispetto alle emissioni degli stessi nello scenario *baseline* e pari al 33% sia al 2020 che al 2030 per l'uso industriale di solventi, e al 27% al 2020 e al 31% al 2030 per l'uso domestico di solventi.

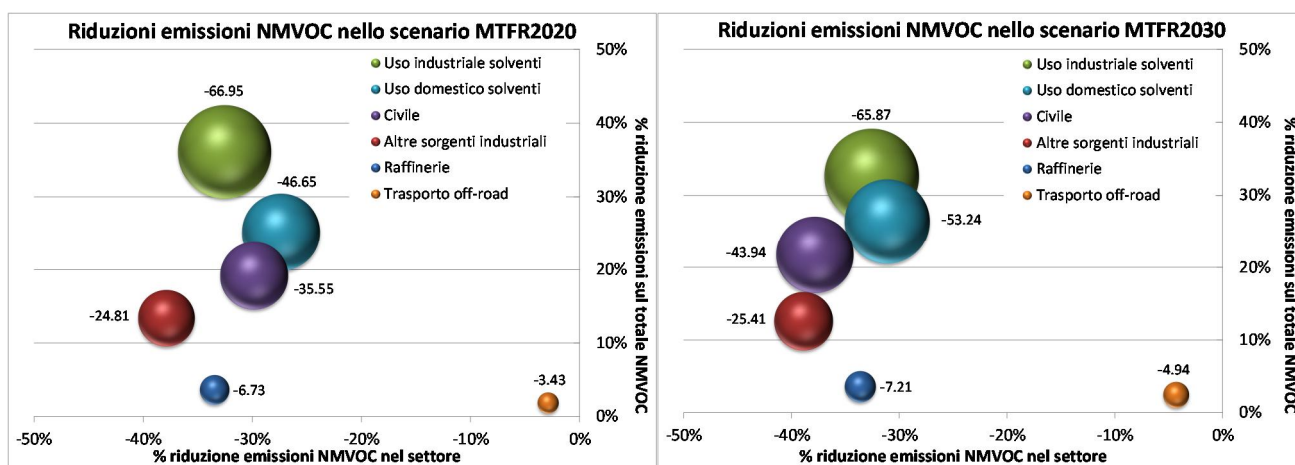


Fig. 45 6 Riduzioni emissioni di NMVOC (in kt) per settori (ascisse in %) e sul totale (ordinate in %) nello scenario MTR al 2020 (sx) e al 2030 (dx).

Come illustrato nel paragrafo 6.4, con la crescita dei consumi di biomassa significative diventano le emissioni di NMVOC dal settore civile, per cui come per il PM, anche per gli NMVOC il settore civile, dopo l'uso di solventi, è il settore che più potrebbe offrire importanti margini di riduzioni delle emissioni con un contributo alla riduzione totale del 19% al 2020 e del 22% al 2030 e con potenzialità di riduzioni delle emissioni del settore rispetto ai valori dello scenario *baseline* del 30% al 2020 e del 38% al 2030. Margini di riduzione, pari al 13% sia al 2020 che al 2030, sono offerti anche dalle sorgenti industriali, mentre variazioni minori possono essere attese nel trasporto off-road e nelle raffinerie.

7.5 NH₃

Lo scenario MTFR2012 per le emissioni di ammoniaca è riportato in figura 46 dove si mostra una potenzialità di riduzione delle emissioni del 31% sia al 2020 che al 2030 rispetto allo scenario *baseline*.

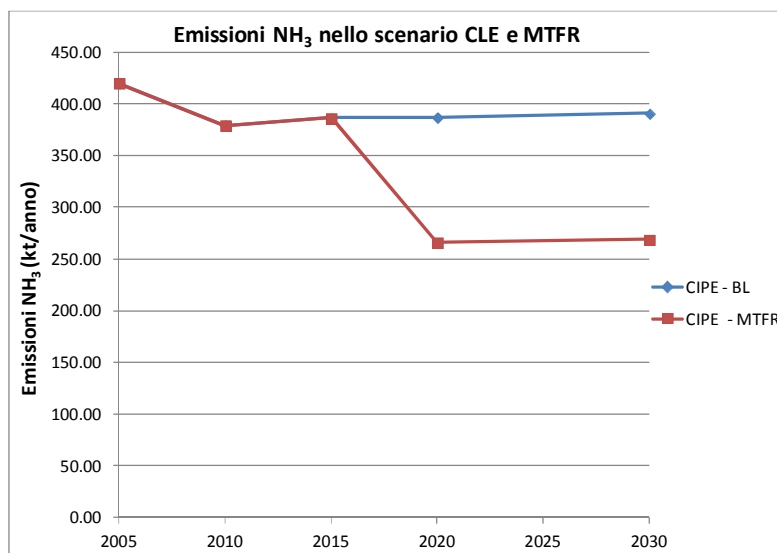


Fig. 46 Emissioni di NH₃ (in kt) nello scenario CLE e MTFR2012.

Essendo le emissioni di NH₃ dominate dal settore agricolo, i maggiori margini di riduzione sono attesi dagli allevamenti e dall'uso di fertilizzanti azotati.

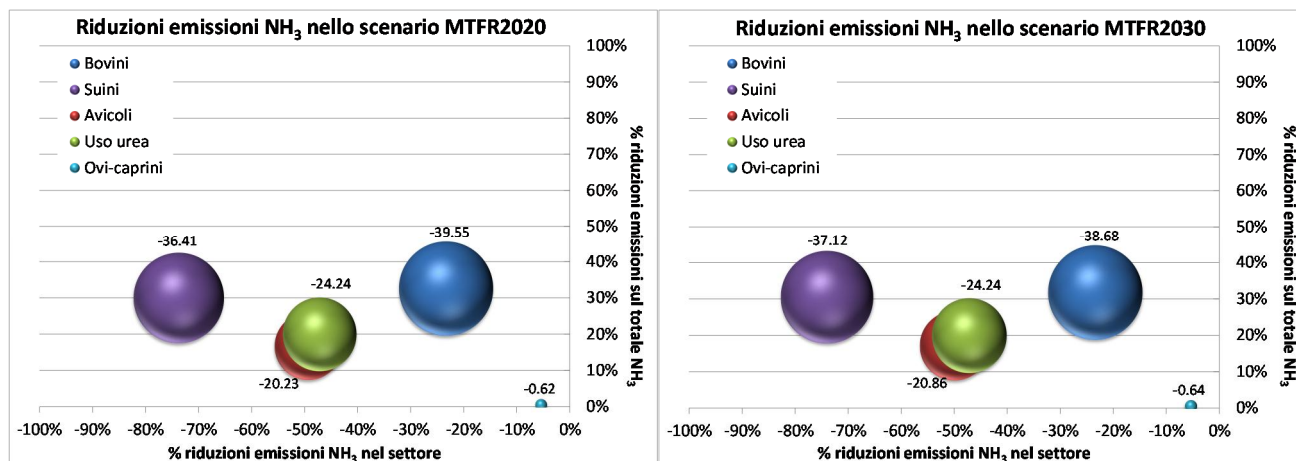


Fig. 47 Riduzioni emissioni di NH₃ (in kt) per settori (ascisse in %) e sul totale (ordinate in %) nello scenario MTFR al 2020 (sx) e al 2030 (dx).

Come mostrato in figura 47, le riduzioni più significative delle emissioni totali deriverebbero dagli allevamenti di bovini per circa il 32% sia al 2020 che al 2030, e dagli allevamenti suinicoli per il 30% al 2020 e 2030. In particolare, per quest'ultima tipologia di allevamenti, si osservano importanti riduzioni anche rispetto alle emissioni degli stessi nello scenario *baseline* e pari al 74% sia al 2020 che al 2030. Per quanto riguarda l'uso di urea e gli allevamenti avicoli si potrebbero ottenere riduzioni delle emissioni totali pari a rispettivamente il 20%, sia al 2020 che al 2030, e al 17%, sia al 2020 che al 2030. In entrambi i casi si osservano inoltre importanti potenziali di riduzione delle emissioni rispetto ai valori dello scenario *baseline* pari al 47% per l'uso di urea al 2020 e 2030 e a circa il 50% per gli allevamenti avicoli al 2020 e 2030.

8 IL CONFRONTO CON IL PROTOCOLLO DI GÖTEBORG

Nel 2009, nell'ambito della CLRTAP, ha avuto inizio il negoziato per la revisione del Protocollo di Göteborg del 1999. Il negoziato si è concluso nel maggio 2012.

Tale protocollo ha avuto come principale finalità l'assegnazione di tetti di riduzione alle emissioni di SO₂, NO_x, PM2.5, NMVOC e NH₃. Rispetto alla precedente versione del protocollo, è stato inserito un limite alle emissioni di PM2.5 e l'impegno di riduzione è stato stabilito come percentuale di riduzione delle emissioni dal 2005 al 2020 anziché come valore assoluto.

Le percentuali di riduzione stabilite per l'Italia sono riportate in tabella 7.

Tab. 7 Riduzione (in %) delle emissioni previste per l'Italia dal Protocollo di Göteborg.

Inquinante	Inventario 2005 (kt)	Var 2020/2005 (%)
SO ₂	403	-35%
NO _x	1212	-40%
PM2.5	165	-10%
NMVOC	1317	-35%
NH ₃	416	-5%

Dal momento che i negoziati per la revisione del Protocollo sono terminati prima che i nuovi scenari emissivi fossero disponibili, è importante procedere ad un confronto tra i target previsti dal Protocollo al 2020 e la variazione delle emissioni 2005/2020 prevista dall'attuale scenario emissivo *baseline*.

L'esito di tale confronto è riportato in figura 48 in cui si riporta come limite inferiore anche lo scenario emissivo MTFR.

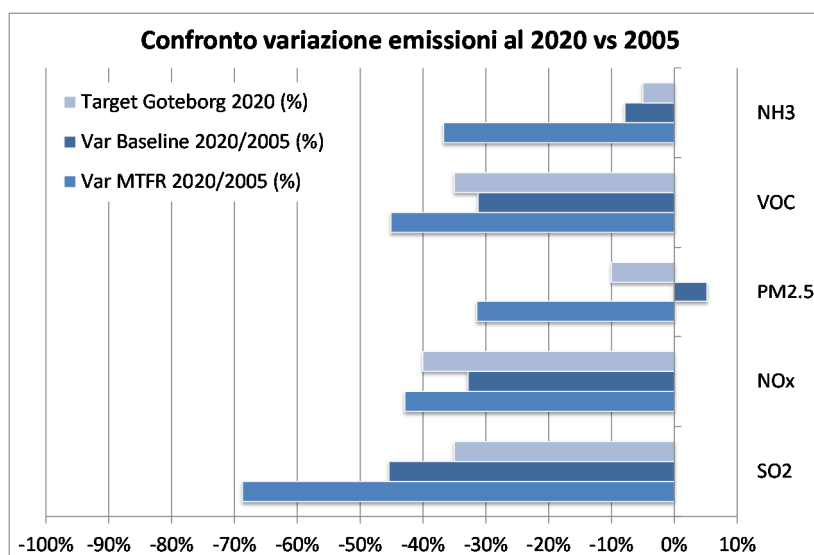


Fig. 48 Confronto target Protocollo di Göteborg al 2020 e variazione delle emissioni (in %) dal 2005 al 2020 prevista nello scenario CLE2012 e MTFR2012.

Tale confronto mostra che, sulla base delle conoscenze ad oggi disponibili, si dovrebbe agevolmente raggiungere l'obiettivo di riduzione per SO₂ e NH₃, mentre, seppur con diverse intensità, il target potrebbe non esser raggiunto per NMVOC, NO_x e PM2.5.

In particolare, la variazione delle emissioni di PM2.5 risulta positiva (+5%) a fronte di un impegno di riduzione delle emissioni del 10%. Tale distanza è determinata dal forte incremento del consumo

di biomassa nel settore residenziale, non accompagnato da un progressivo sensibile miglioramento delle tecnologie.

Lieve è la differenza per quanto riguarda i NMVOC e, probabilmente, con l'aggiornamento delle stime sul traffico e dei fattori di emissione per la combustione della legna nel settore civile, tale differenza è destinata ad assottigliarsi.

Più complesso è invece il caso per gli NO_x il cui andamento è fortemente legato alle emissioni del trasporto stradale. Studi preliminari ipotizzano un mancato raggiungimento degli obiettivi di riduzione previsti dall'Euro 6, proprio come accaduto per l'Euro 5 (Weiss et al., 2012), il che porterebbe ad un fallimento generalizzato su scala comunitaria delle politiche di riduzione delle emissioni di ossidi di azoto, che, nella peggiore delle ipotesi potrebbero anche crescere nei prossimi anni (Borken-Kleefeld e Ntziachristos, 2012).

Lo scenario MTR2012, che rappresenta in qualche modo, il limite inferiore che potrebbe essere raggiunto a partire dallo scenario *baseline 2012*, mostra maggiori potenzialità di riduzione delle emissioni soprattutto per il PM_{2.5} e per l'ammoniaca se si intervenisse rispettivamente nel settore civile e sugli allevamenti bovini e sull'uso di urea, settori che attualmente non sono regolati da direttive comunitarie. Anche per l'SO₂ si osservano margini per ulteriori riduzioni delle emissioni, legati in questo caso a misure da adottare nel trasporto marittimo, mentre per gli NMVOC e gli NO_x il margine di riduzione è piuttosto contenuto.

È, inoltre, importante sottolineare, come già evidenziato nell'introduzione, che nel procedere in tali confronti bisogna sempre tenere presente che gli scenari sono affetti da notevoli incertezze che crescono al crescere dell'orizzonte temporale preso in considerazione. Gli scenari non devono pertanto essere intesi come una previsione certa di quanto accadrà alle emissioni nazionali, ma come una quantificazione delle emissioni future calcolata formulando precise ipotesi. Ciononostante il confronto con gli obiettivi di riduzione rimane uno strumento fondamentale affinché le eventuali misure di riduzione delle emissioni siano pianificate ed adottate in tempo utile.

9 CONCLUSIONI ED ULTERIORI SVILUPPI

Nel corso del 2012 si è concluso il processo negoziale per la revisione del protocollo di Göteborg in cui sono state fissate delle percentuali di riduzione delle emissioni al 2020, rispetto all'anno base 2005, per SO₂, NO_x, PM2.5, NMVOC e NH₃. Contemporaneamente è stato avviato il processo per la Revisione della Strategia Tematica sull'Inquinamento Atmosferico. Tale Strategia fu adottata dalla Commissione europea nel 2005 per definire un quadro organico in cui elaborare ed adottare le politiche ambientali volte a raggiungere livelli di qualità dell'aria tali da non recare significativi impatti negativi e rischi per la salute umana e per l'ambiente. Il processo di revisione di tale strategia, che stabilisce il raggiungimento di obiettivi di tutela della salute umana e dell'ambiente, nonché target di riduzione dei principali inquinanti, è stato avviato nel 2011 e dovrebbe concludersi alla fine del 2013; per tale motivo il 2013 è stato definito anno europeo dell'aria.

In tale contesto, gli scenari di emissione hanno assunto un'importanza crescente nella definizione di politiche internazionali, comunitarie e nazionali per la lotta all'inquinamento atmosferico. Uno scenario è ovviamente sempre affetto da incertezza. Ciò poiché gli strumenti modellistici utilizzati devono necessariamente contenere delle semplificazioni, e non vi è ancora una completa conoscenza dei processi che determinano il rilascio delle emissioni in atmosfera. Le proiezioni delle variabili di input sono, inoltre, affette a loro volta da elementi di incertezza. Tali variabili, infatti, sono fortemente correlate allo sviluppo economico futuro, alla reale efficacia delle politiche energetiche, dei trasporti o del settore agricolo. Esempificativo è il caso degli standard Euro 5 nel trasporto stradale, la cui mancata efficacia in termini di riduzione delle emissioni di NO_x ha fortemente influenzato e continuerà a influenzare il rispetto dei tetti di emissione e dei valori limite di qualità dell'aria di questo inquinante.

Pur tuttavia, in ambito negoziale, uno scenario emissivo rappresenta un valido strumento per la verifica degli obiettivi e per la pianificazione di opportune misure di riduzione delle emissioni.

In tale ambito, e come previsto dal decreto legislativo n. 155 del 2010, ENEA ed ISPRA hanno congiuntamente elaborato un possibile scenario emissivo di riferimento, detto *baseline*, ossia definito a partire dalle sole misure previste dalla legislazione vigente.

L'elaborazione dello scenario emissivo *baseline* ha richiesto un notevole lavoro di confronto tra i dati storici delle emissioni per un determinato anno e il dato emissivo calcolato dal modello per lo stesso anno. Se da un lato tale processo di armonizzazione risulta un passaggio fondamentale per garantire la validazione del modello e la robustezza delle proiezioni, dall'altro ha rappresentato una ulteriore verifica dell'inventario stesso avviando, per alcuni settori, un processo di revisione di alcune delle ipotesi formulate. È un processo che garantisce quindi una maggiore solidità allo scenario attraverso un forte legame inventario/scenario all'anno base e fornisce lo spunto per l'aggiornamento e la revisione dell'inventario.

A livello europeo, inoltre, il processo di armonizzazione, incentrato sulle differenze tra le stime nazionali e le stime PRIMES all'anno base 2005, ha dimostrato come l'utilizzo di alcune ipotesi, per esempio sulla distribuzione dei combustibili nel trasporto stradale, possano fortemente alterare l'analisi di scenario.

Spesso in campo internazionale, l'armonizzazione all'anno base della stima emissiva del modello europeo con l'inventario viene riportata in termini di totale emissivo. Gli esempi discussi mostrano come possano esserci significativi effetti di compensazione che mascherano le differenze settoriali, con la conseguenza di poter prevedere riduzioni di emissioni in settori dove in realtà ci sono pochi margini di riduzione e di alterare la successiva analisi di ottimizzazione.

Lo scenario emissivo *baseline 2012* mostra una riduzione delle emissioni al 2020, rispetto all'anno base 2005, pari al 45% per gli ossidi di zolfo, al 33% per gli ossidi di azoto (nell'ipotesi che i limiti

previsti per l'Euro 6 saranno effettivamente rispettati nei cicli reali di guida), al 31% per i composti organici volatili non metanici e pari all'8% per l'ammoniaca. Per le emissioni di PM2.5, invece, si prevede al momento una crescita del 5%, essenzialmente legata alla forte crescita dei consumi di biomassa nel settore civile. Nel presente lavoro si è, inoltre, esplorata la possibilità di ulteriori riduzioni delle emissioni attraverso l'elaborazione per gli anni 2020 e 2030 di uno scenario emissivo *Maximum Technically Feasible Reduction*. Tale scenario ha mostrato come sia possibile ottenere un'ulteriore riduzione delle emissioni totali, rispetto allo scenario *baseline*, del 43% al 2020 e del 48% al 2030 per gli SO₂, del 15% al 2020 e del 26% per gli NO_x, del 35% al 2020 e del 46% al 2030 per il PM2.5, del 20% al 2020 e del 25% al 2030 per gli NMVOC, del 31% sia al 2020 che al 2030 per l'NH₃.

Gli scenari descritti in questo rapporto rappresentano l'aggiornamento a novembre 2012 del processo di elaborazione delle proiezioni nazionali.

Ovviamente, l'elaborazione e lo sviluppo di scenari energetici, dei livelli di attività e delle emissioni sono processi in continua evoluzione e l'intera catena viene aggiornata a livello nazionale ogniqualvolta intervengano modifiche sostanziali ai dati utilizzati.

In particolare, a seguito della crisi economica internazionale avviata nel 2008, gli scenari energetici sono costantemente aggiornati man mano che si rendono disponibili nuovi dati sull'andamento economico generale, sia come consuntivi, che come previsione di evoluzione dei principali parametri economici.

Lo stesso processo viene svolto, seppur con tempi e livelli di dettaglio differenti anche in ambito comunitario.

Come illustrato, gli scenari analizzati sono stati utilizzati come riferimento sia per la negoziazione della revisione del protocollo di Göteborg, sia per l'avvio della revisione della TSAP.

Al termine del 2012 è stato prodotto un ulteriore scenario energetico nazionale nell'ambito degli impegni derivanti dall'attuazione delle politiche comunitarie in materia di cambiamenti climatici (SEN, 2013). Tale scenario è stato successivamente aggiornato per tenere conto dei preconsuntivi dei consumi energetici dell'anno 2012; aggiornamento necessario alla luce dell'andamento della crisi economica a livello nazionale.

Parallelamente a livello comunitario si stanno predisponendo nuovi scenari PRIMES che saranno resi disponibili nel corso del 2013 e che costituiranno la base per la definizione degli obiettivi della nuova TSAP.

Sarà quindi necessario ripetere, nel corso del 2013, parte delle attività svolte sugli scenari qui illustrati, sebbene proprio il lavoro svolto nel corso del 2012 renderà tali nuove elaborazioni significativamente meno onerose e consentirà all'Italia di disporre di strumenti di analisi affidabili che potranno essere efficacemente utilizzati per i prossimi negoziati in ambito comunitario.

APPENDICE A

Modello di previsione per il numero di capi animali.

Il metodo di previsione applicato si basa sulla preliminare scelta dei fattori-chiave (variabili indipendenti) da cui il numero di animali potrebbe dipendere e per i quali è possibile individuare una serie storica coerente ed attendibile.

Nel nostro caso le variabili indipendenti scelte sono:

- produzione di carne per tipologia di animale i (PC_i);
- consumo di carne per tipologia di animale i , (CC_i);

tali variabili sono state legate al numero di animali attraverso la seguente identità:

$$(n^{\circ}capi)_i = \left(\frac{(n^{\circ}capi)_i}{PC_i} \right) \times \left(\frac{PC_i}{CC_i} \right) \times (CC_i) \quad (1)$$

con

$(n^{\circ}capi)_i/PC_i$ = numero di capi allevati su produzione di carne per tipologia di animale i -esimo (variabile che indica l'intensità del processo produttivo; il rapporto indica infatti l'efficienza del processo produttivo);

PC_i/CC_i = produzione di carne su consumi di carne per tipologia di animale i -esimo (variabile che indica la struttura del mercato delle carni della tipologia di animale i -esimo; tiene conto del rapporto tra import ed export);

CC_i = consumi di carne per tipologia di animale i -esimo (variabile che indica il livello di attività).

Il consumo di carne dell'animale i -esimo (CC_i) è stato poi a sua volta ulteriormente scomposto in altre tre variabili rappresentative di intensità, struttura ed attività del processo, legandolo alle seguenti variabili indipendenti

- consumo di carne totale (CC_{tot}),
- popolazione (Pop),

attraverso la seguente identità:

$$CC_i = \left(\frac{CC_i}{CC_{tot}} \right) \times \left(\frac{CC_{tot}}{Pop} \right) \times (Pop) \quad (2)$$

con

CC_i/CC_{tot} = consumi di carni per tipologia di animale i -esimo su consumi totali di carne (variabile che indica la struttura del consumo di carne);

CC_{tot}/Pop = consumo totale di carne pro capite (variabile che indica l'intensità del consumo di carne);

Pop = popolazione (variabile che indica il livello di attività).

La relazione (2) è stata sostituita nella relazione (1) per ottenere la seguente identità:

$$(n^{\circ}capi)_i = \left(\frac{(n^{\circ}capi)_i}{PC_i}\right) \times \left(\frac{PC_i}{CC_i}\right) \times \left(\frac{CC_i}{CC_{tot}}\right) \times \left(\frac{CC_{tot}}{Pop}\right) \times (Pop) \quad (3)$$

Il numero di animali allevati può così essere visto come il prodotto delle cinque componenti della relazione (3) e passando ai tassi di variazione, l'identità (3) può essere espressa come:

$$\frac{d(\ln n^{\circ}capi)_i}{dt} = \frac{d(\ln(n^{\circ}capi / PC_i))}{dt} + \frac{d(\ln(PC_i / CC_i))}{dt} + \frac{d(\ln(CC_i / CC_{tot}))}{dt} + \frac{d(\ln(CC_{tot} / Pop))}{dt} + \frac{d(\ln Pop)}{dt} \quad (4)$$

Dalla (4) si evince come nel corso del tempo il tasso di variazione del numero di animali allevati sia dato dalla somma dei tassi di variazione delle cinque componenti della relazione (3).

APPENDICE B

Settore industriale: Associazione codici SNAP/codici GAINS

Tab. A1 ó Associazione SNAP/GAINS per i settori 010406, 0301, 0302, 0303.

SNAP	Descrizione codice SNAP	Codice GAINS
01 04 06	Coke oven furnaces	PR_COKE
03 01	Comb. in boilers, gas turbines and stationary engines	IN_BO, IN_CHEM_OC, IN_OTHER_OC
03 02 03	Blast furnace cowpers	IN_ISTE_OC
03 02 04	Plaster furnaces	IN_ISTE_OC
03 02 05	Other furnaces	IN_ISTE_OC
03 03 01	Sinter and pelletizing plants	PR_SINT
03 03 02	Reheating furnaces steel and iron	PR_CAST
03 03 03	Grey iron foundries	PR_CAST
03 03 04	Primary lead production	IN_NFME_OC
03 03 05	Primary zinc production	IN_NFME_OC
03 03 06	Primary copper production	IN_NFME_OC
03 03 07	Secondary lead production	IN_NFME_OC
03 03 08	Secondary zinc production	IN_NFME_OC
03 03 09	Secondary copper production	IN_NFME_OC
03 03 10	Secondary aluminium production	PR_ALSEC
03 03 11	Cement (f)	PR_CEM
03 03 12	Lime (includ. iron and steel and paper pulp industr.)(f)	PR_LIME
03 03 13	Asphalt concrete plants	OTHER
03 03 14	Flat glass (f)	PR_GLASS
03 03 15	Container glass (f)	PR_GLASS
03 03 16	Glass wool (except binding) (f)	PR_GLASS
03 03 17	Other glass (f)	PR_GLASS
03 03 18	Mineral wool (except binding)	OTHER
03 03 19	Bricks and tiles	PR_BRICK
03 03 20	Fine ceramic materials	OTHER
03 03 21	Paper-mill industry (drying processes)	IN_PAP_OC
03 03 22	Alumina production	PR_ALSEC

Tab. A2 ó Associazione SNAP/GAINS per i settori 0401, 0402, 0403, 0404.

SNAP	Descrizione codice SNAP	Codice GAINS
040100	PROCESSES IN PETROLEUM INDUSTRIES	PR_REF
04 02 01	Coke oven (door leakage and extinction)	PR_COKE
04 02 02	Blast furnace charging	PR_PIGI
04 02 03	Pig iron tapping	PR_PIGI_F
04 02 04	Solid smokeless fuel	PR_COKE
04 02 05	Open hearth furnace steel plant	PR_HEARTH
04 02 06	Basic oxygen furnace steel plant	PR_BAOX
04 02 07	Electric furnace steel plant	PR_EARC
04 02 08	Rolling mills	PR_CAST_F
04 02 09	Sinter and pelletizing plant (except comb. 03.03.01)	PR_SINT_F
04 02 10	Other	PR_CAST_F
04 03 01	Aluminium production (electrolysis)	PR_ALPRIM
04 03 02	Ferro alloys	PR_OT_NFME
04 03 03	Silicium production	PR_OT_NFME
04 03 04	Magnesium production (except 03.03.23)	PR_OT_NFME
04 03 05	Nickel production (except 03.03.24)	PR_OT_NFME
04 03 06	Allied metal manufacturing	PR_OT_NFME
04 03 07	Galvanizing	PR_OT_NFME
04 03 08	Electroplating	PR_OT_NFME
04 03 09	Other	PR_OT_NFME
04 04 01	Sulfuric acid	PR_SUAC/INORG
04 04 02	Nitric acid	PR_NIAC/INORG
04 04 03	Ammonia	PR_FERT/INORG
04 04 04	Ammonium sulphate	PR_FERT/INORG
04 04 05	Ammonium nitrate	PR_FERT/INORG
04 04 06	Ammonium phosphate	PR_FERT/INORG
04 04 07	NPK fertilisers	PR_FERT/INORG
04 04 08	Urea	PR_FERT/INORG
04 04 09	Carbon black	PR_CBLACK/INORG
04 04 10	Titanium dioxide	OTHER/INORG
04 04 11	Graphite	OTHER/INORG
04 04 12	Calcium carbide production	OTHER/INORG
04 04 13	Chlorine production	PR_FERT/INORG
04 04 14	Phosphate fertilizers	PR_FERT/INORG
04 04 15	Storage and handling of inorganic chemical prod. (o)	STH_NPK
04 04 16	Other	PR_FERT/INORG

Tab. A3 ó Associazione SNAP/GAINS per i settori 0405, 0406.

SNAP	Descrizione codice SNAP	Codice GAINS
04 05 01	Ethylene	OTHER/ORG
04 05 02	Propylene	OTHER/ORG
04 05 03	1,2 dichloroethane (except 04.05.05)	OTHER/ORG
04 05 04	Vinylchloride (except 04.05.05)	OTHER/ORG
04 05 05	1,2 dichloroethane + vinylchloride (balanced process)	OTHER/ORG
04 05 06	Polyethylene Low Density	OTHER/ORG
04 05 07	Polyethylene High Density	OTHER/ORG
04 05 08	Polyvinylchloride	OTHER/ORG
04 05 09	Polypropylene	OTHER/ORG
04 05 10	Styrene	OTHER/ORG
04 05 11	Polystyrene	OTHER/ORG
04 05 12	Styrene butadiene	OTHER/ORG
04 05 13	Styrene-butadiene latex	OTHER/ORG
04 05 14	Styrene-butadiene rubber (SBR)	OTHER/ORG
04 05 15	Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) resins	OTHER/ORG
04 05 16	Ethylene oxide	OTHER/ORG
04 05 17	Formaldehyde	OTHER/ORG
04 05 18	Ethylbenzene	OTHER/ORG
04 05 19	Phthalic anhydride	OTHER/ORG
04 05 20	Acrylonitrile	OTHER/ORG
04 05 21	Adipic acid	PR_ADIP/ORG
04 05 22	Storage and handling of organic chemical products (o)	OTHER/ORG
04 05 23	Glyoxylic acid	OTHER/ORG
04 05 25	Pesticide production	OTHER/ORG
04 05 26	Production of persistent organic compounds	OTHER/ORG
04 05 27	Other (phytosanitary,...)	OTHER/ORG
04 06 01	Chipboard	PR_PULP
04 06 02	Paper pulp (kraft process)	PR_PULP
04 06 03	Paper pulp (acid sulfite process)	PR_PULP
04 06 04	Paper pulp (Neutral Sulphite Semi-Chemical process)	PR_PULP
04 06 05	Bread	OTHER/FOOD
04 06 06	Wine	OTHER/FOOD
04 06 07	Beer	OTHER/FOOD
04 06 08	Spirits	OTHER/FOOD
04 06 10	Roof covering with asphalt materials	OTHER
04 06 11	Road paving with asphalt	OTHER
04 06 12	Cement (decarbonizing)	PR_CEM
04 06 13	Glass (decarbonizing)	PR_GLASS
04 06 14	Lime (decarbonizing)	PR_LIME
04 06 15	Batteries manufacturing	OTHER
04 06 16	Extraction of mineral ores	OTHER
04 06 17	Other (including asbestos products manufacturing)	OTHER
04 06 18	Limestone and dolomite use	OTHER
04 06 19	Soda ash production and use	OTHER

BIBLIOGRAFIA

Amann, M., Bertok, I., Borken-Kleefeld, J., Cofala, J., Heyes, C., Höglund-Isaksson, L., Klimont, Z., Rafaj, P., Schöpp, W., Wagner, F., 2011. An Update Set of Scenarios of Cost-effective Emission Reductions for the Revision of the Gothenburg Protocol. Background paper for the 49th Session of the Working Group on Strategies and Review Geneva September, 12-15, 2011. CIAM Report 4/2011, Version 1.0 ó August 26, 2011. IIASA, Laxenburg (Austria).

Amann, M., Borken-Kleefeld, J., Cofala, J., Heyes, C., Zbigniew, K., Rafaj, P., Purohit, P., Schöpp, W., Winiwarter, W., 2012. Future emissions of air pollutants in Europe ó Current legislation baseline and the scope for further reductions. TSAP Report #1, Version 1.0. IIASA, Laxenburg (Austria).

Amann, M., Cofala, J., Heyes, C., Klimont, Z., Mechler, R., Posch, M., Schöpp, W., 2004. RAINS REVIEW 2004. The RAINS model. Documentation of the model approach prepared for the RAINS peer review 2004. IIASA, Laxenburg (Austria).

BEN, vari anni. Bilancio Energetico nazionale. Ministero dello Sviluppo Economico, <http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it/dgerm/ben.asp>

Borken-Kleefeld, J., Ntziachristos, L., 2012. The potential for further controls of emissions from mobile sources in Europe. TSAP Report #4, Version 1.0 IIASA, Laxenburg (Austria).

COM, 2005. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. Thematic Strategy on Air Pollution. Commission of the European Communities, Brussels, 21/9/2005, SEC(2005), 1132.

DøElia, I., Ciancarella, L., Racalbutto, S., Pignatelli, T., Vialetto, G., 2011. Manuale d'uso del modello GAINS-Italia. Disponibile online al link <http://gains-it.bologna.enea.it/gains/IT/index.login?logout=1>

DøElia, I., Bencardino, M., Ciancarella, L., Contaldi, M., Vialetto, G., 2009. Technical and Non-Technical Measures for air pollution emission reductions: The integrated assessment of the Regional Air Quality Management Plans through the Italian national model. Atmospheric Environment, 43, 6182-6189.

EEA, 2009. EMEP/EEA air pollutant Emission Inventory Guidebook 2009. EEA. Technical Report No 9/2009. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>

EFMA, 2012. Forecast of food, farming and fertilizer use in the European Union. 2012-2022.

GAINS website, 2009. International Institute for Applied Systems Analysis, Atmospheric Pollution and Economic Development (APD). <http://gains.iiasa.ac.at/index.php/home-page>

Gracceva, F., Contaldi, M.; *Scenari Energetici Italiani. Valutazione di misure di politica energetica* ENEA, ISBN 88-8286-108-2, 2004.

GU, n. 216 del 15 settembre 2010. Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155. Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa.

Höglund-Isaksson, L., Mechler, R., 2005. The GAINS Model for Greenhouse Gases-Version 1.0: Methane (CH₄). IR-05-54. IIASA, Laxenburg, Austria.

ISPRA, 2012 [a]. Italian Emission Inventory 1990-2010. Informative Inventory Report 2012. May 2012. http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sinanet/serie_storiche_emissioni/Informative%20Inventory%20Report%20/view

ISPRA, 2012 [b]. Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2010. National Inventory Report 2012. April 2012. http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sinanet/serie_storiche_emissioni/National%20Inventory%20Report%202012/view

Klaasen, G., Berglund, C., Wagner, F., 2005. The GAINS Model for Greenhouse Gases ó Version 1.0: Carbon Dioxide (CO₂). IR-05-053. IIASA, Laxenburg, Austria.

MATTM, 2011. Pianificazione in materia di qualità dell'aria finalizzata al rispetto dei valori limite del biossido di azoto adottata, in Italia, dai soggetti individuati dall'ordinamento nazionale secondo gli ambiti di intervento a ciascuno attribuiti. *Quadro organico riassuntivo dei trend delle concentrazioni di NO₂ rilevate, dei fattori di pressione e delle misure di risanamento adottate. Valutazione dell'efficacia delle misure, criticità riscontrate e prospettive.* http://circa.europa.eu/Public/irc/env/ambient_library_1=/notifications_extensions_it_notification_20092011_official_notification__doc_nazionali_pianificazionepdf__EN_1.pdf.

Pelkmans, L., Debal, P., 2006. Comparison of on-road emissions with emissions measured on chassis dynamometer test cycles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 11, 233-241.

Pignatelli, T., De Lauretis, R., Contaldi, M., Di Elia, I., Romano, D., Vialetto, G., 2007. Harmonization of national inventory and projections of multi-pollutant emission scenarios. The Italian experience within the European context and the UN-ECE Convention on Long Range Transboundary Air Pollution. Proc. of 16th Annual Int. Emissions Inventory Conference, Raleigh (North Carolina), May 14-17, 2007.

Rubino, L., Bonnel, P., Hummel, R., Krasenbrink, A., Manfredi, U., De Santi, G., Perotti, M., Bomba, G., 2007. PEMS light-duty vehicles application: Experiences in downtown Milan. SAE International. Technical Papers 2007-24-0113.

Rubino, L., Bonnel, P., Hummel, R., Krasenbrink, A., Manfredi, U., de Santi, G., 2009. On-road emissions and fuel economy of light duty vehicles using PEMS: chase-testing experiment. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants* 1, 1454-1468.

SEN, 2013. Strategia Energetica Nazionale. Ministero dello Sviluppo Economico. http://www.sviluppoeconomico.gov.it/index.php?option=com_content&view=article&viewType=0&id=2027041&idarea1=1931&idarea2=0&idarea3=0&idarea4=0&andor=AND§ionid=4&andorcat=AND&partebassaType=0&idareaCalendario1=0&MvediT=1&showMenu=1&showCat=1&showArchiveNewsBotton=0&idmenu=3367&directionidUser=0

Tohka, A., 2005. The GAINS model for Greenhouse Gases - Version 1.0: HFC, PFC and SF₆. IR-05-56. IIASA, Laxenburg, Austria.

Verbeek, R. et al., 2010, Real world NO_x emissions of Euro V vehicles, Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, (http://www.tno.nl/downloads/Real_world_NOx_emissions_of_Euro_V_vehicles.pdf).

Vojtisek-Lom, M., Fenkl, M., Dufek, M., Mares, J., 2009. Off-cycle, real-world emissions of modern light duty diesel vehicles. SAE International. Technical Papers 2009-24-0148.

Weiss, M., Bonnel, P., Hummel, R., Provenza, A., Manfredi, U., 2011. On-road emissions of light-duty vehicles in Europe. *Environmental Science & Technology*, 45, 8575-8581.

Weiss, M., Bonnel, P., Provenza, A., Lambrecht, U., Alessandrini, S., Carriero, M., Colombo, R., Forni, F., Kühlwein, J., Lanappe, G., Le Lijour, P., Manfredi, U., Montigny, F., Sculati, M., 2012, 'Will Euro 6 reduce the NO_x emissions of new

diesel cars? ó Insights from on-road tests with Portable Emissions Measurement Systems (PEMS)', Atmospheric Environment, 62, 6576665.

Winiwarter, W., 2005. The GAINS Model for Greenhouse Gases ó Version 1.0: Nitrous Oxide (N₂O). IR-05-55. IIASA, Laxenburg, Austria.

Zanini, G., Mircea, M., Briganti, G., Cappelletti, A., Pederzoli, A., Vitali, L., Pace, G., Marri, P., Silibello, C., Finardi, S., Calori, G., 2010. Modeling Air Quality over Italy with MINNI Atmospheric Modeling System: from Regional to Local Scale. Paper al Convegno ITM2010.

Zanini, G., Pignatelli, T., Monforti, F., Vialetto, G., Vitali, L., Brusasca, G., Calori, G., Finardi, S., Radice, P., Silibello, C., 2005. The MINNI Project: an integrated assessment modelling system for policy making. Proc. of MODSIM 2005 Int. Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, 2005-2011. December 2005. ISBN: 0-9758400-2-9.

Edito dall' **ENEA**
Servizio Comunicazione

Lungotevere Thaon di Revel, 76 - 00196 Roma

www.enea.it

Stampa: Tecnografico ENEA - CR Frascati
Pervenuto il 20.3.2013

Finito di stampare nel mese di aprile 2013