

Capitolo 5

SCENARI E POLITICHE

Piani di intervento, di mitigazione e di controllo a livello regionale

I RISULTATI IN BREVE

La Regione Lombardia ha a disposizione un disegno preliminare di un *Piano Regionale di Mitigazione dei Cambiamenti Climatici*, in funzione di specifici obiettivi di riduzione delle emissioni regionali di gas serra.

Per raggiungere gli obiettivi di riduzione previsti dal primo periodo d'impegni del Protocollo di Kyoto entro il 2008-2012 e dall'Unione Europea (strategia "20-20-20") risulta necessario uno sforzo più deciso e lungimirante delle politiche di mitigazione attraverso misure dirette sul territorio regionale soprattutto nel settore dei trasporti e in quello residenziale.

Del mix tecnologico ottimale e delle politiche migliori per il sistema (soluzione di un modello) sono state individuate e selezionate soluzioni realistiche.

5.1 – I nomi chiave di questa linea di ricerca

Marzio Galeotti è il responsabile della linea di ricerca Scenari e politiche del Progetto Kyoto Lombardia. Professore ordinario di Economia dell'Ambiente e dell'Energia presso la Facoltà di Scienze Politiche dell'Università degli Studi di Milano e direttore di ricerca presso il Centro di ricerca sull'economia e politica dell'energia e dell'ambiente (IEFE) dell'Università Luigi Bocconi. È stato *Expert Reviewer* del Terzo e del Quarto Rapporto dell'IPCC (Terzo Gruppo di Lavoro) e membro del comitato tecnico-scientifico per la redazione del Piano Energetico e Ambientale 2006 della Regione Lombardia e consulente presso il Ministero dell'Economia e delle Finanze. È stato coordinatore del programma di ricerca in modellistica e politica dei cambiamenti climatici della Fondazione ENI E. Mattei.



La linea di ricerca coordinata da Galeotti è stata articolata in sei unità operative che indichiamo qui di seguito con i nomi dei responsabili della *team* e la voce chiave da loro affrontata:

- Unità Operativa 1** Fondazione ENI E. Mattei (*Marzio Galeotti*): **obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra per la Lombardia e valutazione delle politiche di intervento volta all'applicazione di un modello per la costruzione di un Piano di Mitigazione**
- Unità Operativa 2a** Arpa Lombardia, Settore Aria (*Dino Montalbetti*): **innovazione tecnologica e risparmio energetico nell'edilizia e negli usi finali dell'energia in Lombardia**
- Unità Operativa 2b** Consorzio Poliedra (*Eliot Laniado*): **sistemi innovativi di mobilità per la riduzione delle emissioni di gas serra nel settore dei trasporti**
- Unità Operativa 2c** Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie, Rilevamento (*Stefano Caserini*): **indicazioni tecnico-gestionali per la realizzazione di progetti di utilizzo energetico di biomasse**
- Unità Operativa 2d** Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie, Rilevamento (*Michele Giugliano*): **politiche tecnologiche dirette: i biocombustibili**
- Unità Operativa 2e** Politecnico di Milano, Dipartimento di Elettronica e Informazione (*Giorgio Guariso*): **valutazione economica, energetica e ambientale di piani di utilizzo delle biomasse da combustione in Lombardia.**

Nota: nomi e cognomi degli altri collaboratori sono riportati a pagina 259 del capitolo *Tutti i protagonisti della ricerca.*

5.2 – Obiettivi e metodi del gruppo di ricerca

La finalità della prima fase di attività della linea di ricerca Scenari e politiche è stata quella di definire gli obiettivi di riduzione delle emissioni dei gas serra per la Regione Lombardia (rispetto ai livelli di emissione del 1990), calcolati in funzione della proiezione delle emissioni di gas serra nella regione e degli obiettivi di riduzione assunti dall'Italia in ambito internazionale.

Inoltre, si trattava di effettuare una valutazione economica e ambientale degli strumenti e delle politiche di mitigazione attuabili nella regione, necessari per conseguire gli obiettivi di mitigazione del cambiamento climatico, incluse le politiche dirette (economiche e tecnologiche nei settori edilizia, trasporti, biomasse) e le politiche indirette.

La ricerca al termine della prima fase ha suggerito l'opportunità di utilizzare uno strumento per valutare e orientare in modo coerente e integrato le politiche regionali di sviluppo. Un simile strumento, disponibile, adattabile e utilizzabile per il caso della Lombardia, è il modello MARKAL-TIMES.

Obiettivo delle attività svolte nella seconda fase è stato, pertanto, quello di compiere una valutazione economica e di compatibilità ambientale delle politiche di mitigazione (politiche economiche, agro-forestali e opzioni tecnologiche di settore) attuabili nella regione e di disegnare un **“Piano Regionale di Mitigazione dei Cambiamenti Climatici”** in relazione anche ai co-benefici di politiche di miglioramento della qualità dell'aria.

In particolare, tra le politiche tecnologiche dirette lo studio prevedeva:

- la valutazione a scala comunale della disponibilità di biomasse da combustione (con la formulazione di scenari di utilizzo di queste a diverso livello di centralizzazione e con la valutazione dal punto di vista economico, energetico e ambientale delle soluzioni ottimali di localizzazione e dimensione degli impianti);
- la valutazione delle potenzialità e dei vincoli nell'utilizzo di biocombustibili nel settore dei trasporti, valutandone il potenziale di produzione per il contesto agricolo lombardo.

Al fine di ottenere una prima ipotesi di Piano Regionale di Mitigazione è stata svolta un'analisi dettagliata delle politiche nel settore energetico attuabili in Lombardia attraverso l'adozione del modello tecnologico *bottom-up* MARKAL-TIMES.

A partire dalle valutazioni sulla fattibilità e sulla potenzialità di politiche di riduzione delle emissioni di gas serra individuate, sono stati studiati i potenziali di risparmio energetico e di riduzione delle emissioni di inquinanti derivanti dalle possibili scelte nel settore dell'edilizia, della mobilità (veicoli e carburanti), della generazione termoelettrica, dell'industria e dell'agricoltura per la regione. Sono stati modellizzati uno scenario tendenziale e due scenari alternativi con diversi obiettivi ambientali in termini di riduzione di emissioni e di produzione di energia da fonti rinnovabili: in questi sono stati considerati le politiche, gli scenari e le misure di riferimento già sviluppate dalla Regione Lombardia nell'ambito della pianificazione energetico ambientale.

5.3 – Sintesi dei risultati ottenuti

5.3.1 – Definizione di un obiettivo di riduzione delle emissioni per la Regione Lombardia entro il primo periodo di riferimento previsto dagli accordi di Kyoto (2008-2012) e nel contesto del quadro strategico europeo “20-20-20”

L’obiettivo è stato calcolato sulla base dei criteri di ripartizione adottati a livello internazionale (*burden sharing*) valutati secondo principi di equità e accettabilità politica.

I criteri valutati per la ripartizione degli obiettivi su base regionale sono l’applicazione dei *flat rate targets* nazionali di Kyoto (-6,5% rispetto alle emissioni del 1990) oppure in base alle emissioni attuali, alle emissioni cumulate a partire dal 1990, al PIL *pro capite*, al PIL, all’intensità carbonica del PIL o, infine, in base alle emissioni *pro capite*. Il metodo ritenuto più accettabile per la regione è risultato quello della “responsabilità storica” (*polluter pay principle*), che assegna alla Lombardia **un tetto per le emissioni di 61.866 migliaia di tonnellate di CO₂** calcolato (con un obiettivo di riduzione implicito pari a 4.213 ktCO₂) come media annuale per il periodo 2008-2012. **Il principio della responsabilità storica si traduce in un impegno di riduzione proporzionale alla quota di emissioni regionali cumulate, a partire dall’anno base 1990, sul totale nazionale.**

Dall’obiettivo nazionale di Kyoto a quello regionale, secondo il principio della “responsabilità storica”

Attraverso la modellizzazione in MARKAL-TIMES (*sottoparagrafo 5.3.6*) gli obiettivi di emissione di CO₂ sono stati definiti seguendo i tassi di riduzione proposti all’interno del Pacchetto Europeo. All’Italia sono stati assegnati i seguenti obiettivi: una riduzione delle emissioni del 13% rispetto al livello delle emissioni del 2005 entro il 2020 nei settori non coperti dalla Direttiva europea dell’*Emission Trading Scheme* (ETS). Il Pacchetto non prevede un *burden sharing* fra settori né fra regioni: nel presente studio sono stati quindi applicati tali obiettivi alla regione Lombardia.

Pertanto, per la definizione degli **scenari alternativi** (che prevedono, a differenza del tendenziale, un vincolo sulle emissioni) si è scelto di dare al modello l’obiettivo generale di riduzione del 20% delle emissioni entro il 2020 rispetto al 1990 per ottenere indicazioni su quali settori possano maggiormente farsi carico della riduzione di emissioni richiesta, senza indirizzare tagli di emissioni specifici nei settori inclusi nell’ETS e in quelli non ETS. Nel **primo scenario alternativo** (scenario alternativo 1) la Lombardia si pone, quindi, l’obiettivo di **ridurre le proprie emissioni di gas serra del 20% rispetto al 1990 applicando direttamente alla regione il target di riduzione stabilito come media per l’insieme dei Paesi dell’Unione Europea** (*flat rate*). Applicando il target di riduzione medio europeo alla regione, il modello si trova dunque a dover raggiungere al 2020 un obiettivo in valore assoluto di emissioni di circa 46.993 ktCO₂, per raggiungere il quale è necessario fare delle ipotesi molto forti su possibili variazioni nel sistema energetico.

Il **secondo scenario** (scenario alternativo 2) prevede invece una riduzione delle emissioni del 21,5% dei settori ETS (*Emission Trading Scheme*) e del 13% dei settori non ETS rispetto al 2005, anno base del modello, applicando alla regione rispettivamente l'obiettivo medio europeo per i settori ETS e l'obiettivo nazionale per i settori non-ETS. Tuttavia non è stato possibile inserire direttamente nel modello una suddivisione certa dei settori ETS e non ETS fino al 2020, poiché dal 2013 questa verrà ridiscussa in sede europea. L'obiettivo che viene imposto al modello MARKAL-TIMES è perciò 59.503 ktCO₂ da raggiungere entro il 2020. Inoltre, è previsto il raggiungimento dell'obiettivo di una quota del 17% di fonti rinnovabili nella domanda finale di energia entro il 2020.

5.3.2 – Stima di uno scenario emissivo tendenziale al 2012 e costruzione di scenari di emissione

Lo scenario è stato costruito sulla base dei dati storici del Bilancio Energetico Regionale, concentrandosi sulle emissioni da processi di combustione (senza considerare le emissioni da processo industriale e da rifiuti) per poter usufruire di dati in serie storica. Partendo dai consumi di combustibile per settore, è stato stimato l'andamento futuro delle relative intensità energetiche applicando la tecnica dell'*exponential smoothing*. Questa tecnica ha consentito di proiettare l'andamento tendenziale delle variabili oggetto di analisi e al contempo di completare le serie storiche di partenza. Le ipotesi alla base dello scenario tendenziale prevedono una sostanziale stabilità del contesto socio-economico, in termini sia di evoluzione del quadro macroeconomico, sia di sviluppo tecnologico, e una visione prudentiale circa l'andamento del sistema economico lombardo. **Lo scenario tendenziale stima la media annua delle emissioni nel periodo**

2008-12 in misura pari a 78.684 ktCO₂.

Aggiungendo a questi numeri le emissioni previste dalla nuova potenza installata nel termoelettrico, come contemplato in uno scenario "nuove centrali", il valore delle emissioni risulterebbe essere pari a 85.588 ktCO₂ (*figura 5.1* a pag. 209). Nel caso dello scenario tendenziale il *gap* da colmare rispetto all'obiettivo definito,

Nello scenario tendenziale la distanza dall'obiettivo di Kyoto aumenterebbe in modo significativo

pari a 61.866 ktCO₂, risulta quindi essere pari a 16.818 ktCO₂. Nel caso dello scenario "nuove centrali" la distanza dall'obiettivo regionale sarebbe di 23.721 ktCO₂. Dunque **negli scenari stimati la distanza dall'obiettivo di Kyoto in questi anni sarebbe aumentata in modo significativo.**

Gli scenari elaborati e implementati nel modello MARKAL-TIMES sono tre: uno tendenziale o *Business As Usual* (BAU) e due scenari alternativi in cui è stato imposto un vincolo sulle emissioni. Nello scenario tendenziale, il modello non ha alcun vincolo di tipo ambientale da soddisfare, dunque la domanda di energia è determinata dall'evoluzione tendenziale di alcune variabili chiave come la popolazione e il PIL. Nella costruzione dello scenario tendenziale sono state implementate alcune misure del Piano d'Azione per

l'Energia della Regione Lombardia. Per esempio, per quanto riguarda il settore residenziale è stato imposto un limite di fabbisogno energetico delle nuove abitazioni. Gli scenari alternativi ipotizzati vanno oltre l'orizzonte temporale e gli obiettivi del Protocollo di Kyoto e si basano sui nuovi obiettivi europei per il 2020 (*figure 5.2 e 5.3* a pag. 209 e 210).

5.3.3 – Analisi della normativa vigente rilevante e delle dinamiche di settore

Sono state identificate nella normativa vigente e nelle politiche rilevanti previste e già adottate dalla Regione (incluse le politiche sovraregionali) possibili sinergie con obiettivi di riduzione delle emissioni. In particolare, sono state analizzate le politiche nei settori civile, industriale e dei trasporti, e la relativa normativa a diversi livelli istituzionali (europeo, nazionale e regionale) e, attraverso interviste, sono stati coinvolti i principali portatori di interesse e decisori politici per condividere i possibili indirizzi di una politica regionale per la mitigazione dei cambiamenti climatici.

Alla luce delle analisi svolte, gli obiettivi di *policy* che potrebbero permettere di conseguire gli obiettivi prioritari nei settori analizzati (ovvero il miglioramento della qualità dell'aria, la competitività delle imprese, i risparmi energetici), e che contemporaneamente permetterebbero di ottenere i migliori risultati in termini di riduzione delle emissioni di CO₂, risultano essere **il risparmio energetico e la diffusione dell'efficienza energetica**. Infatti, questi ultimi contribuiscono in maniera significativa anche all'obiettivo di miglioramento della qualità dell'aria. Viceversa, le politiche di abbattimento dell'inquinamento locale non sempre risultano contribuire alla riduzione dei gas serra: infatti, nonostante l'anidride carbonica venga prodotta per l'80% da processi di combustione nei quali vengono rilasciati anche altri inquinanti (ossidi di azoto, ossidi di zolfo, ossido di carbonio e idrocarburi, polveri e particolato sottile), le misure emergenziali e gli interventi *end of pipe* utilizzati per l'abbattimento degli inquinanti locali (filtri e catalizzatori, reattori ecc.) non incidono sulle emissioni di CO₂.

***I migliori risultati
possono arrivare
dal risparmio energetico
e dalla diffusione
dell'efficienza energetica***

Sono pertanto stati individuati i margini per la riduzione delle emissioni di gas serra nei settori civile, industriale e dei trasporti. Dall'analisi dei documenti regionali e dalle dinamiche settoriali è tuttavia emersa, a parere di chi scrive, la mancanza di un adeguato livello di integrazione tra le politiche volte alla riduzione delle emissioni di gas serra. Per ottenere i risultati potenziali in termini di riduzione delle emissioni di gas serra risulta auspicabile un'integrazione del *policy making* regionale, per gestire al meglio le sinergie ricavabili dalle dimensioni gestionali, infrastrutturali, ambientali ed economiche dell'efficienza energetica nei vari settori, attraverso la creazione di tavoli di concertazione fra dirigenti e unità operative delle diverse Direzioni Generali della Regione Lombardia (Qualità dell'Ambiente, Reti e Servizi di Pubblica Utilità, Infrastrutture e Mobilità, Territorio e Urbanistica, Agricoltura, Industria, PMI e Cooperazione, Casa e Opere Pubbliche ecc.).

IL PAE E I SUOI SCENARI - UN'ANALISI DI ARPA LOMBARDIA

In un contesto complesso come quello lombardo, si evidenzia la necessità di operare un corretto bilanciamento fra gli interventi volti al perseguimento degli obiettivi ambientali (quali per esempio la riduzione di CO₂) e quelli da mettere in atto per favorire lo sviluppo socio-economico della regione.

La riduzione del deficit di produzione di energia elettrica, ottenuta con la costruzione di nuove centrali, se da un lato ha incrementato le emissioni di anidride carbonica, dall'altro ha portato a evidenti vantaggi in un'ottica di riduzione del costo dell'energia per le famiglie lombarde, di miglioramento della competitività delle imprese e di promozione delle nuove tecnologie.

Va peraltro considerato che, grazie all'intervento regionale, in questi anni il livello tecnologico del parco centrali lombardo ha permesso di raggiungere standard di emissioni inquinanti in atmosfera decisamente competitivi.

A questo si affiancano tutte le misure sul risparmio energetico, da ultimo il sistema di certificazione energetica introdotto recentemente in Lombardia, con anticipo rispetto ai tempi dettati dalla normativa; misure che, nel migliorare e razionalizzare l'uso della risorsa, comportano grandi vantaggi dal punto di vista delle emissioni di CO₂ risparmiate.

Sempre in quest'ottica vanno messi in evidenza gli obiettivi individuati dal **Piano d'Azione per l'Energia (PAE)**, condotto dalla Regione e Punti Energia, che individua tre possibili scenari:

- Scenario Tendenziale
- Scenario Medio
- Scenario Alto

Lo **Scenario Tendenziale** rappresenta la previsione in termini di evoluzione di consumi e offerta energetica, prendendo a riferimento l'andamento storico registrato; lo **Scenario Alto** descrive invece la situazione che si verrebbe a determinare qualora si attuassero nella maniera più efficace gli interventi di mitigazione dei consumi e della tipologia di offerta energetica; lo **Scenario Medio** descrive infine la proiezione, probabilmente la più realistica, derivante dal raggiungimento di un livello medio di risultati ottenuti dalle misure previste dal Piano stesso.

Confrontando la variazione percentuale di emissioni che si otterrebbe nei tre casi, si osserva un incremento del 22% con il primo Scenario, in

assenza quindi di interventi strutturali, un incremento dell'8,1% nel caso dello Scenario Alto e una variazione in crescita del 13,5% per lo Scenario Medio. A dimostrazione di un consistente risparmio nella produzione di CO₂ a seguito dell'attuazione del Piano d'Azione per l'Energia, è programmato un complesso di interventi, da un lato rivolti al risparmio e alla razionalizzazione dei consumi energetici, dall'altro allo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili.

Nella tabella che segue sono rappresentati i contributi dei diversi fattori in termini di CO₂ risparmiate sia nello Scenario Medio che in quello Alto.

Macro tematica	Misura	Settore	SCENARI	
			Medio	Alto
			Emissioni di CO ₂ (kt)	
Risparmio energetico e razionalizzazione		Civile	2.045	2.743
		Industria	835	1167
		Trasporti	67	1128
Sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili	Biomasse	-	1.266	2.686
	Idroelettrico	-	257	442
	Rifiuti	-	295	463
	Solare	-	162	441
	Eolico	-	41	47
		totale	5.577	9.118

A tutto ciò va aggiunta la riduzione di emissioni, stimata da ARPA, attribuibile al Piano di Azione per la Qualità dell'Aria di Regione Lombardia, che prevede il blocco parziale alla circolazione dei veicoli nei giorni feriali, dal 15 ottobre 2008 al 15 aprile 2009.

	CO ₂ (kt)
Zona A1	205*

*per l'intera stagione di blocco

È importante tenere in considerazione anche questo genere di provvedimenti perché impattano positivamente in termini di produzione di CO₂, pur avendo come obiettivo primario quello di incidere in maniera più ampia sulla qualità dell'aria, così come problematica di fondamentale interesse pubblico a livello locale lombardo e più estesamente a livello di Bacino padano.

5.3.4 – Indagine conoscitiva sul grado di conoscenza e sul potenziale di utilizzo dei meccanismi flessibili di Kyoto da parte delle imprese lombarde

Nell'ambito della ricerca è stato predisposto un questionario rivolto a 251 imprese lombarde per ottenere informazioni sul loro grado di conoscenza delle tematiche relative al Protocollo di Kyoto, sulla base del quale elaborare una prima stima delle strategie da queste impostate sul ricorso ai meccanismi flessibili previsti dal Protocollo di Kyoto. L'indagine ha stimato un potenziale ricorso a progetti CDM (*Clean Development Mechanism*) e JI (*Joint Implementation*) quantificabile in circa 1.000 ktCO₂ all'anno, su un impegno di riduzione al 2012 stimato pari a 3.895 ktCO₂ medio annuo.

Il tasso di risposta ai questionari è stato del 34%: hanno collaborato 68 imprese, di cui 51 soggetti che sottostanno alla Direttiva europea ETS (*Emission Trading Scheme*). **L'indagine ha mostrato un mercato in cui la maggior parte degli impianti coinvolti nello schema ET acquisterà quote di emissioni (73% – in questo caso le aziende non riescono a rispettare l'obiettivo di riduzione delle emissioni di gas serra determinato nel Piano Nazionale di Allocazione), mentre solo una piccola parte sarà venditrice di quote (12% – queste aziende sono invece virtuose, cioè riescono a rispettare l'obiettivo di riduzione delle emissioni determinato nel Piano), potendo poi vendere la quota di riduzione in surplus ai soggetti di cui sopra, mentre un'altra piccola parte agirà sia da acquirente, sia da venditrice di quote (10%).**

Le imprese lombarde hanno dimostrato interesse verso i meccanismi flessibili del Protocollo di Kyoto

Nonostante l'analisi abbia mostrato una scarsa conoscenza delle tematiche relative ai cambiamenti climatici e ai meccanismi flessibili del Protocollo di Kyoto, le imprese lombarde hanno generalmente dimostrato grande interesse verso i meccanismi flessibili CDM

e JI: **il 63% dei soggetti ET ha risposto che prenderà in considerazione o aumenterà il ricorso ai progetti CDM e JI nei prossimi anni.** Le Piccole Medie Imprese (che nell'ultima versione del Piano Nazionale di Allocazione di riferimento al momento dello studio – novembre 2005 – rappresentano circa il 37% dei soggetti coinvolti dalla Direttiva europea ETS a livello regionale) sono risultate essere i soggetti più deboli fra le imprese coinvolte nell'ET lombardo in termini sia di scarsa disponibilità di risorse da impiegare, sia di mancanza di conoscenza e informazioni in merito.

5.3.5 – Individuazione e valutazione di misure e politiche per raggiungere l'obiettivo di riduzione

Le misure considerate nella prima fase dello studio non intendevano rappresentare l'intera gamma di possibili interventi, bensì offrire una prima indicazione delle opzioni praticabili e auspicabili nel medio periodo. Nello scenario di riferimento sono stati identificati dei margini di intervento per l'edilizia e l'illuminazione pubblica nel settore civile, per l'estensione degli obiettivi di efficienza energetica negli usi finali e per uno

sfruttamento più intenso delle fonti rinnovabili. **In base agli interventi ipotizzati e quantificati** (con un risparmio di 5.603 ktCO₂ in media annua nel periodo 2008-2012 nel settore civile, di 3.896 ktCO₂ nel settore industriale e, grazie al settore delle rinnovabili, di 2.420 ktCO₂), **la riduzione complessiva di emissioni che si potrebbe ottenere con la realizzazione dello scenario di riferimento al 2012 è risultata essere pari a 11.918 ktCO₂ all'anno.** Questa riduzione non consentirebbe comunque il raggiungimento dell'obiettivo definito per il 2008-12 ma permetterebbe di invertire un trend assai preoccupante.

La distanza dal target regionale è risultata essere comunque pari a 7.537 ktCO₂. Per colmare questo *gap* il potenziale ricorso ai meccanismi flessibili, avallato dai risultati dell'indagine sulle imprese lombarde, suggerisce la necessità di **promuovere attività di formazione tecnica e normativa relativamente alla gestione dei meccanismi flessibili** e nuove forme di accompagnamento e supporto tecnico-finanziario per le imprese desiderose di investire in meccanismi di progetto, anche nell'ottica dell'internazionalizzazione delle imprese lombarde.

Per quanto riguarda le politiche economiche, è emerso come la Regione debba sfruttare il proprio ruolo di ente pianificatore e promotore, incentivando la diffusione delle società che offrono servizi energetici e delle pratiche dell'*energy audit* sia in ambito pubblico che privato.

Fra gli strumenti più efficaci identificati sono emersi:

- accordi volontari con attori rilevanti sul territorio (venditori, installatori, distributori, produttori, consumatori) per la diffusione di tecnologie di uso finale efficienti dal punto di vista energetico;
- protocolli d'intesa con banche e istituti di credito per la diffusione del *project financing* per investimenti di efficienza e risparmio energetico;
- promozione di *energy audits* sul territorio e maggiore coinvolgimento dei distributori di energia elettrica e gas;
- promozione di strumenti e programmi europei per l'efficienza energetica nelle imprese (*software* di valutazione economica e tecnica degli investimenti e pacchetti gestionali per l'efficienza energetica).

La Regione può valorizzare il proprio ruolo incentivando la diffusione delle società di servizi energetici

5.3.6 – Adozione e applicazione del modello MARKAL-TIMES per la costruzione di un piano di mitigazione delle emissioni di gas serra per la Regione Lombardia
Il generatore di modelli TIMES (*The Integrated Markal-Efom System*) sviluppato e distribuito dall'Energy Technology System Analysis Project (ETSAP) dell'International Energy Agency (IEA) **è un modello di ottimizzazione che individua le soluzioni di minimo costo soggetto a una serie di vincoli.** Il generatore di modelli TIMES è stato

implementato in GAMS (*General Algebraic Modeling System*), un linguaggio di programmazione ad alto livello per descrivere in modo semplice modelli di programmazione matematica anche molto complessi.

Il TIMES ha un approccio analitico di tipo *bottom-up* e un approccio matematico che utilizza la programmazione lineare; lo scopo dei modelli generati dal TIMES è quello di esplorare le evoluzioni future attraverso lo studio di differenti scenari per supportare processi decisionali. In particolare, vincoli energetici, socio-economici e ambientali possono essere combinati e considerati simultaneamente per determinare la futura configurazione ottimale del sistema che soddisfa gli obiettivi prefissati.

A partire da un anno assunto come riferimento (nel nostro studio il 2005), il TIMES “costruisce” le traiettorie energetiche che soddisfano i requisiti della funzione obiettivo (costo totale del sistema) e dei vincoli imposti.

Il modello adottato consente di individuare le soluzioni di minimo costo

Il modello MARKAL-TIMES è un ottimizzatore, quindi lavora per minimizzare la funzione obiettivo che rappresenta i costi totali che il sistema economico-energetico in oggetto deve sopportare per soddi-

sfare il vincolo ambientale dato. Questo è imposto esogenamente al modello: nel presente lavoro corrisponde a **un obiettivo di emissioni di CO₂ che non deve essere superato al 2020.**

Il TIMES genera un modello di equilibrio economico parziale del sistema energetico in esame per analizzare l'evoluzione del sistema nel medio e lungo termine e consentire studi di allocazione ottimale degli investimenti e delle spese annuali. Le variabili richieste in ingresso dal modello sono essenzialmente dati tecnici (per esempio, potenza installata delle centrali a ciclo combinato, efficienza, costi di investimento ecc.); inoltre, sono richieste esogenamente le proiezioni della domanda (per esempio l'evoluzione della domanda di trasporto). Quindi la domanda dei servizi energetici è esogena, ed è compito del modello trovare le tecnologie in grado di soddisfarla tenendo conto dei vincoli ambientali e minimizzando il costo totale del sistema.

Il modello MARKAL-TIMES fornisce in output l'evoluzione dei parchi tecnologici nei vari scenari (per esempio la potenza installata delle centrali elettriche a ciclo combinato, il numero di lampade alogene ecc.) e il flusso dei vettori energetici (per esempio il consumo di gas naturale, i consumi elettrici ecc.). La penetrazione delle varie tecnologie nei vari scenari dipende sia dal costo della tecnologia, sia dal vincolo ambientale imposto. La logica alla base del funzionamento del modello MARKAL-TIMES è la ricerca delle **soluzioni tecnologiche a minimo costo tra un set di opzioni descritte nel database di input a seguito dell'iterazione tra domanda e offerta.** A titolo esemplificativo, si immagini di avere a disposizione due tecnologie (Y ed Z). Il modello ottimizzatore sceglie tra le due tecnologie disponibili quella da utilizzare per prima: se Y ha un costo inferiore la capacità verrà allocata dal modello interamente su questa tecnologia, altri-

menti verrà scelta la tecnologia Z per la domanda residua. In presenza di vincoli ambientali, se Z è meno inquinante la scelta del modello ricadrà su Z nella misura in cui serve per raggiungere il vincolo ambientale e su Y per la parte residua. È naturale che, operando in questa logica, il modello possa scegliere soluzioni d'angolo (per esempio potrebbe decidere di sostituire tutte le centrali a gas con il solare fotovoltaico) che risultano totalmente irrealistiche. Per questo motivo **è necessario anche un lavoro di calibrazione che vincoli il modello alle caratteristiche fisiche del mondo reale.**

La raccolta dei dati necessari all'adeguamento del modello al caso della Lombardia è stato presupposto fondamentale al prosieguo dei lavori. Il prodotto di partenza per la costruzione del Sistema Energetico Regionale è rappresentato dal bilancio energetico 2005 della Lombardia ottenuto tramite integrazione del Bilancio Energetico Regionale 2005 elaborato da Punto Energia (aggiornato al 30 marzo 2008). I consumi energetici totali risultano per l'anno base del modello 25.111 ktep corrispondenti a circa 1.050 PJ (PetaJoule= 10^{15} J). Per quanto riguarda l'offerta di elettricità sono stati descritti tutti i maggiori impianti di generazione presenti in Lombardia. I dati di partenza sono stati forniti dal CESI e da Punto Energia, successivamente elaborati e integrati da analisi di dettaglio e ricerche puntuali. Questi dati sono stati infatti rivisti e aggiornati per ogni singolo impianto, considerando anche le centrali di nuova costruzione, quelle pianificate (che hanno completato la procedura di Valutazione di Impatto Ambientale) e quelle interessate da significativi lavori di ripotenziamento.

Per l'offerta di elettricità sono stati descritti tutti i maggiori impianti di generazione presenti in Lombardia

Per l'evoluzione della domanda, il modello TIMES richiede che la domanda di uso finale sia inserita dall'analista come dato esogeno. **Individuata e definita la domanda, il modello TIMES sceglie le tecnologie d'uso finale per soddisfarla.**

Il sistema di riferimento energetico regionale è stato disaggregato nei seguenti macrosettori di domanda finale:

- residenziale;
- terziario;
- industriale;
- mobilità (o trasporti);
- agricoltura.

Le domande di servizi energetici nei diversi settori sono determinate esternamente al modello (il TIMES è un modello di equilibrio economico parziale) e la metodologia adottata per la proiezione al 2030 di questi valori si basa sull'utilizzo di *driver*, la cui evoluzione nel tempo ne determina appunto gli andamenti futuri.

Un chiaro esempio di *driver* è quello della popolazione: a un aumento della popolazione è logico pensare che corrisponda una variazione, dello stesso segno, di diverse domande; utilizzando questi *driver* le domande di uso finale sono state quindi proiettate al 2030.

5.3.7 – Soluzioni del modello per gli scenari individuati

L'andamento nel caso dello **scenario tendenziale** indica un chiaro aumento della capacità richiesta agli impianti tradizionali di produzione elettrica, con l'esclusione della potenza installata relativa agli impianti cogenerativi (*Combined Heat and Power – CHP*) che nel modello vengono trattati a parte (*figura 5.4* a pag. 210). **La quota di importazione di energia elettrica dall'estero è stata mantenuta costante al livello del 2005** in tutti gli scenari, in accordo con quanto previsto dal CESI sull'evoluzione delle reti per lo scambio di elettricità.

Le **emissioni del settore residenziale sono previste in calo già nello scenario tendenziale**, grazie alle ipotesi fatte sull'efficienza energetica e considerando il fatto che per il modello MARKAL-TIMES, che è un ottimizzatore, lo scenario BAU utilizza le previsioni esogene imputate **scegliendo tuttavia le migliori opzioni tecnologiche disponibili per soddisfare le domande introdotte nel modello**.

Lo scenario alternativo 2 segue lo stesso andamento delle emissioni dello scenario tendenziale per le ragioni sopramenzionate mentre lo scenario alternativo 1 presenta un calo delle emissioni di CO₂ molto più consistente per via del vincolo ambientale più restrittivo (-20% rispetto alle emissioni del 1990).

I **consumi energetici** decrescono in tutti gli scenari in misura paragonabile; quello che cambia è la distribuzione degli stessi: nello scenario alternativo 1, l'utilizzo di biomasse aumenta considerevolmente facendo diminuire notevolmente il consumo di gas naturale; il gasolio tende a scomparire in tutti gli scenari, il calore da teleriscaldamento aumenta nello scenario alternativo 2 e il solare cresce nello scenario alternativo 1.

La **domanda di energia** nel settore terziario è prevista in notevole aumento data la tendenza sempre più marcata alla terziarizzazione dell'economia secondo una tendenza verso un'economia sempre più legata ai servizi più che alla produzione e proprietà dei beni e delle merci. Pertanto le emissioni in questo settore sono previste in aumento nello scenario tendenziale (+18%), mentre risultano in diminuzione nei due scenari alternativi: -62% nello scenario

alternativo 1 e -7% nello scenario alternativo 2 (*tabella 5.1* a pag. 211). Queste grandi differenze sono sempre dovute ai diversi vincoli ambientali imposti. **Le emissioni del settore trasporti** sono previste in leggero aumento (+2%) nello scenario tendenziale mentre risulta essere in diminuzione nei due scenari alternativi: -29% nello scenario alternativo 1 e -21% nello scenario alternativo 2. Le ipotesi modellistiche più importanti relative a questo settore sono legate alla diminuzione dei fattori di emissione secondo la nuova Direttiva dell'Unione Europea che impone un limite di 120 g CO₂/km a partire dalle auto prodotte nel 2012 (incluso in entrambi gli scenari alternativi) e all'evoluzione del parco veicolare dal 2005 al 2020, con l'ingresso di autovetture e altri veicoli ipotizzando nuove direttive Euro (dalla Euro 4 alla Euro 9).

Le emissioni nel settore residenziale sono previste in calo grazie a una maggiore efficienza energetica

5.3.8 – Innovazione tecnologica, risparmio energetico nell'edilizia e negli usi finali dell'energia in Lombardia

Lo studio analizza i fabbisogni energetici per quattro diverse tipologie di edifici (villette monofamiliari e a schiera, edifici a torre ed edifici in linea) da cui emerge come:

- gli extracosti necessari per diminuire il fabbisogno annuo di calore in kWh/m² anno dipendono fortemente dal rapporto tra la superficie disperdente dell'edificio e il volume in esso contenuto;
- la realizzazione di edifici con fabbisogni di calore al limite dei 65 kWh/m² anno, comporta oneri supplementari molto limitati rispetto ai puri costi di costruzione, affrontabili senza eccessivi aggravii per le imprese di costruzione e, a maggior ragione, per gli acquirenti (considerato che il costo di costruzione costituisce solo una parte del prezzo di vendita delle abitazioni);
- questi extracosti sono ampiamente superati dai benefici che derivano dalla riduzione dei costi di gestione, che portano al rientro dell'investimento in circa 2 anni (meno per gli edifici a torre, di più per le villette) (riferito ai prezzi del 2005).

Un'ulteriore analisi del parco edilizio lombardo, in funzione delle tipologie costruttive e dell'età degli edifici, ha messo in luce la dinamica dei fabbisogni annui nelle nuove costruzioni realizzate a partire dal 1920 fino a oggi, che **mostra un trend spontaneo di continua e progressiva riduzione dei fabbisogni**, con qualche accelerazione in corrispondenza di provvedimenti legislativi in materia (anche in assenza dei relativi decreti attuativi).

L'andamento naturale (BAU) conduce a un fabbisogno medio di 106 kWh/m² anno per il 2005 e a un valore proiettato al 2012, in assenza di specifici interventi, di 102 kWh/m² anno (*figura 5.5* a pag. 211).

Tutto questo suggeriva già allora di:

- eliminare ogni forma di finanziamento o promozione per edifici che non limitassero il fabbisogno in maniera davvero sostanziale (< di 45 kWh/m² anno – oggi a metà della classe B, nella scala di classificazione della Regione Lombardia);
- introdurre limiti di legge più stringenti per il coefficiente di dispersione termica Cd (-50%, invece di -25% come previsto dalla L.R. 39/04) equivalenti a circa 65 kWh/m² anno;
- promuovere forme di certificazione che orientassero il mercato nel senso di accelerare la naturale tendenza verso la riduzione dei fabbisogni energetici per il riscaldamento degli edifici.

Sotto le due diverse ipotesi (Cd -25%, Cd -50%) è stato valutato il diverso effetto dei provvedimenti sulla riduzione complessiva delle emissioni di CO₂ nel periodo considerato (2009-2012), avendo come riferimento la naturale tendenza di mercato (BAU) (*tabella 5.2* a pag. 212).

Gli extracosti di investimento per diminuire il fabbisogno energetico annuo sono ampiamente superati dai benefici che derivano dalla riduzione dei costi di gestione

Negli anni successivi a questo primo studio, la Regione Lombardia, all'atto di recepire la Direttiva 2002/92/EC nel quadro del D. lgs 192/2005 e successive modifiche integrative., a partire dalla DGR n. 8/5018 del 2007 ha di fatto operato secondo quanto precedentemente indicato nello studio mediante:

- introduzione dal 1° settembre 2007 della certificazione energetica degli edifici;
- imposizione per le nuove costruzioni a partire dal 1° gennaio 2008 (anticipando di due anni i limiti nazionali) dei requisiti minimi sostanzialmente corrispondenti a 65 kWh/m² anno.

Tra qualche anno le certificazioni energetiche potranno indicarci meglio il trend del fabbisogno energetico per il settore edilizio della Lombardia

Con la L.R. 33/2007 la Regione Lombardia ha stabilito che, in presenza di riduzioni superiori al 10% rispetto ai valori limite previsti dalla legge regionale, i muri perimetrali e i solai che costituiscono involucro esterno sono scomputati dalla volumetria autorizzata; questo provvedimento costituisce un indubbio vantaggio che promuove un maggiore isolamento.

Tra qualche anno, analizzando le risultanze delle certificazioni energetiche, si potrà vedere come si va modificando il trend del fabbisogno del parco edilizio lombardo.

5.3.9 – Sistemi innovativi di mobilità per la riduzione delle emissioni di gas serra dal settore dei trasporti

Lo studio ha altresì analizzato alcuni sistemi innovativi di trasporto (*dial a ride*, *car pooling*, *car sharing*), le misure di supporto alla mobilità ciclistica e le misure di regolazione del traffico e della sosta.

I sistemi innovativi di trasporto comprendono interventi di tipo “leggero”, ovvero economici rispetto agli interventi infrastrutturali, reversibili cioè facili da riformulare nel corso del tempo anche a seconda delle esigenze di accettabilità sociale, flessibili nel rispondere alle esigenze di categorie diverse di utenti.

Il **Dial a Ride** è un servizio di trasporto a chiamata, in cui veicoli pubblici senza percorso e orario fisso, diretti da un sistema centralizzato di gestione, servono le richieste degli utenti. Le richieste vengono effettuate telefonicamente ad una centrale operativa, il sistema determina il mezzo che meglio può soddisfare la richiesta (in base a opportuni parametri di qualità), e ne modifica il percorso. Dal punto di vista modellistico, ciò corrisponde a trattare problemi di *routing* e di *scheduling*.

Il **Car Pooling** è un sistema di condivisione di un mezzo privato fra più utenti che compiono un tragitto comune fra punti di origine e destinazione “vicini”, con un ente di controllo che ha il compito di comporre gli equipaggi delle vetture (usando algoritmi di *matching*) e di verificarne l'effettiva realizzazione, fornendo diversi possibili tipi di incentivi ai partecipanti.

Il **Car Sharing** è un sistema di vetture, dislocate in un certo numero di parcheggi, con la

possibilità di essere noleggiate mediante una tessera magnetica (con riconoscimento del conducente e addebito della tariffa) per poi essere restituite in uno qualsiasi dei parcheggi collegati. Dal punto di vista modellistico-organizzativo questo sistema può registrare problemi di localizzazione dei parcheggi e problemi di gestione di (possibili) attese.

Nell'analisi delle **misure di supporto alla mobilità ciclistica** si è osservato che, per ottenere una diffusione significativa dell'uso della bicicletta come mezzo di trasporto quotidiano, è necessario estendere gli interventi a un concetto più ampio di azioni di promozione che creino le condizioni, materiali ma anche culturali, favorevoli alla diffusione della mobilità ciclistica.

Sono stati quindi considerati:

- interventi relativi alla realizzazione e all'adeguamento delle infrastrutture per la messa in **sicurezza dei percorsi**: piste e corsie ciclabili, marciapiedi a uso promiscuo e misure di moderazione del traffico;
- organizzazione di servizi dedicati ai ciclisti: **cicloparcheggi** e **spazi protetti** per il ricovero delle bici, ciclofficine che offrano servizi di manutenzione e spazi per l'autoriparazione, servizi di noleggio di bici, servizi di supporto all'intermodalità.

Di fondamentale importanza sono, inoltre, le attività di educazione e informazione che possono avere un importante effetto sull'effettivo uso della bicicletta.

Per orientare la domanda di mobilità verso modi di trasporto più sostenibili occorre, tuttavia, individuare un sistema articolato e flessibile di incentivi e meccanismi frenanti che comprendano **misure di regolazione del traffico e della sosta**. La rassegna delle misure di intervento è stata quindi completata con una nota sulle politiche di controllo e *pricing* di cui si accennano le problematiche fondamentali.

Il **Road Pricing** consiste nella tariffazione dell'uso di alcune strade o zone della città: i veicoli che passano per opportuni punti di controllo vengono riconosciuti tramite un sistema elettronico che impone loro un pedaggio (come per esempio l'Ecopass entrato in vigore a Milano). I problemi operativi da risolvere riguardano le tecnologie di riconoscimento dei veicoli e gli equipaggiamenti elettronici di terra e di bordo.

Il **Park Pricing** consiste in una tariffazione della sosta di tipo flessibile: le tariffe di parcheggio sono regolate e diversificate per aree cittadine e/o per fasce orarie, al fine di modificare i comportamenti dell'utenza secondo le esigenze di controllo della circolazione.

Infine, è stata elaborata una metodologia per la valutazione preliminare delle conseguenze, in termini di riduzione delle emissioni di gas serra, che derivano dall'implementazione delle misure di intervento oggetto della ricerca stessa.

I dati utilizzati sono stati ricavati dall'Indagine Origine/Destinazione 2002 della Regione Lombardia e dal database INEMAR 2003 della Regione Lombardia. Gli effetti sulle emissioni sono stati ricavati identificando la domanda potenziale, ovvero gli sposta-

*Maggiore sicurezza
e più servizi
potranno favorire
la crescita
della mobilità ciclistica*

menti che potrebbero essere compiuti utilizzando il sistema in questione, e stimando la riduzione percentuale di emissioni in funzione delle variazioni di percorrenza così ottenute per i veicoli privati.

Tale metodologia è stata quindi applicata alla valutazione di prime stime relative a scenari di riferimento basati su ipotesi di implementazione dei servizi di *car pooling* e di misure di supporto alla mobilità ciclistica.

5.3.10 – Indicazioni tecniche e gestionali per la realizzazione di progetti di utilizzo energetico di biomasse in aziende agricole e in impianti termici civili e industriali e stima del contributo al bilancio energetico regionale

La ricerca ha valutato le due principali tecnologie di utilizzo energetico delle biomasse. La prima consiste nella **digestione anaerobica di biomasse agricole e reflui zootecnici** (reflui bovini, reflui suini, fanghi da reflui urbani, reflui avicoli, *energy crops*, rifiuti-reflui industriali, FORSU e verde da raccolta differenziata, scarti vegetali da rifiuti agricoli); la seconda nella **combustione di biomasse legnose in impianti civili e industriali** per la produzione di calore ed energia elettrica.

La digestione anaerobica, processo di conversione di tipo biochimico, consiste nella demolizione, a opera di microrganismi, di sostanze organiche complesse (lipidi, protidi, glucidi) con produzione di biogas. Solo di recente questa tecnologia è stata utilizzata come mezzo di conversione energetica delle biomasse, indipendentemente da una necessità di trattamento o depurazione.

L'analisi svolta ha riguardato la disponibilità potenziale di biomasse idonee alla digestione anaerobica in Lombardia nel 2003, e in scenari futuri attraverso la metodologia

Life Cycle Assessment (LCA). Con questa metodologia risulta che la filiera della digestione anaerobica in impianti centralizzati è la migliore, in quanto meno impattante dal punto di vista ambientale e in grado di fornire i maggiori quantitativi di energia.

Per quanto riguarda invece la combustione di biomasse, la ricerca ha indicato come prioritaria una decisa

Va promosso il rinnovamento degli impianti per la combustione delle biomasse

azione regionale per **promuovere il ricambio degli impianti per la combustione delle biomasse in ambito civile**, favorendo la diffusione di sistemi più efficienti di combustione in grado da un lato di produrre energia con minori emissioni di gas serra (che non sono nulle se considerate nel quadro dell'intero ciclo di vita), dall'altro di ridurre notevolmente le emissioni in atmosfera di numerosi inquinanti, fra cui le polveri fini primarie. La combustione di biomasse in impianti avanzati, di nuova concezione e funzionanti con pellets o cippato, pur se non permette di raggiungere i bassissimi livelli emissivi di particolato tipici degli impianti a gas naturale o a gasolio (0,5 – 5 g/GJ), porta ad una effettiva riduzione delle emissioni.

Va però segnalato che le biomasse si propongono in alternativa ai combustibili fossili

nei centri di medio-piccole dimensioni, mentre nei grandi agglomerati urbani la mancanza di luoghi di stoccaggio della legna e l'impossibilità d'installazione di apparecchi in edifici esistenti (per esempio di tipo condominiale) limita la possibilità di sviluppo delle biomasse.

5.3.11 – Valutazione economica, energetica e ambientale di piani di utilizzo delle biomasse da combustione in Lombardia

La principale caratteristica delle biomasse è quella di essere una risorsa locale e largamente disponibile sul territorio che permette la **produzione diffusa di energia a costi contenuti e con impianti semplici**. Questo rappresenta un valido motivo per l'incentivazione e il progressivo aumento di questa fonte di energia rinnovabile.

La valorizzazione dell'utilizzo delle biomasse può inoltre innescare processi di miglioramento ambientale e socio-economico come la diversificazione delle colture, il ripristino di suoli abbandonati, la manutenzione dei boschi e, non da ultimo, la creazione di posti di lavoro. Inoltre, l'utilizzo ai fini energetici delle biomasse contribuisce a contrastare i cambiamenti climatici, in quanto il bilancio di produzione di gas serra (tipicamente di CO₂) si può considerare quasi neutro. Nell'analisi complessiva del problema, infatti, si deve tenere conto non solo dell'energia netta ottenuta, ma anche dei costi economici, nonché delle emissioni prodotte. In questo studio sono stati affrontati tutti questi aspetti al fine della **valutazione delle diverse ipotesi di utilizzo delle biomasse da combustione a livello regionale**. In particolare, sono stati esaminati diversi livelli di centralizzazione degli impianti alimentati dalle biomasse (provenienti sia da residui agricoli, dell'industria del legno e dei sottoprodotti forestali, sia da colture energetiche), stimando la produzione energetica ottenibile, i costi esterni dovuti alle emissioni di gas serra e il ricavo economico. Tutte le analisi sono state svolte alla scala di **dettaglio comunale**.

In questo lavoro sono stati considerati in modo prevalente i residui provenienti dall'agricoltura, è stata effettuata un'analisi di vocazionalità dei terreni da destinare alle colture energetiche ed è stata definita la localizzazione, all'interno del territorio regionale, degli impianti che si suppone vengano alimentati dalla biomassa potenzialmente disponibile.

La stima della biomassa disponibile a livello comunale sul territorio regionale è stata effettuata mediante la raccolta e il confronto di informazioni cartografiche e censuarie. In particolare, sono state stimate le biomasse residuali provenienti dai settori dell'industria del legno, dell'agricoltura (delle colture maggiormente diffuse in Lombardia: frumento tenero, frumento duro, orzo, avena, riso, granoturco, soia, girasole e potatura di

La biomassa utilizzabile a fini energetici comprende i residui dell'industria del legno e i residui agricoli, oltre alle colture energetiche sia arboree sia erbacee

vite, olivo, melo e pero) e della manutenzione dei boschi secondo metodi di riferimento o messi a punto *ad hoc* e con i dati più aggiornati disponibili.

La biomassa utilizzabile ai fini energetici derivante dai **residui dell'industria del legno** risulta pari a **139.278 tonnellate di sostanza secca** (t ss) annue, mentre quella proveniente dai **residui agricoli** è pari a circa **1,2 Mt ss/anno**.

Un'analisi di sensitività svolta sulla produttività delle colture agricole diffuse in Lombardia dal 2000 al 2008, ha mostrato come nel caso di rese minime la disponibilità diminuisca del 15% e, nel caso di rese massime, aumenti dell'8% (*figura 5.6* a pag. 212).

I sottoprodotti forestali non sono stati invece considerati come risorsa addizionale ai fini energetici analizzati in

questo studio, in quanto è stato verificato che il bilancio tra disponibilità e utilizzazioni è praticamente nullo (sulla base di stime, sempre a livello comunale, del quantitativo di legna che sarebbe disponibile in Lombardia senza alterare gli equilibri ecologici dei boschi e delle utilizzazioni forestali attuali).

Di conseguenza sono stati stimati in 2,5 Mt/anno l'uso attuale di legna per riscaldamento domestico (Marazzi et al., 2006) e quello futuro (Giugliano et al., 2007): incrementi di produttività dei boschi andrebbero solo a sostituire legname attualmente importato con un effetto assai limitato (solo la riduzione di emissioni del trasporto) sul bilancio globale della CO₂. Il quadro è stato completato in quanto oltre alle biomasse residuali, sono state considerate anche le **colture energetiche sia arboree (il clone *Lux* del pioppo coltivato nelle cosiddette *short rotation forestry*, SRF), sia erbacee (il sorgo)**.

La carta pedologica è fondamentale per l'analisi della vocazionalità dei suoli alle colture energetiche in quanto riporta le caratteristiche principali dei suoli che possono influenzare le coltivazioni delle specie selezionate. Sulla base della carta dei suoli della Lombardia (in scala 1:10.000) (Regione Lombardia e ERSAF, 2003), si sono ipotizzati due vincoli: uno, più cautelativo, considera idonee all'uso agricolo soltanto i suoli con le caratteristiche morfologiche e pedologiche migliori per la coltivazione; l'altro, meno cautelativo, considera idonee tutte le classi di suoli definite adatte. In ogni caso non sono mai state considerate le aree vincolate da un punto di vista naturalistico e agroclimatico. **Le aree adatte alle coltivazioni delle colture energetiche secondo il vincolo più cautelativo considerato sono pari al 18% circa del territorio regionale e aumentano al 42% nel caso del vincolo meno cautelativo.** Lo studio ha quindi, in particolare, considerato le colture energetiche a bassi input colturali, in quanto non richiedono l'apporto dell'irrigazione come chiesto dalle linee guida europee. In sintesi, le alternative di **disponibilità di biomassa** esaminate dallo studio considerano un intervallo di disponibilità compreso **tra 1,35 Mt ss/anno e 2,47 Mt ss/anno** che corrisponde a una **potenzialità energetica compresa tra 22,1 PJ/anno e 42,1 PJ/anno** (tra il 2 e il 4% del fabbisogno energetico totale della Lombardia).

Valorizzare l'uso delle biomasse può innescare processi di miglioramento ambientale e socio-economico

5.3.12 – Politiche tecnologiche dirette per l'utilizzo delle biomasse da combustione in Lombardia

In seguito all'analisi condotta di cui al punto precedente, il gruppo di lavoro ha preso in esame due ipotesi di utilizzo delle biomasse, tra le numerose scelte oggi disponibili, a diverso livello di centralizzazione:

- la prima, di utilizzo concentrato, in **impianti di cogenerazione** simili a quelli già esistenti in regione che producono energia elettrica, venduta alla rete di trasmissione nazionale, e **energia termica**, per alimentare una rete di teleriscaldamento;
- la seconda, di utilizzo distribuito, in **caldaie domestiche** che producono solamente l'energia termica necessaria ad un'abitazione di medie dimensioni.

Come impianto di cogenerazione è stato scelto un impianto analogo a quello di Tirano (Sondrio) costituito da un ciclo ORC di potenza termica 8 MW e elettrica 1,1 MW accoppiato a due caldaie ad acqua, sempre alimentate a biomassa, da 6 MW ciascuna. Per l'ipotesi di utilizzo decentralizzato, sono state scelte caldaie domestiche di potenza nominale 100 kWt. È stato ipotizzato che la biomassa proveniente dai residui possa alimentare sia gli impianti di cogenerazione che le caldaie domestiche, mentre quella proveniente da colture energetiche soltanto gli impianti di cogenerazione in quanto più pregiata e costosa da ottenere.

Per valutare e confrontare le ipotesi di utilizzo sono stati definiti tre indicatori (**energetico, emissivo ed economico**) che hanno permesso di effettuare un bilancio complessivo a scala regionale. Nella formulazione dei tre indicatori, a ogni passo della filiera energetica (approvvigionamento, trasporto, impianti, utilizzo) è stato associato un costo energetico (MJ), emissivo (kg CO₂) ed economico (euro). È stata identificata, quindi, una metodologia per la localizzazione degli impianti di cogenerazione all'interno del territorio regionale che si basa sull'esclusione dei comuni con insufficiente densità energetica e sulla scelta dei comuni a maggiore disponibilità di biomassa e in grado di ospitare una rete di teleriscaldamento in quanto sufficientemente abitati. In generale, gli impianti risultano localizzati nella parte di pianura a vocazione agricola, dove si concentra la quasi totalità della biomassa disponibile. Per le caldaie domestiche invece si è considerato di localizzare gli impianti sfruttando soltanto la biomassa disponibile all'interno del comune stesso. Al termine dello studio è stato restituito il seguente importante risultato: **è stato stimato che con la biomassa potenzialmente disponibile e attualmente non utilizzata sarebbe possibile alimentare tra i 64 e i 124 impianti di cogenerazione della tipologia dell'impianto di Tirano o quasi 35.000 caldaie domestiche** (figura 5.7 a pag. 213).

Le biomasse disponibili in Lombardia possono essere utilizzate in impianti di cogenerazione e in caldaie domestiche, evitando emissioni di gas serra

Va rilevato che, in entrambe le ipotesi di utilizzo, i costi di trasporto ed eventuale produzione (nel caso delle colture energetiche) della biomassa si rivelano modesti: le di-

stanze sono molto ridotte (dell'ordine della decina di chilometri) e i costi degli impianti e delle coltivazioni si ripagano in meno di 10 anni (alle attuali tariffe elettriche, termiche e certificati verdi). Il problema dell'inquinamento locale di entrambe le ipotesi di utilizzo della biomassa invece, che comportano soprattutto un aumento delle emissioni di particolato, è già stato trattato al *paragrafo 5.3.10*.

Occorre infine notare che non è stata cercata in questo contesto una soluzione ottimale (che probabilmente è costituita da un mix di impieghi centralizzati e distribuiti), né è stata indagata la potenziale conversione a colture energetiche dell'attuale agricoltura: ciò avrebbe infatti richiesto la stima del prezzo ombra dei terreni agricoli attuali. Un'indagine di questo tipo aprirebbe moltissimi nuovi scenari, ma dovrebbe coinvolgere l'intero settore agricolo e proprio per questo va molto al di là dei limiti del presente studio.

5.3.13 – Politiche tecnologiche dirette: i biocombustibili

Una specifica attività di ricerca ha preso in considerazione **l'introduzione di biocarburanti di prima generazione in regione Lombardia**, valutando sia le conseguenze sulle emissioni in atmosfera dei veicoli funzionanti con diverse miscele di biocarburanti, sia le possibili riduzioni di gas serra derivanti da differenti scenari di produzione di biocarburanti in Lombardia.

Per quanto riguarda il primo aspetto, gli effetti sulle emissioni in atmosfera dell'uso del **biodiesel** rispetto al diesel sono una sostanziale riduzione nelle emissioni di monossido di carbonio, idrocarburi, particolato e IPA, una totale riduzione degli ossidi di zolfo e un leggero aumento degli ossidi di azoto. L'uso di **etanolo** rispetto alla benzina permette una riduzione più limitata delle emissioni di monossido di carbonio, idrocarburi, materiale particolato, benzene e aldeidi, mentre comporta un aumento delle emissioni evaporative di COV.

Complessivamente è difficoltoso definire una chiara conseguenza d'insieme sulle emissioni in atmosfera dall'utilizzo di biocarburanti. L'approfondita analisi della

letteratura scientifica mostra, oltre alle tendenze prima descritte, anche una forte variabilità dei livelli emissivi, nonché l'incompletezza della base dati disponibile, in quanto la maggior parte dei test analizzati sono stati effettuati su veicoli antecedenti alle categorie legislative Euro 4 e, pertanto, le variazioni sopra riassunte non possono essere attribuite con sicurezza anche ai veicoli più moderni.

L'analisi del ciclo di vita (LCA) della produzione e uso di bioetanolo effettuata in questo studio (*figura 5.8* a pag. 214)

è stata realizzata utilizzando dati specifici del contesto lombardo relativi alle caratteristiche delle coltivazioni e delle tecnologie di produzione dei biocarburanti. Tuttavia, i risultati ottenuti sono comunque estendibili alle zone dell'Italia del Nord che presenti-

Il ciclo di vita della produzione e uso dei biocombustibili di prima generazione è stato applicato per la prima volta al contesto lombardo

no similitudini climatiche e di tecniche di coltura. Tali analisi mostrano che il bioetanolo può essere una buona alternativa ai carburanti fossili, poiché permette un risparmio medio di circa il 60% delle emissioni di gas serra rispetto al carburante convenzionale (benzina) (figura 5.9 a pag. 214). Come previsto dall'LCA, le riduzioni relative alle emissioni dell'intero ciclo di vita (fasi di coltura, produzione, uso finale e trasporti intermedi) sono pari al 50% nel caso dell'utilizzo del mais, al 65% nel caso della barbabietola da zucchero e al 62% per il frumento.

Per il biodiesel è stata condotta una dettagliata rassegna dei dati presenti nella letteratura scientifica sul tema, che mostrano come il biodiesel prodotto a partire da colza permetta una riduzione delle emissioni pari al 53% rispetto al diesel di origine fossile, quello prodotto da girasole del 72% e quello da soia del 58%.

L'analisi di sensibilità condotta ha pertanto mostrato l'influenza sulle riduzioni delle emissioni di gas serra e sul risparmio di energia sotto alcune ipotesi utilizzate nello studio. In particolare, si sottolinea che la tecnica di coltura prevista (l'agricoltura intensiva è la più rappresentativa della zona in esame) influenza il risultato finale, in quanto l'utilizzo su vaste aree di fertilizzanti azotati implica consistenti emissioni di N_2O .

Altri fattori importanti sono il metodo di assegnazione dei carichi ambientali ai diversi prodotti ottenuti dalle coltivazioni, nonché il consumo specifico di combustibile nei veicoli (la convenienza ambientale ed energetica varia per le diverse miscele a basso contenuto di biocarburanti).

5.3.14 – Produrre biocarburanti in Lombardia

Nonostante le riduzioni di gas serra ottenibili, l'introduzione nel settore dei trasporti di quantitativi di biocarburanti che si possono produrre in Lombardia non permette grandi risultati dal punto di vista delle riduzioni delle emissioni regionali, dal momento che i quantitativi di questi biocarburanti sono molto limitati rispetto agli elevati consumi di carburante della regione.

Lo studio ha comunque valutato diversi scenari di produzione di biocarburanti in Lombardia (tabella 5.3 a pag. 215).

Per massimizzare i benefici in termini di risparmio di energia e di emissioni di CO_{2eq} evitate, l'analisi del ciclo di vita mostra che, nel caso della Lombardia, sarebbe opportuno considerare la possibilità di riutilizzo dei sottoprodotti, di utilizzo di energia rinnovabile durante il processo di produzione e di adozione di tecniche di coltura più moderne e meno impattanti (per esempio, quelle denominate "minima lavorazione") che prevedono usi minimi di prodotti chimici e riduzione alla lavorazione essenziale del terreno.

I quantitativi di biocarburanti che si possono produrre in Lombardia sono molto limitati rispetto agli elevati consumi di carburanti della regione con conseguenti scarse riduzioni delle emissioni di gas serra

La scarsa rilevanza delle riduzioni delle emissioni di gas serra ottenibili con i biocarburanti considerati indica l'importanza della ricerca sui **biocarburanti di seconda generazione** (prodotti utilizzando l'intera pianta, come sorgo, discanto, canna comune, panico verga), non solo nell'ambito delle tecnologie di produzione, ma anche in relazione al loro costo, alla disponibilità nel lungo periodo e agli impatti che queste nuove colture possono avere sulla qualità del suolo e delle risorse ambientali.

L'analisi del problema dello sviluppo della **produzione di biocarburanti alla scala globale** mostra comunque la necessità di procedure di certificazione dei biocarburanti e dell'implementazione di criteri di sostenibilità, che siano in grado di prevenire altri danni ambientali (per esempio, deforestazione) o problemi socio-ambientali (ripercussioni sul mercato delle materie prime alimentari e sicurezza alimentare).

5.3.15 – Conclusioni in breve

I risultati della prima applicazione del modello MARKAL-TIMES per la riduzione delle emissioni di gas serra in Lombardia mostrano quanto siano di **difficile raggiungimento, a parere di chi scrive, gli obiettivi della strategia europea “20-20-20” se trasposti direttamente alla realtà regionale.**

L'abbattimento di circa 24.000 kt di CO₂ rispetto al 2005 nel **primo scenario** (-20% rispetto al 1990) non potrà essere ottenuto interamente con misure interne al territorio lombardo se non attraverso opzioni irrealistiche, come potenziali estremamente alti di biomassa nell'ambito delle fonti rinnovabili e una rapida riduzione fino all'annullamento dal 2012 delle forniture di energia elettrica alle altre regioni italiane. Ciò sottointende un'autonomia nella produzione di energia elettrica nelle altre regioni molto maggiore di quanto sia realistico ipotizzare dati gli investimenti in capacità di generazione ragionevolmente realizzabili.

Per quanto riguarda il **secondo scenario** (*tabella 5.1 a pag. 211*) questo prevede la riduzione di circa 11.000 kt di CO₂ (-21,5% ETS e -13% non ETS): qui il vincolo ambientale è meno restrittivo perciò **le ipotesi sulle fonti rinnovabili necessarie per arrivare alla soluzione del modello sono più realistiche.**

Gli obiettivi della strategia europea “20-20-20” sono difficilmente raggiungibili operando soltanto entro il contesto regionale

In prima battuta i settori in cui il modello preferisce intervenire per ridurre le emissioni di CO₂ sono quello dei **trasporti** e della **generazione elettrica**. Infatti, questi sono i due settori in cui le riduzioni percentuali delle emissioni sono più simili nei due scenari alternativi: ciò indica che il modello trova conveniente intervenire soprattutto in questi settori per ridurre le emissioni (*figura 5.3 a pag. 210*).

Al contrario le riduzioni percentuali nel settore terziario e residenziale sono molto differenti nei due scenari: ciò può essere interpretato in prima battuta come indice di costi di abbattimento particolarmente elevati per questi due settori (sono escluse da queste

considerazioni i settori agricoltura e industria, in quanto non sono stati descritti con un database tecnologico).

In base ai risultati del modello, il settore della generazione elettrica al 2020 si troverebbe a dover incrementare ulteriormente la potenza installata per soddisfare il fabbisogno elettrico (*figura 5.4* a pag. 210), una scelta che il modello farebbe ricadere su nuove centrali a ciclo combinato con un'efficienza media del 56%, come descritto nelle opzioni tecnologiche di offerta presenti nel modello, oppure su interventi diffusi di trasformazione delle centrali esistenti (*repowering*). È interessante notare inoltre come nello scenario tendenziale si assista ad un forte incremento delle centrali a cogenerazione mentre nei due scenari alternativi la crescita risulta meno accentuata. Questa apparente contraddizione è dovuta al fatto che negli scenari alternativi è la biomassa a fornire la maggior parte del calore aggiuntivo richiesto, in particolare nel settore civile.

I trasporti e la generazione elettrica: in questi due settori le riduzioni percentuali delle emissioni sono più simili negli scenari

Se osserviamo il settore della mobilità notiamo che il **trasporto automobilistico è la modalità prevalente in Lombardia**. Negli ultimi anni le emissioni di CO₂ da parte delle automobili sono diminuite considerevolmente a parità di chilometri percorsi e di cilindrata. Tuttavia, nello stesso periodo di tempo sono aumentati la cilindrata media delle automobili e i chilometri percorsi, vanificando i miglioramenti di efficienza. Il settore dei trasporti è di importanza cruciale per raggiungere gli obiettivi di Kyoto, pertanto **risulta opportuno incentivare l'utilizzo di mezzi pubblici ed aumentare ulteriormente l'efficienza dei veicoli**. Un'altra soluzione può essere quella di incentivare le nuove automobili di piccola cilindrata, soprattutto nelle strade urbane, in modo da raggiungere il duplice obiettivo di riduzione dei costi e delle emissioni di CO₂.

Per quanto riguarda il settore residenziale il modello suggerisce un aumento del consumo di biomassa per ridurre le emissioni di CO₂, in particolare mediante sistemi di teleriscaldamento a biomassa di entità distrettuale (preferibili ai piccoli impianti più inquinanti e meno efficienti). I consumi elettrici del settore residenziale sono previsti in diminuzione già nello scenario tendenziale (*figure 5.10* e *5.11* a pag. 215 e 216) grazie al miglioramento di efficienza degli elettrodomestici (*figura 5.12* a pag. 216).

Infine, **per il settore terziario è prevista una domanda in forte aumento negli anni futuri dovuta alla sempre più marcata terziarizzazione dell'economia**. Un aspetto interessante è che in tutti gli scenari è prevista una forte diminuzione dei consumi di gasolio e GPL nel settore terziario (dal 2015 in poi sono pari a zero). Inoltre, i consumi di biomassa e solare sono previsti in forte crescita nello scenario alternativo 1 (dove i vincoli ambientali sono molto stringenti) mentre risultano molto più contenuti (più simili allo scenario tendenziale) nello scenario alternativo 2.

Da un punto di vista modellistico uno sviluppo futuro sicuramente interessante è lo

studio dei criteri di *burden sharing* degli obiettivi di riduzione dai livelli europeo e nazionale a quello della Regione Lombardia. Il criterio di *burden sharing* adottato dalla Commissione Europea per la definizione dei target nazionali sulle riduzioni nei settori non-ETS e sulla quota di rinnovabili sul consumo finale di energia fra Stati Membri si basa sul PIL *pro capite*. Un'ipotesi di redistribuzione del target nazionale fra Regioni nel nostro Paese basata sullo stesso criterio renderebbe ancora più stringenti gli obiettivi di riduzione delle emissioni in Lombardia rispetto agli obiettivi adottati in questo lavoro, definiti applicando alla Regione il *target* nazionale. La scelta di un criterio di allocazione basato invece sull'intensità energetica regionale, dato l'elevato livello di efficienza energetica della Regione, allenterebbe il target di riduzione delle emissioni per la Regione Lombardia, più efficiente rispetto alla media nazionale.

Dalle prime analisi svolte **risulta in generale necessario uno sforzo più deciso e lungimirante delle politiche di mitigazione attraverso misure dirette sul territorio regionale soprattutto nel settore dei trasporti e in quello residenziale.**

La Regione Lombardia ha un livello di efficienza energetica più elevato rispetto alla media nazionale

Interessanti sviluppi del presente lavoro potrebbero derivare da un'analisi più dettagliata delle opzioni tecnologiche finora inserite, con **misure *ad hoc* sugli edifici esistenti, nel settore residenziale e terziario**, nel quale un generale miglioramento del dettaglio modellistico sarebbe necessario.

Un ulteriore margine di riduzione delle emissioni nel settore dei trasporti potrebbe essere modellizzato tramite un'analisi approfondita delle potenzialità dei biocombustibili. Si segnala poi la necessità di un'indagine nei settori industriale e agricolo per colmare le lacune informative evidenziate finora, relativamente a processi produttivi nonché di uso del suolo strettamente legati alle emissioni di CO₂ e degli altri gas serra.

Tramite uno studio dell'evoluzione futura dei costi dei certificati di emissioni di CO₂ e dei certificati verdi si potrebbe arricchire l'analisi modellistica al fine di integrare le politiche dirette e quelle dei meccanismi flessibili.

Sarebbe inoltre interessante valutare il contributo che ogni Regione può dare per la riduzione delle CO₂ tramite la creazione di un modello MARKAL interregionale per l'Italia (e per l'Europa, ipotesi molto più impegnativa, ma cui si è pensato nel contesto dell'Unione Europea), in modo da quantificare obiettivi di emissione per ogni Regione da raggiungere attraverso la minimizzazione del costo totale da sostenere. In questo modo sarebbe possibile valutare le potenzialità di riduzione delle emissioni da parte di ogni singola Regione applicando opportuni criteri di *burden sharing* al fine di mettere in atto le migliori politiche di intervento nei vari contesti territoriali.

Oltre a un'analisi economica complessiva delle politiche di riduzione di emissioni di gas serra, questa linea di ricerca ha voluto anche studiare in maniera approfondita alcune politiche tecnologiche di grande interesse e attualità. Que-

ste riguardano i settori dell'edilizia e dei trasporti, nonché delle fonti rinnovabili di energia, biomasse e biocombustibili in particolare.

Quanto all'**edilizia**, lo studio ha analizzato i fabbisogni energetici per quattro diverse tipologie di edifici (villette monofamiliari e a schiera, edifici a torre ed edifici in linea) da cui emerge che vi sono buoni margini di ulteriori riduzioni delle emissioni dall'implementazione di opportune politiche di settore (*paragrafo 5.3.8*).

Quanto ai **trasporti**, i sistemi innovativi considerati sono il *car pooling*, *car sharing*, *dial a car*, e la mobilità ciclistica. Dalle analisi svolte la riduzione delle emissioni legata all'implementazione di ognuno dei sistemi considerati risulta limitata. Tuttavia è opportuno sottolineare tra i diversi vantaggi significativi di tali interventi (caratterizzati da investimenti e costi di gestione contenuti rispetto ad esempio ai "classici" interventi infrastrutturali) che, al pari di ogni intervento mirato alla riduzione delle percorrenze in auto, essi rispondono a una logica multi-obiettivo, cioè di obiettivi legati alla riduzione delle emissioni di gas serra ("tossicità per il clima"), alla qualità dell'aria nelle aree urbane ("tossicità per la salute e per l'ambiente"), alla congestione e alla sicurezza.

È inoltre da considerare l'eventuale introduzione di altri aspetti da definire legati al **trasporto pubblico locale e alla logistica**. Oltre agli interventi innovativi (almeno rispetto alla attuale situazione italiana) considerati nel presente studio, sono infatti particolarmente interessanti da indagare:

- per la riduzione degli spostamenti:
 - la gestione del traffico merci;
 - gli incentivi all'uso del trasporto pubblico;
- per la riduzione dei tassi di emissione:
 - il rinnovo del parco veicoli (promozione dell'acquisto di veicoli più efficienti/meno energivori);
 - i programmi di ispezione e manutenzione e identificazione degli *high emitters*.

La ricerca ha altresì valutato le due principali modalità di **utilizzo delle biomasse**: la digestione anaerobica di biomasse agricole e reflui zootecnici e la combustione di biomasse legnose in impianti civili e industriali per la produzione di calore e energia elettrica (*figura 5.7 a pag. 213*).

Gli impianti di digestione anaerobica sono numerosi in Lombardia e spaziano da sistemi semplici e relativamente poco costosi, a sistemi complessi ad alta tecnologia. Ai fini di potenziare e sfruttare appieno le potenzialità di questa modalità di utilizzo, sarà necessario in futuro orientarsi verso impianti che garantiscono un'adeguata resa in termini di conversione a biogas. Risulta altrettanto importante prevedere e favorire misure atte a garantire il regolare e ottimale funzionamento degli impianti stessi.

Per quanto riguarda gli impianti di combustione, dalle analisi svolte sembra necessaria

La linea di ricerca ha voluto studiare in modo approfondito politiche tecnologiche di grande attualità

una azione regionale per promuovere il ricambio degli apparecchi tradizionali per la combustione delle biomasse in ambito civile con apparecchi più efficienti (a pellets o cippato), nonché favorendo la certificazione degli apparecchi di combustione di biomasse, per aiutare l'utenza a utilizzare apparecchi efficienti e meno inquinanti, soprattutto in termini di emissioni di particolato fine.

Una seconda indicazione emersa è la **netta convenienza ambientale dello sviluppo**

di impianti di cogenerazione dotati degli opportuni sistemi di abbattimento dei fumi. La diffusione di questi impianti è legata agli elevati costi di costruzione, mentre ai fini del bilancio ambientale la distanza di approvvigionamento delle biomasse stesse non sembra un elemento determinante nel bilancio ambientale.

I nuovi impianti di cogenerazione dovranno essere dotati di migliori sistemi di abbattimento dei fumi

La ricerca ha infine considerato tre diverse ipotesi

di evoluzione della superficie agricola, al fine di stimare il potenziale di **biocarburanti** che si possono produrre in Lombardia e quindi l'entità della riduzione delle emissioni di CO₂ conseguente al loro utilizzo nei veicoli in Lombardia. Anche nello scenario più impegnativo, le riduzioni delle emissioni di gas serra sembrano piuttosto limitate.

5.4 – Gli intelligrafici

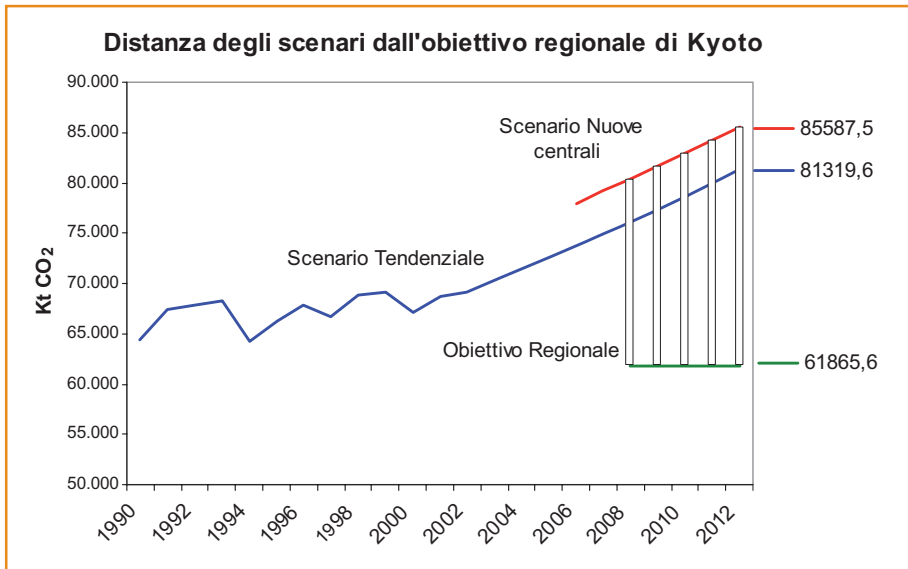


Figura 5.1 – DIVARIO DA COLMARE RISPETTO ALL'OBBIETTIVO DI RIDUZIONE DI KYOTO IN LOMBARDIA
 La linea blu indica l'evoluzione delle emissioni di CO₂ secondo lo scenario tendenziale (il modello non ha alcun vincolo di tipo ambientale da soddisfare), mentre la linea rossa indica l'incremento delle emissioni prodotto dalle nuove centrali termoelettriche previste nel relativo scenario. La linea verde indica il livello di emissioni che soddisfa l'obiettivo di Kyoto. (Dati aggiornati al 2008)

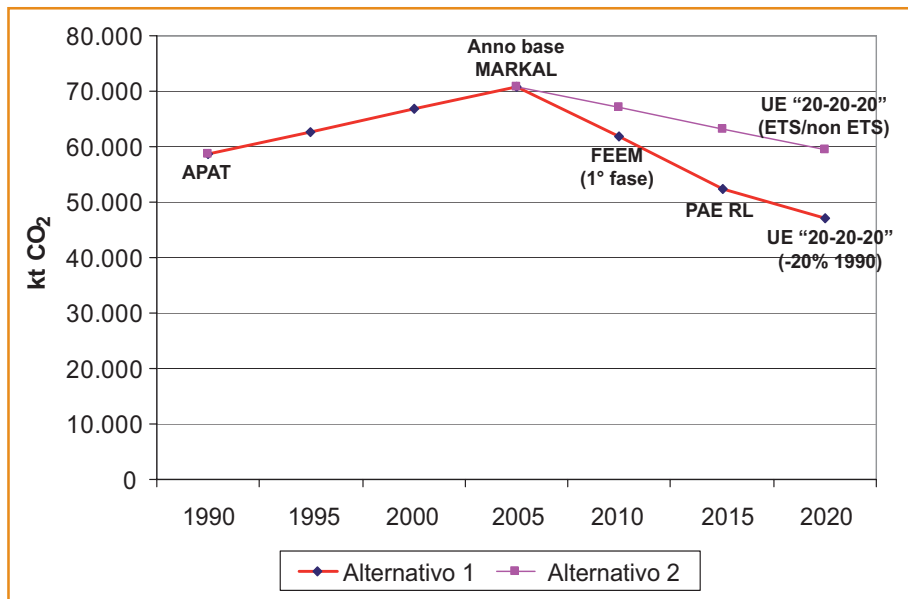


Figura 5.2 – SCENARI DI RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI CO₂ PER LA LOMBARDIA
 La figura mostra gli scenari alternativi presi in considerazione dal Progetto Kyoto Lombardia. (Legenda: APAT – Agenzia nazionale per la Protezione dell'Ambiente e i servizi Tecnici; FEEM 1° fase - progress report; PAE – Piano d'Azione per l'Energia della Regione Lombardia; UE "20-20-20" - strategia Climate Action).

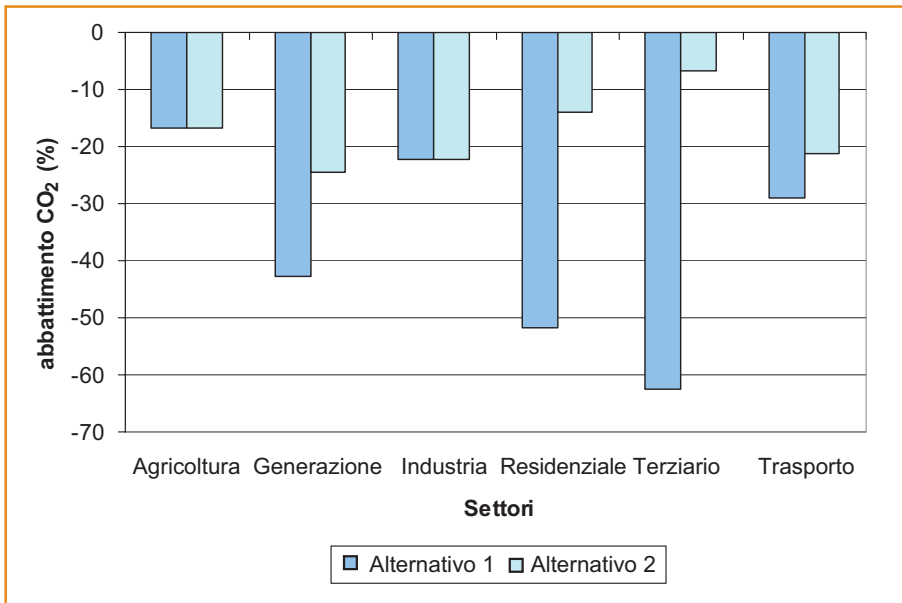


Figura 5.3 – L’IMPLEMENTAZIONE DELL’APPROCCIO TRAMITE SCENARI

Riduzioni percentuali delle emissioni di CO₂ richieste dal modello MARKAL-TIMES per conseguire gli scenari prefissati d’abbattimento della CO₂. (Legenda: Scenario Alternativo 1: obiettivo regionale di riduzione del 20% rispetto al 1990 delle emissioni gassose; Scenario alternativo 2: obiettivo regionale di riduzione delle emissioni di gas serra del 21,5% per i settori ETS e del 13% per i settori non ETS rispetto al 2005)

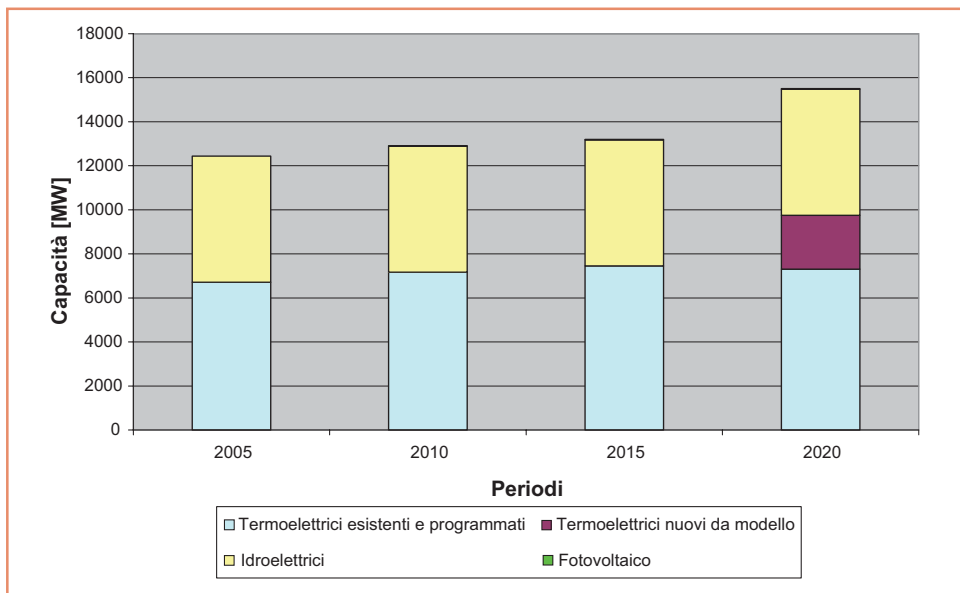


Figura 5.4 – CAPACITÀ RICHIESTA PER GLI IMPIANTI DI PRODUZIONE ELETTRICA NELLO SCENARIO TENDENZIALE

Nel caso dello scenario tendenziale si evince un aumento nel tempo della capacità richiesta agli impianti tradizionali di produzione elettrica, con esclusione della potenza installata relativa agli impianti cogenerativi che nel modello vengono trattati a parte.