

UTILIZZO DI MODELLI OTTIMIZZANTI PER L'ALLOCAZIONE DI FONTI RINNOVABILI A SCALA URBANA

di

Filomena Pietrapertosa

BASILICATA REGIONE *Notizie*

I consumi energetici di una nazione tendono ad aumentare con l'aumento del benessere e con il miglioramento del tenore di vita. Infatti, lo sviluppo tecnologico da un lato promuove un uso più razionale dell'energia, dall'altro introduce l'esigenza di soddisfare nuove richieste di beni e servizi. La domanda di energia in relazione ai beni e servizi richiesti e prodotti deve essere dunque gestita in un'ottica di corretta utilizzazione delle risorse per rendere compatibili le esigenze di sviluppo della società con la disponibilità effettiva di risorse e con la necessità di preservare l'ambiente da danni irreversibili.

Attualmente la domanda di energia è soddisfatta quasi totalmente da combustibili fossili e in special modo dai derivati petroliferi che, oltre ad essere risorse esauribili, sono i maggiori responsabili dell'inquinamento atmosferico. Le fonti rinnovabili rappresentano un'alternativa concreta ad essi nella produzione di energia, in grado di rallentare il depauperamento delle risorse e contenere l'inquinamento ambientale.

Le fonti rinnovabili a livello mondiale, rappresentano circa il 20% del totale delle fonti energetiche disponibili, con una netta prevalenza delle biomasse (circa il 14%) e dell'idraulica (6%). Per ciò che concerne l'Italia, attualmente, esse sono utilizzate prevalentemente per la produzione di energia elettrica, a cui concorrono per circa il 23% della potenzialità totale, in particolare con l'idroelettrico (15000 MW) e la geotermia (600 MW), mentre il fotovoltaico, l'eolico e le

biomasse contribuiscono complessivamente per 200 MW [Vivoli F. P., 1998].

Le fonti energetiche rinnovabili hanno inoltre un ruolo di grande importanza nelle politiche energetiche comunitarie, come è sottolineato dalle azioni suggerite nel Libro Bianco, sia europeo¹ che italiano², con le quali ci si propone di raggiungere entro il 2010 un raddoppio del contributo percentuale delle rinnovabili per il soddisfacimento del fabbisogno energetico [Manazza G., 1998]. Per l'Italia ciò equivale a raggiungere una produzione di circa 20,3 Mtep nel periodo 2008-2012) [Ministero dell'Ambiente, 6/1999] contro gli 11,7 Mtep prodotti nel 1997. Per raggiungere tale obiettivo, è opportuno dunque favorire il coinvolgimento delle Regioni e degli Enti Locali sia in progetti di utilizzazione delle fonti rinnovabili sia nella diffusione di informazioni volte a sviluppare una "cultura delle rinnovabili" [Ministero dell'Ambiente, 8/1999].

Questi obiettivi sono perseguiti da una grande quantità di documenti legislativi diretti ad ottenere la diminuzione dei gas serra e, in generale, il miglioramento della qualità dell'ambiente. Tra questi il più importante documento è il Protocollo di Kyoto che ha notevoli implicazioni sia a scala nazionale che a scala locale. Riguardo alla normativa nazionale, le leggi più interessanti sono le seguenti:

- Leggi n. 9 e 10 del 9 gennaio 1991;
- Delibera CIPE n. 37 del 28 dicembre 1993: Piano Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile in attuazione dell'Agenda XXI;

- Legge del 23 dicembre 1998 n. 448 Carbon Tax (finanziaria '99);

- Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n. 22 (Decreto Ronchi);

- Delibera CIPE n. 137 del 19 novembre 1998: Linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni di gas serra;

- Decreto Legislativo del 16 marzo 1999 n. 79, (*Decreto Bersani*).

Essi sono in linea con le ipotesi di sviluppo sostenibile, in quanto perseguono essenzialmente due obiettivi: la salvaguardia dell'ambiente e l'ottimizzazione dell'uso delle risorse, mediante la diffusione del risparmio energetico e la valorizzazione dei rifiuti come potenziale fonte di energia e di materie prime.

In particolare, la Delibera CIPE n. 37 del 1993 e la n. 137 del 1998 tracciano le linee guida e definiscono le strategie operative a scala nazionale e a scala locale per ottenere gli obiettivi dell'Agenda 21 e il target di riduzione delle emissioni fissato dal Protocollo di Kyoto. In questo ambito, la Carbon Tax introduce una tassazione sull'uso dei combustibili fossili penalizzando quelli a più alto contenuto di carbonio. Relativamente alla diffusione del risparmio energetico è importante ricordare le leggi 9 e 10 del 1991, che sono specificatamente rivolte al miglioramento dell'efficienza nella produzione dell'energia e all'ottimizzazione degli usi energetici nel Residenziale.

Il Decreto Ronchi recepisce le Direttive Comunitarie sullo smaltimento dei rifiuti, promuovendo il recupero energetico. Infine il Decreto Bersani è spe-

cificamente dedicato alla diffusione dell'uso delle fonti rinnovabili nella produzione di elettricità.

Lo studio effettuato si propone pertanto di evidenziare le implicazioni a scala urbana di tale quadro normativo, e di definire le azioni più efficaci a scala locale.

METODOLOGIA

Lo studio è stato sviluppato utilizzando la metodologia dell'ALEP (Advanced Local Energy and Environment Planning) sviluppata sotto l'egida dell'Agenda Internazionale dell'Energia (AIE) per l'analisi e l'ottimizzazione di sistemi energetici a scala locale. L'ALEP integra le problematiche energetiche con quelle ambientali e proponendo un processo di pianificazione:

a) guidato dalla domanda di beni e servizi;

b) con un approccio ottimizzante globale per tenere conto delle relazioni tra le diverse variabili, dei vincoli fisici, nel determinare la migliore allocazione delle risorse (materie prime, tecnologie, risorse energetiche e finanziarie);

c) deve essere basato sull'uso di modelli tecnologicamente ed energeticamente orientati, per tenere conto dell'evoluzione del mercato dell'offerta e per scegliere i processi produttivi che possono soddisfare la domanda degli usi finali con il minimo impatto ambientale. Una modellizzazione tecnologicamente orientata permette inoltre all'utente di descrivere le attività del sistema in termini di efficienza, di vita media, di disponibilità e svalutazione delle tecnologie, tenendo conto anche dei costi d'inve-

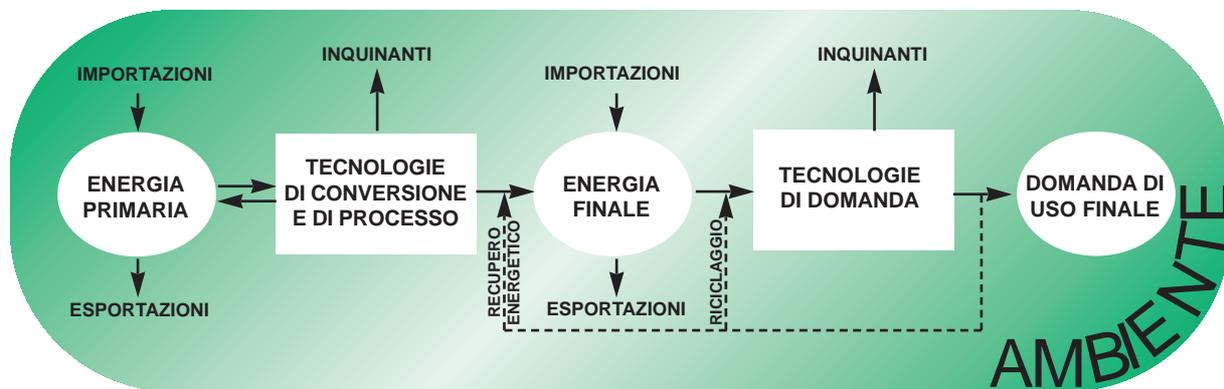


Figura 1: Schema della domanda e dell'offerta di energia

stimento, e di manutenzione e gestione. Questo approccio è particolarmente utile per valutare sia da un punto di vista ambientale che economico l'impatto delle attività antropiche;

d) con una struttura multiperiodale per tener conto della dinamicità del sistema e dell'evoluzione tecnologica. Inoltre la multiperiodalità permette all'utente di attivare processi, tecnologie e risorse nuove rispetto al set di base, e di eseguire l'analisi del sistema energetico su un orizzonte temporale superiore alla vita media delle tecnologie incluse nel modello e, inoltre, di valutare più accuratamente i tempi di ammortamento degli investimenti sostenuti per il rinnovamento tecnologico;

e) basato sull'analisi di sensibilità per poter analizzare la stabilità delle soluzioni al variare delle condizioni al contorno e dei vincoli imposti. Questa caratteristica è particolarmente importante per prevedere e valutare gli effetti di cambiamenti nella struttura della domanda di beni e servizi della disponibilità di risorse e dei vincoli ambientali.

Il modello MARKAL, utilizzato in questo lavoro, soddisfa

tutte le caratteristiche elencate e rappresenta lo strumento basilare per definire gli interventi di pianificazione ottimali e per verificare allo stesso tempo l'efficacia di strategie alternative.

Il MARKAL (MARket Allocation model) è un modello bottom-up basato sulle tecniche di programmazione lineare ed è attualmente il più utilizzato nei Paesi dell'OCSE ed in alcuni Paesi in Via di Sviluppo (PVS) nell'elaborazione di strategie di riduzione delle emissioni inquinanti in atmosfera. Esso rappresenta le attività antropiche dalle fonti primarie alla domanda riproducendo i flussi di energia e materiali e la rete di tecnologie.

In particolare ne è stata implementata la versione REGIONAL (R-MARKAL) per valutarne l'applicabilità alla scala locale.

La versione R-MARKAL permette l'ottimizzazione congiunta dei sistemi energetici "regionalizzati", caratterizzati da diverse condizioni al contorno (domanda e/o offerta di energia, tecnologie, ambito amministrativo, etc.) ma connessi da scambio di energia e materiali (fig. 2).

La "regionalizzazione" è, dunque, indipendente dalla scala territoriale considerata, e permette di modellizzare più accuratamente parti di un sistema, riproducendo dettagli a scala minore ed elaborando

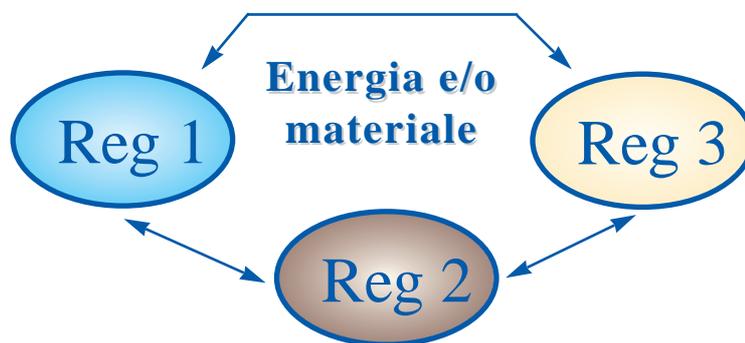


Figura 2: Schematizzazione del trading fra tre sistemi energetici e tecnologici differenti

soluzioni specifiche per ambiti territoriali più ristretti.

Il Regional MARKAL è stato sinora applicato solo a scala sovranazionale [ETSAP, 1999] per analizzare in maniera congiunta sistemi energetici nazionali (ad esempio per esaminare la possibilità di vendita di diritti di emissione e di scambi di energia).

In questo lavoro viene presentata un'applicazione alla scala locale in cui le "regioni" analizzate sono l'agglomerato urbano del capoluogo di regione della Basilicata, Potenza, ed un quartiere in forte espansione, Bucaletto, per il quale il Piano Regolatore Generale, il Piano Energetico Ambientale Comunale ed il Piano Particolareggiato hanno previsto la possibilità di effettuare sostanziali modifiche delle infrastrutture.

DESCRIZIONE DEL CASO CAMPIONE

La città di Potenza ha una popolazione residente di 65.714 unità [Censimento del 20 ottobre 1991].

Le caratteristiche morfologiche e climatiche sono abbastanza omogenee in tutto il territorio comunale, e non si riscontrano differenziazioni tipologiche e urbanistiche di rilievo, ad eccezione della distinzione tra periferia e centro storico, non essendovi aree a forte differenziazione produttiva, come aree industriali di particolare interesse o estensione.

Nell'ambito comunale, il quartiere di Bucaletto, nato in seguito all'emergenza terremoto del 23 novembre 1980 per accogliere le abitazioni provvisorie per i senzatetto, rappresenta tuttavia una zona a sé

	LEGNA	ELETTRICITÀ	METANO	GPL	GASOLIO	TOTALE KTEP/ANNO
RESIDENZIALE	0.422	4.409	10.285	1.612	0.567	17.295
Riscaldamento centr.	-	-	1.331	0.230	0.567	2.127
Riscaldamento indiv.	0.422	0.034	5.869	0.751	-	7.076
Acqua calda	-	0.734	1.619	0.324	-	2.677
Cottura	-	0.195	1.466	0.307	-	1.968
Refrigerazione	-	1.039	-	-	-	1.039
Lavabiancheria	-	0.447	-	-	-	0.447
Lavastoviglie	-	0.091	-	-	-	0.091
Illuminazione	-	0.604	-	-	-	0.604
Altri usi elettr.	-	0.948	-	-	-	0.948
Tot. Usi domestici	0.422	4.090	10.285	1.612	0.567	16.555
Servizi generali	-	0.319	-	-	-	0.319
TERZIARIO	-	4.642	7.984	0.657	0.283	13.565
Usi tecnologici	-	-	0.072	0.419	-	0.491
Usi termici	-	-	7.912	0.237	0.283	8.432
Usi elettrici	-	4.642	-	-	-	4.642
ILL. PUBBLICA	-	0.565	-	-	-	0.565
TOTALE	0.422	9.709	18.269	2.269	11.638	31.4

Tabella 1: Domanda di energia utile nella città di Potenza 1997 [ktep]

stante perché per esso è programmata una riqualificazione urbanistica in cui è prevista la realizzazione di 453 alloggi per circa 2000 abitanti, alcune strutture direzionali e commerciali, e attrezzature di vario tipo (sportive, religiose e scolastiche), di servizio alle residen-

ze [Università degli Studi della Basilicata, 1997].

Per caratterizzare preliminarmente gli usi energetici e le potenzialità di ciascun settore di domanda occorre stilare il bilancio energetico della città (Tabella 1). Per gli scopi dell'analisi oltre al bilancio ener-

	LEGNA	ELETTRICITÀ	METANO	GPL	GASOLIO	TOTALE KTEP/ANNO
RESIDENZIALE	0,013	0,132	0,309	0,048	0,057	0,559
Riscaldamento centr.	-	-	0,04	0,007	0,057	0,104
Riscaldamento indiv.	0,013	0,001	0,176	0,023	-	0,212
Acqua calda	-	0,022	0,049	0,010	-	0,080
Cottura	-	0,006	0,044	0,009	-	0,059
Refrigerazione	-	0,031	-	-	-	0,031
Lavabiancheria	-	0,013	-	-	-	0,013
Lavastoviglie	-	0,003	-	-	-	0,003
Illuminazione	-	0,018	-	-	-	0,018
Altri usi elettr.	-	0,028	-	-	-	0,028
Tot. Usi domestici	0,013	0,123	0,309	0,048	0,057	0,537
Servizi generali	-	0,010	-	-	-	0,010
TERZIARIO	-	0,179	0,064	0,0019	0,0023	0,247
Usi termici	-	-	0,064	0,0019	0,0023	0,069
Usi elettrici	-	0,167	-	-	-	0,167
ILL. PUBBLICA	-	0,020	-	-	-	0,02
TOTALE	0,013	0,331	0,373	0,050	0,059	0,826

Tabella 2: Stima del Bilancio di energia utile 1997 del quartiere Bucaletto [ktep]

getico è utile avere anche una stima dei consumi del quartiere di Bucaletto, in cui si prevede di inserire il teleriscaldamento, essi sono riportati in Tabella 2.

I consumi sono stati desunti dal PEAC (Piano Energetico Ambientale del Comune di Po-

tenza) e sono relativi all'anno 1997.

Per il quartiere di Bucaletto, il fabbisogno energetico, che rappresenta il 3% dei consumi della città, è stato stimato utilizzando, per il Residenziale, il numero di abitanti e i consumi specifici rilevati a scala urbana. Per il Terziario, invece, si è

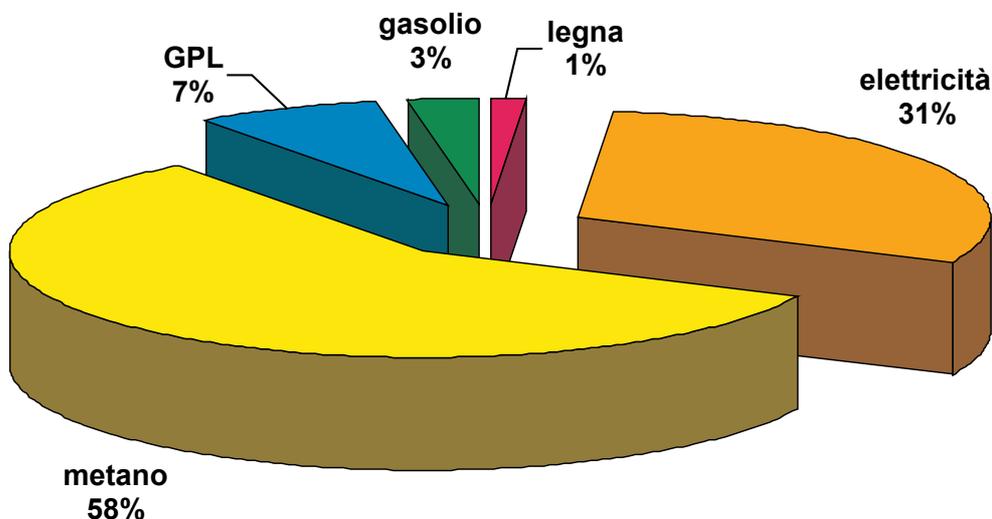


Figura 3: Rappresentazione delle percentuali dei vettori energetici utilizzati nel sistema energetico della città di Potenza [PEAC, 1997]

proceduto utilizzando come indice il rapporto tra i consumi di energia finale del Terziario e del Residenziale (dato PEAC), in quanto la numerosità degli abitanti non costituiva un'informazione utile.

Come evidenziato nel grafico (Figura 3) i combustibili maggiormente utilizzati sono meta-

no, elettricità, GPL. Il gasolio (che alimenta gli impianti di riscaldamento centralizzati), e la legna da ardere, hanno invece un'importanza minore.

Da un'analisi più dettagliata del bilancio energetico emerge che nel territorio comunale non ci sono impianti di produzione di energia, i vettori ener-

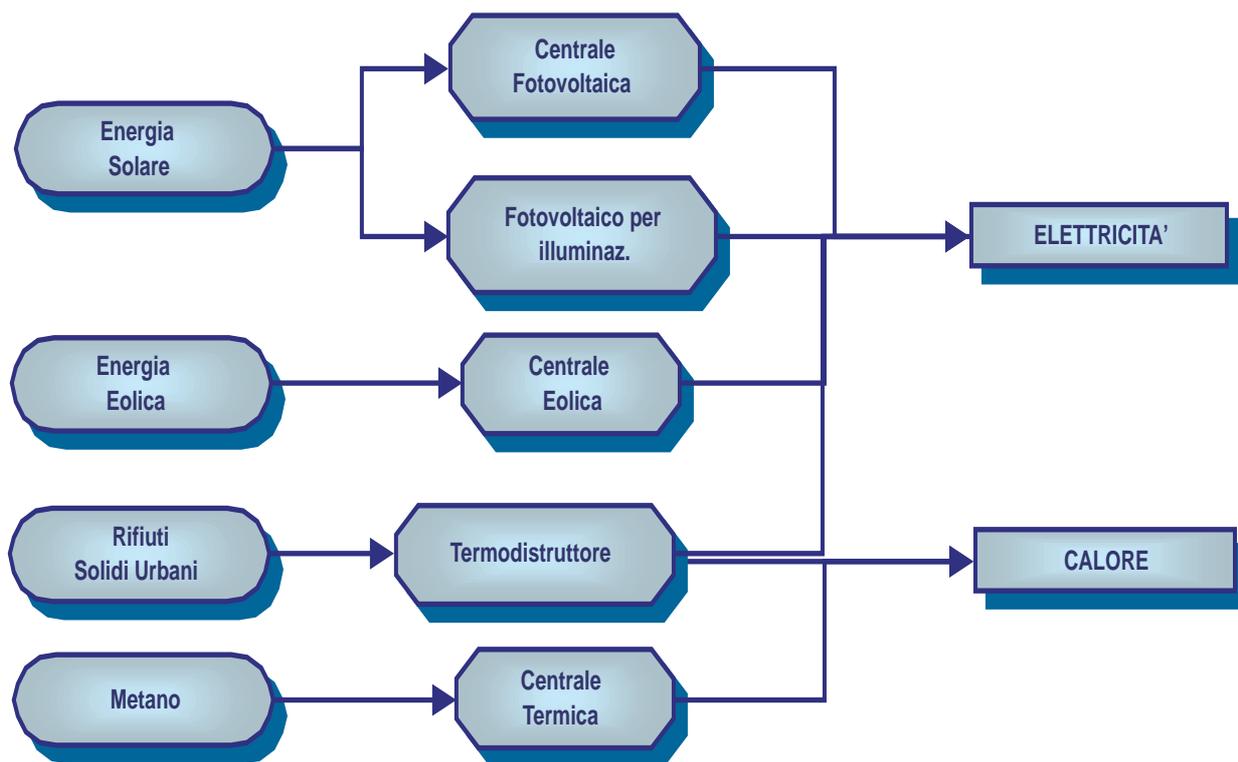


Figura 4: Vettori energetici che contribuiscono al sistema dell'offerta

getici utilizzati sono tutti di provenienza extra comunale. Per quanto riguarda le tecnologie attualmente utilizzate, vi è la presenza di impianti centralizzati a gasolio per il riscaldamento degli ambienti soprattutto nel Terziario e una prevalenza di caldaie autonome a metano combinate; gli impianti a GPL sono utilizzati prevalentemente nelle aree periferiche (case sparse).

I problemi che emergono sono dunque essenzialmente quelli di favorire un migliore utilizzo delle risorse e la produzione endogena di energia elettrica, nonché migliorare le caratteristiche e l'efficienza del parco tecnologico.

Tenendo conto delle indicazioni del PEAC e del Decreto Ronchi si è scelto pertanto di (Figura 4):

- utilizzare l'eolico, il fotovoltaico e l'incenerimento dei rifiuti per la produzione di energia elettrica,
- utilizzare l'energia solare per la produzione di calore a bassa temperatura
- utilizzare il termodistruttore come centrale termica di una

rete di teleriscaldamento da installare nel quartiere di Bucaletto.

Queste scelte costituiranno le ipotesi di lavoro dello scenario PEAC che sarà commentato più in dettaglio nel seguito.

APPLICAZIONE DEL MODELLO MARKAL AL CASO CAMPIONE

L'utilizzo del modello MARKAL per l'ottimizzazione del sistema energetico richiede la formulazione di alcune ipotesi di lavoro che permettono di estendere l'analisi a medio termine.

L'orizzonte temporale considerato è di 27 anni (1996-2023), suddiviso in nove periodi, ognuno di tre anni. L'anno base dello studio è il 1997, che rappresenta l'anno medio del primo periodo ed è quello cui si riferiscono i dati dei consumi. L'estensione temporale è stata definita per valutare l'effetto delle politiche di sostituzione tecnologica, scegliendo pertanto un intervallo di tempo confrontabile con la vita media dei dispositivi tecnologici presi in esame.

Si è ipotizzato inoltre di avere in tale periodo una domanda costante di beni e servizi. Tale ipotesi è giustificata dall'andamento demografico pressoché costante.

Per quanto riguarda l'attualizzazione dei costi, il tasso di sconto reale fissato è del 4%, e corrisponde al valore medio del tasso di sconto ufficiale.

Un'altra ipotesi di lavoro riguarda l'estensione della rete del metano a tutte le zone periferiche della città entro il 2002.

3.1 Reticolo Tecnologico di Riferimento

La definizione del Sistema Energetico di Riferimento (S.E.R.), che costituisce la base di dati per l'analisi del sistema di produzione di beni e servizi in relazione alle variazioni di parametri esogeni, richiede la visualizzazione dei flussi che intercorrono tra domanda di beni e servizi e offerta di energia e materie prime, mettendo in evidenza tecnologie in uso e quelle potenzialmente utilizzabili. Occorre definire pertanto un

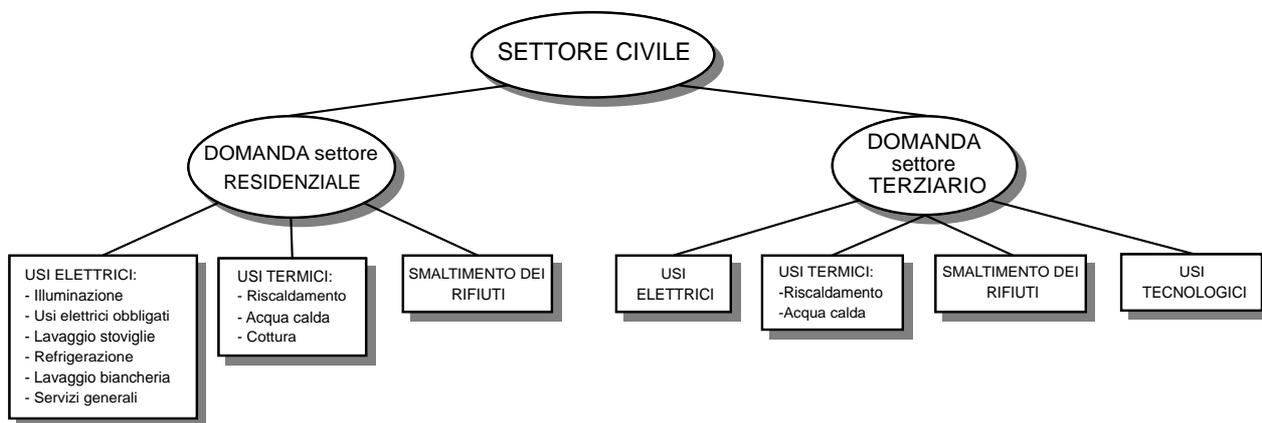


Figura 5: Segmenti di domanda del settore Civile

reticolo di base che riproduca la configurazione tecnologica del sistema ed il suo possibile sviluppo.

Essendo il modello MARKAL guidato dalla domanda di beni e servizi, il primo passo consiste nell'identificare i settori di domanda di maggiore interesse. Nel presente studio si è ritenuto pertanto utile disaggregare la domanda del settore Residenziale in usi termici, usi elettrici e smaltimento dei rifiuti, e quella del settore Terziario in usi termici, usi elettrici, usi tecnologici e smaltimento dei rifiuti. Per i settori più interessati in relazione all'applicazione delle fonti rinnovabili, i segmenti di domanda summenzionati sono stati ulteriormente disaggregati, come illustrato nella Figura 5. Nello sviluppo futuro del reticolo tecnologico di base è previsto un miglioramento implicito dell'efficienza delle apparecchiature elettriche. Inoltre, sono previsti interventi di coibentazione del parco edilizio, ai sensi della legge 10/91, e la possibilità di utilizzare caldaie ad alta efficienza (Figura 6).

Inoltre, in attuazione del Decreto Ronchi e del Piano Regionale di Smaltimento dei Rifiuti, è previsto il funzionamento del termodistruttore situato in contrada Betlemme, con il recupero di energia elettrica e di calore.

Per quanto riguarda gli elettrodomestici, è stata fatta l'ipotesi di un aumento graduale dell'efficienza dovuto al turn-over tecnologico. Pertanto nel reticolo di riferimento non vi sono dispositivi in competizione, ma un'unica tecnologia per ciascun elettrodomestico (lavastoviglie, lavabiancheria e frigoriferi) con caratteristiche tecnico-economiche che seguono lo sviluppo tecnologico. Inoltre, per riprodurre la situazione attuale e le tendenze del mercato impianti-

stico, nell'edilizia già esistente si è assunta una disponibilità delle caldaie centralizzate pari a quella attuale, escludendo così la possibilità di nuovi investimenti in impianti centralizzati.

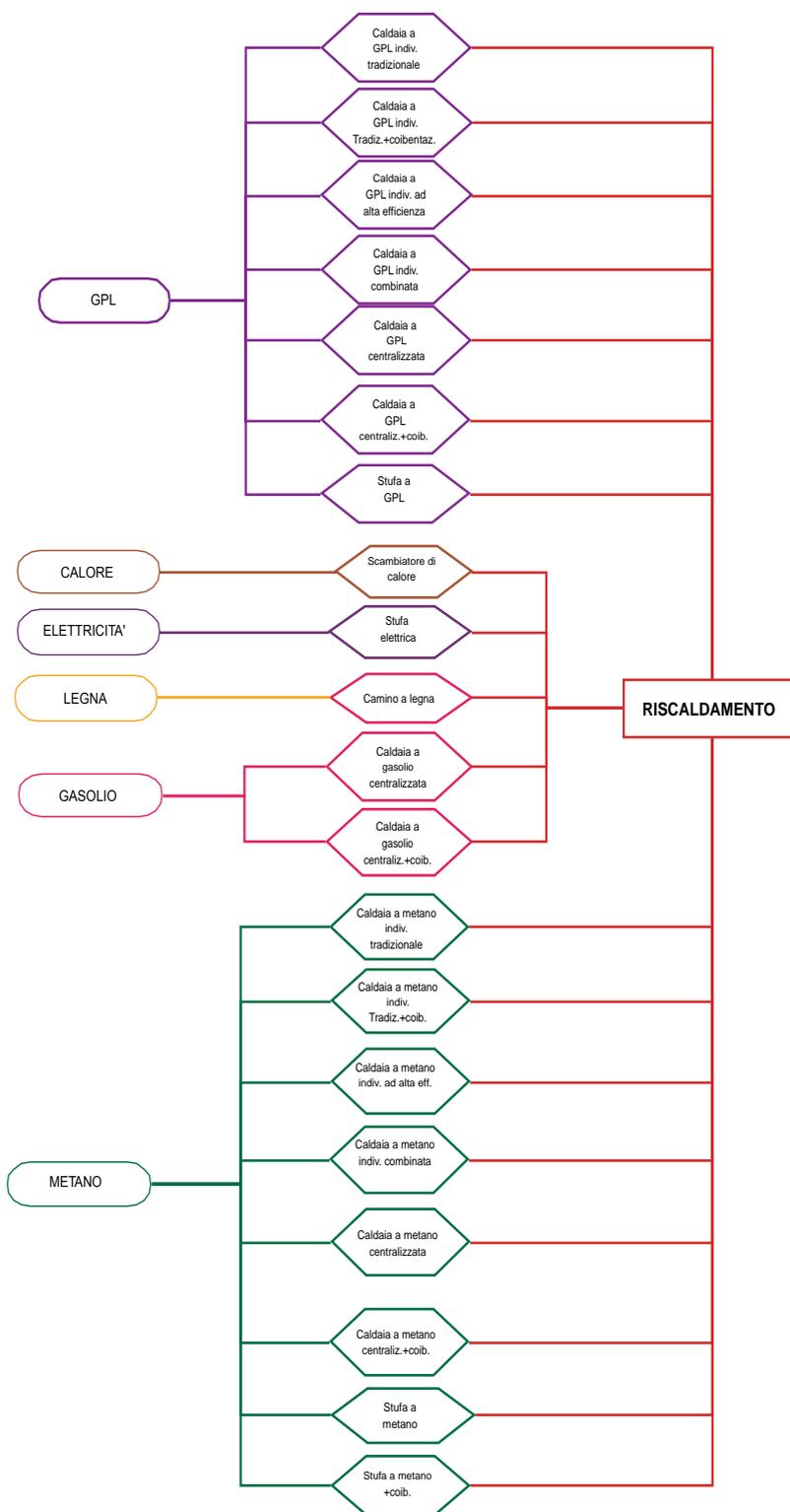


Figura 6 Reticolo tecnologico relativo alla domanda di Riscaldamento

3.2 Ipotesi di scenario

Le ipotesi di lavoro e gli eventuali vincoli esogeni aggiuntivi (come ad esempio limiti sulle emissioni, disponibilità futura di fonti e tecnologie, etc.) definiscono i possibili scenari di sviluppo del sistema energetico analizzato, in relazione anche agli obiettivi dello studio.

È importante, definire preliminarmente uno scenario di riferimento rispetto al quale operare le successive variazioni che serve sia a valutare l'andamento naturale del sistema sia a fornire una base di confronto per le soluzioni fornite dal modello per gli scenari alternativi.

Gli scenari approntati nel caso studio sono dunque due (Tabella 3):

- *Scenario di Riferimento* (Business as Usual- BAU): rappresenta l'ottimizzazione dell'attuale reticolo, tenendo conto dell'evoluzione tecnologica, in esso l'incenerimento dei rifiuti viene sfruttato per il recupero di energia elettrica, ma non di calore.

- *Scenario di attuazione del PEAC* (Piano Energetico Ambientale Comunale- PEAC), in

cui si applicano le ipotesi di sviluppo suggerite dal Piano Energetico Ambientale Comunale, introducendo le fonti rinnovabili nel sistema dell'offerta e le relative tecnologie di utilizzo. In particolare due diversi tipi di centrali (eolica, fotovoltaica) generano l'energia elettrica necessaria a soddisfare il fabbisogno della città. In questo scenario il termidistruttore, insieme all'elettricità, fornisce anche calore che viene utilizzato per alimentare la rete di teleriscaldamento per il quartiere di Bucaletto. Le tecnologie summenzionate hanno una capacità totale in grado di soddisfare circa il 60% del fabbisogno di energia elettrica (19% la centrale fotovoltaica, 0,2% il fotovoltaico per l'illuminazione pubblica, 35% l'eolico, 6% l'energia recuperata dall'incenerimento dei rifiuti). In entrambi gli scenari non sono presenti vincoli ambientali, pertanto l'ottimizzazione del sistema energetico è condotta in base alla sola minimizzazione dei costi.

Ciò in particolare permette di valutare la convenienza econo-

mica dell'utilizzo delle fonti rinnovabili ed i tempi di ammortamento degli investimenti.

RISULTATI

L'ottimizzazione dello scenario di riferimento BAU evidenzia che, a partire dal secondo periodo di tempo (anno 2002), il mix delle fonti cambia rispetto a quanto definito nel bilancio energetico (Figura 7), la maggiore efficienza delle tecnologie permette inoltre di conseguire un risparmio energetico del 20%.

In particolare nel sistema ottimizzato relativamente alla produzione di energia elettrica, vi è un contributo dell'inceneritore del 6%, mentre complessivamente il consumo di energia elettrica diminuisce del 15% grazie alla presenza di elettrodomestici (lavatrici, lavastoviglie, frigoriferi) e lampadine ad alta efficienza. Per i combustibili fossili si rileva, già nel secondo periodo di tempo una riduzione dei consumi di GPL dell'86% mentre il gasolio esce completamente dal sistema, l'uso del metano aumenta, invece, del 6%.

Ciò si riflette nella scelta delle tecnologie con la prevalenza dell'utilizzo delle caldaie autonome a metano associate ad interventi di coibentazione (95%), in grado di fornire in modo combinato energia termica per riscaldamento e produzione di acqua calda. Tali caldaie sostituiscono dal 2002 tutti gli altri sistemi di riscaldamento dell'intera abitazione, rimanendo costante l'utilizzo dei dispositivi singoli quali le stufe ed i camini a legna (5%) che ne integrano il servizio (Figura 8). Pertanto ad eccezio-

ACRONIMO	SCENARIO	FONTE RINNOVABILI	TECNOLOGIE DI CONVERSIONE	VINCOLI AMBIENTALI
BAU	Scenario di base	No	Centrale termoelettrica fittizia	No
			Inceneritore (recupero di energia elettrica)	
PEAC	Scenario di attuazione del PEAC	Si	Centrale termoelettrica fittizia	No
			Inceneritore (recupero di energia elettrica e calore)	
			Centrale eolica	
			Fotovoltaico sparso	
			Centrale fotovoltaica per illuminazione pubblica	

Tabella 3: Riepilogo degli scenari in analisi

ne di una piccola quota di combustibili solidi, il sistema energetico, per quel che riguarda il riscaldamento degli ambienti, si presenta monocombustibile.

L'utilizzo delle caldaie combinate influenza ovviamente anche l'assetto tecnologico del settore produzione di acqua calda per usi igienico-sanitari, in quanto tali dispositivi sono in grado di soddisfare entrambi i segmenti di domanda.

Le caldaie a metano combinate prevalgono, pertanto sulle altre tecnologie del reticolo con una percentuale media del 99% come mostrato nel grafico di Figura 9, in particolare, esse sostituiscono gli scaldacqua elettrici e le caldaie a GPL.

Per lo scenario PEAC, scenario di attuazione del Piano Energetico Ambientale Comunale di Potenza (1997), si evidenzia un'ulteriore riduzione dei consumi del 2% rispetto allo scenario BAU e una diminuzione del 2% del costo totale del sistema energetico (1432 miliardi di lire nello scenario BAU e 1403 in PEAC). Questo risultato è particolarmente importante perché evidenzia come le tecnologie che utilizzano le fonti rinnovabili siano "no regret technologies" ossia sono scelte dal modello senza vincoli ambientali aggiuntivi perché economicamente convenienti a medio termine. Pertanto gli investimenti necessari per attivarle sono ammortizzati sull'orizzonte temporale esaminato dal risparmio di combustibile fossile conseguibile.

Relativamente alla produzione di energia elettrica (Figura 10) il modello, prevede l'uso della centrale eolica, installabile al massimo della capacità (32%),

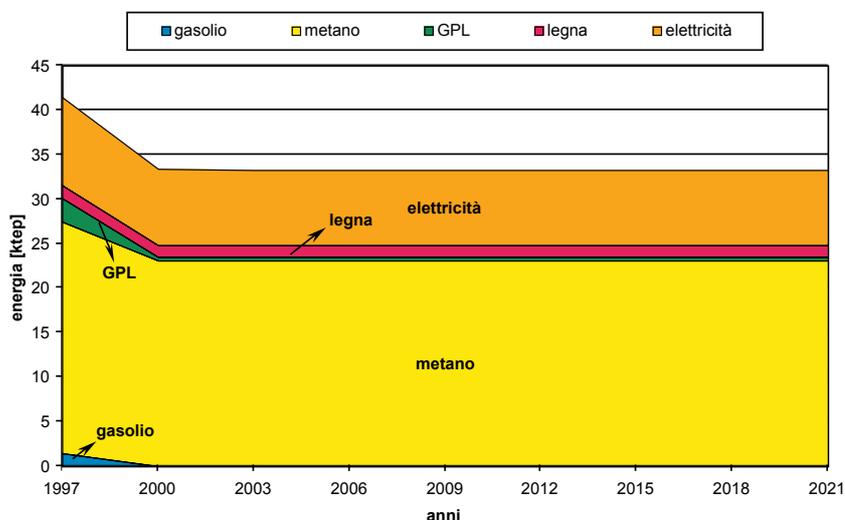


Figura 7: Mix delle fonti - Scenario BAU

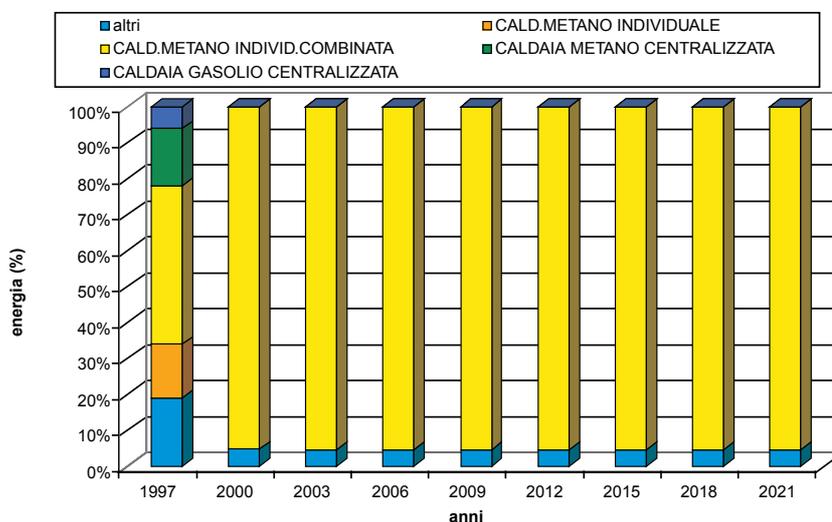


Figura 8: Mix tecnologico ottimale per la domanda di riscaldamento

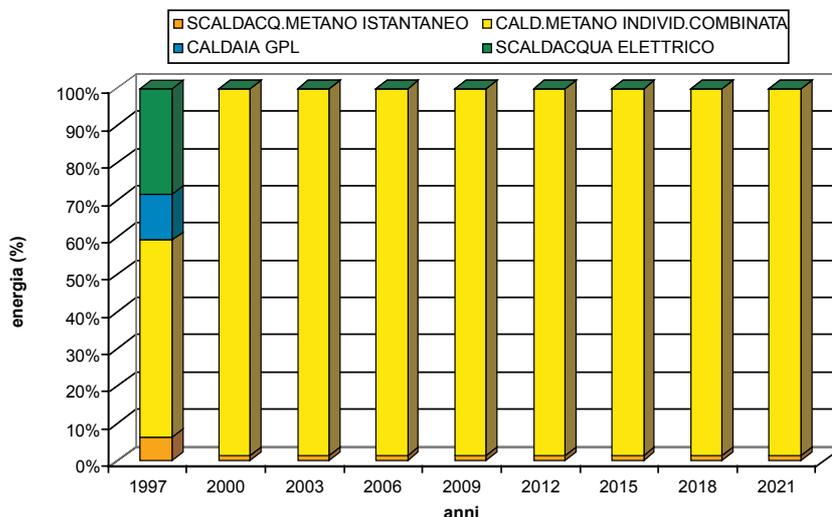


Figura 9: Mix tecnologico per la domanda di acqua calda

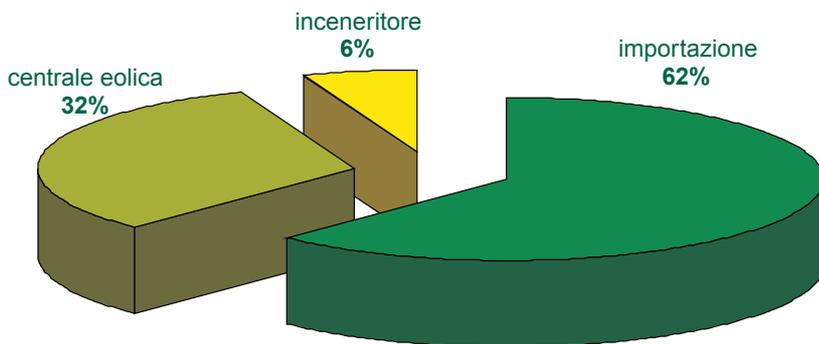


Figura 10: Contributi delle centrali al soddisfacimento della domanda di elettricità

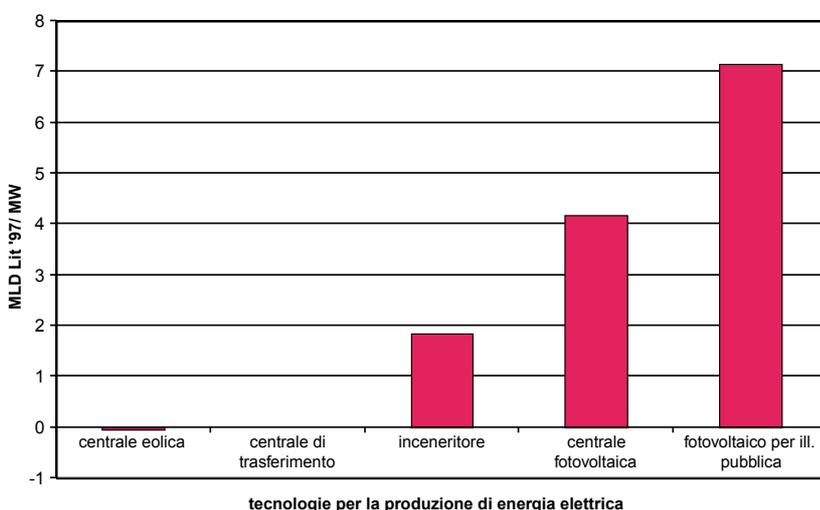


Figura 11: Costi ridotti totali delle centrali di produzione di energia elettrica

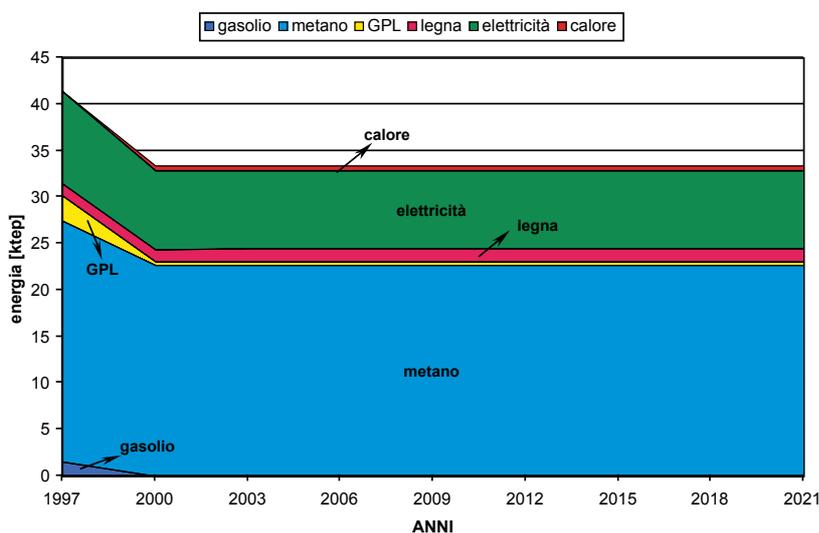


Figura 12: Ripartizione dell'energia utile consumata per lo scenario PEAC

riducendo dunque l'importazione dal 94% al 62%, non vengono invece attivate le centrali fotovoltaiche perché richiedono un investimento troppo elevato.

Tale scelta è evidenziata dall'analisi dei costi ridotti presentati nella Figura 11, in cui si nota che la centrale eolica complessivamente ha un costo ridotto negativo (in realtà ha un costo ridotto d'investimento positivo compensato da un costo ridotto negativo di gestione), l'importazione (rappresentata modellisticamente da una centrale termoelettrica fittizia) ha un costo ridotto nullo mentre l'inceneritore e le centrali fotovoltaiche hanno invece costi ridotti positivi. L'inceneritore, come già detto, contribuisce comunque alla produzione di energia elettrica in quanto il suo utilizzo prescinde dalle scelte del modello essendo vincolato dalle modalità di smaltimento dei rifiuti.

I risultati del modello evidenziano un risparmio di combustibili fossili complessivo pari al 21% dovuto come nel precedente scenario all'aumento dell'efficienza ed alla coibentazione ed inoltre all'utilizzo delle fonti rinnovabili.

Per quanto riguarda il mix delle fonti mostrato nel grafico di Figura 12, tra i vettori energetici prescelti vi è il calore prodotto in cogenerazione dall'inceneritore, che alimenta la rete di teleriscaldamento del quartiere di Bucalotto e contribuisce per l'1,4% al soddisfacimento della domanda. Inoltre anche nello scenario PEAC, si evidenzia la progressiva sostituzione del gasolio con il metano, una riduzione dell'86% dell'uso del GPL, e una diminuzione del 15% del consumo di elettricità,

mentre il consumo dei combustibili solidi (legna e carbone) è pressoché costante (circa il 4% del totale).

Per quanto riguarda la scelta delle tecnologie, a partire dal secondo periodo, il modello privilegia sia nel Residenziale sia nel Terziario per l'edilizia preesistente l'uso delle caldaie autonome a metano associate ad interventi di coibentazione mentre gli scambiatori di calore (associati al teleriscaldamento) sono utilizzati negli insediamenti di nuova costruzione (Bucalietto) Figura 13.

La scelta del teleriscaldamento è pilotata dalla presenza dell'inceneritore, che funge da centrale termica il cui utilizzo è previsto, come si è visto, a prescindere dalla convenienza economica. In tal caso, infatti, i costi d'installazione della rete sono mitigati con la fornitura di energia termica a basso costo, e, complessivamente tale tecnologia diviene marginale. Ciò è più evidente se si analizzano i costi ridotti delle tecnologie per il riscaldamento degli ambienti: il teleriscaldamento ha un costo ridotto d'investimento positivo che è compensato dal costo ridotto di gestione negativo, la caldaia a metano ha un costo ridotto d'investimento positivo ma molto basso e costi ridotti di gestione nulli, tutti gli altri dispositivi hanno entrambe le componenti del costo ridotto positive (Figura 14).

Anche nella produzione di acqua calda per usi igienico-sanitari, vi è un contributo degli scambiatori di calore negli insediamenti di nuova costruzione (3% dell'intera domanda) e, per quanto detto in precedenza, vi è la prevalenza delle caldaie a metano,

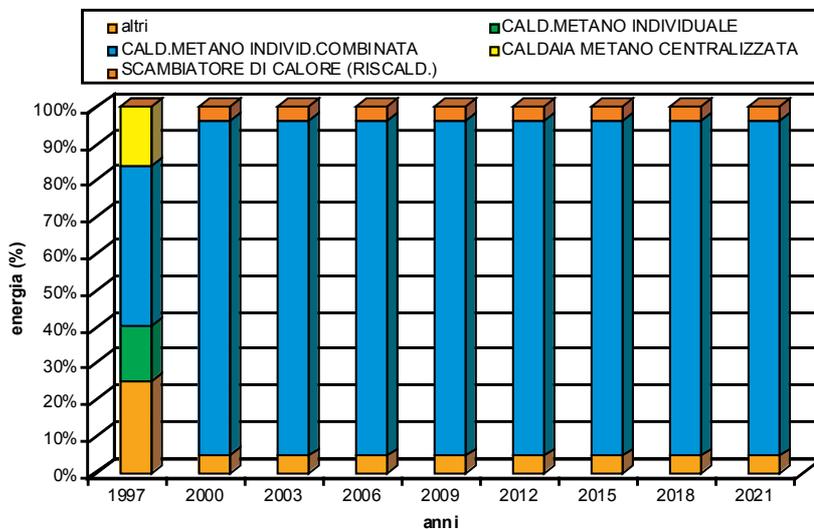


Figura 13: Mix delle tecnologie maggiormente utilizzate per il riscaldamento degli ambienti

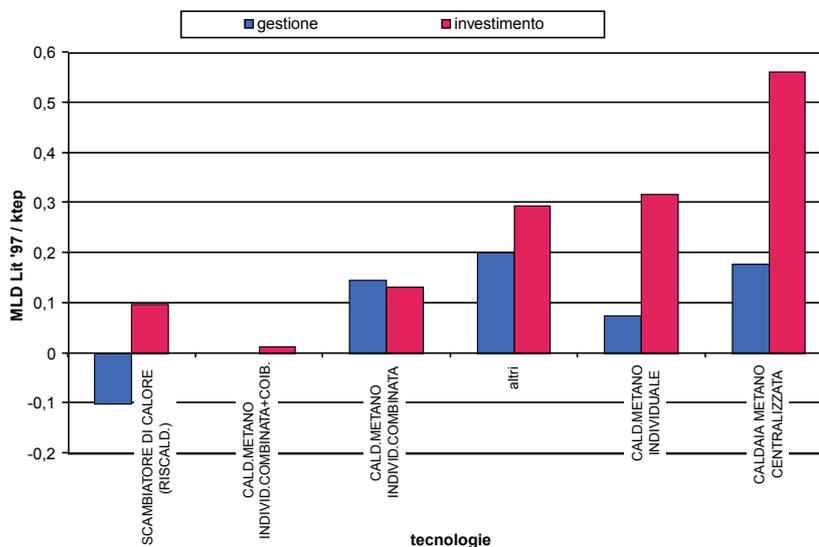


Figura 14: Costi ridotti delle tecnologie per il riscaldamento nello scenario PEAC

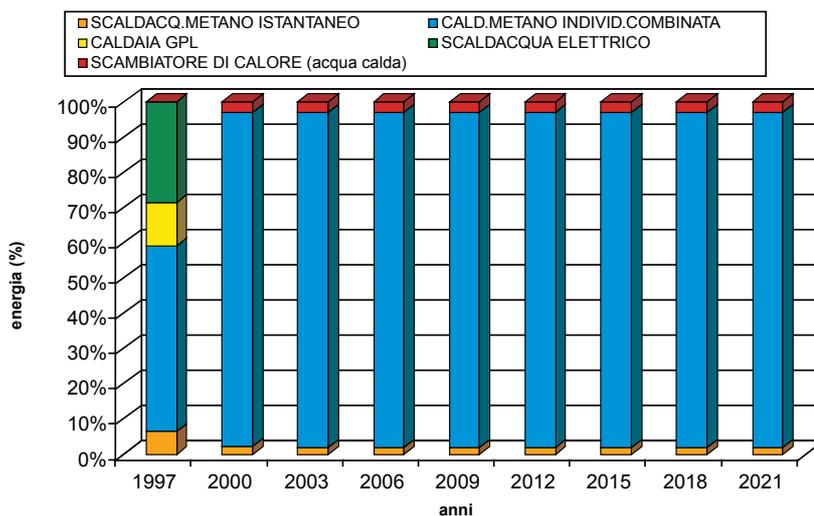


Figura 15: Mix tecnologico per la domanda di acqua calda

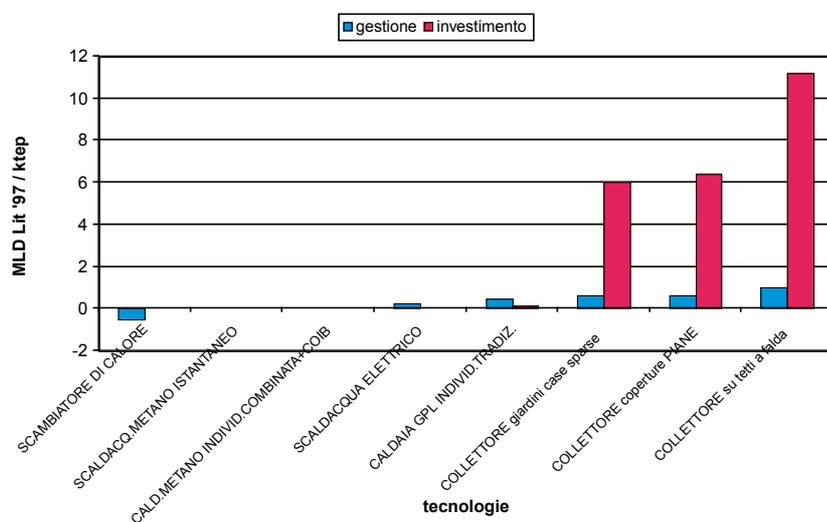


Figura 16: Costi ridotti delle tecnologie per la produzione di acqua calda

SCENARIO BAU			
<i>Inquinanti</i>	<i>Stima [kton] 1997</i>	<i>Media [kton] (2000-2012)</i>	<i>Percentuale di riduzione</i>
CO	162.7	167.5	+3%
NO _x	171.7	171.5	-0.1%
SO ₂	116.6	103.8	-11%
TSP	13.84	14.7	+6%
CO ₂	165.1	133.1	-19%
CH ₄	2266	1076.2	-53%

SCENARIO PEAC			
<i>Inquinanti</i>	<i>Stima [kton] 1997</i>	<i>Media [kton] (2000-2012)</i>	<i>Percentuale di riduzione</i>
CO	162.7	163.0	+0.1%
NO _x	171.7	132.2	-23%
SO ₂	116.6	71.1	-39%
TSP	13.84	13.5	-3%
CO ₂	165.1	107.2	-35%
CH ₄	2266	1076.2	-53%

Tabella 4: Riepilogo emissioni inquinanti per scenario

istantanea e combinata, che rappresentano le tecnologie marginali (Figura 15), con una percentuale rispettivamente del 2% e del 95% (che sostituiscono gli scaldabagni e le caldaie a GPL) nel parco edilizio preesistente.

Inoltre, anche in questo settore di domanda, i costi ridotti seguono l'andamento discusso in precedenza. In particolare i collettori solari hanno un costo ridotto d'investimento notevolmente più alto delle caldaie a GPL, la tecnologia immediatamente precedente ha un costo ridotto tre volte più alto.

Analisi delle emissioni

Passando all'analisi delle ricadute ambientali, il quantitativo totale di inquinanti emessi nelle varie ipotesi di sviluppo del sistema energetico è stimato dal modello MARKAL a partire dai coefficienti di emissione medi delle diverse tecnologie e dal consumo di combustibile.

In relazione alla già evidenziata diminuzione dei consumi, si può notare una diminuzione delle emissioni degli inquinanti tipici da combustione (SO₂, NO_x, TSP, CO, CO₂).

Tra i valori delle emissioni del primo anno e la media sull'intero orizzonte temporale si evidenzia una differenza dovuta essenzialmente alle diverse modalità di smaltimento dei rifiuti: in particolare la discarica viene affiancata dalla stabilizzazione aerobica e dall'inceneritore e raccoglie solo gli inerti ed i residui degli altri sistemi di smaltimento, perciò le emissioni tipiche dei processi di degradazione organica (essenzialmente CH₄ e CO₂) vengono sostituite dalle emissioni da combustione dell'ince-

neritore (CO, CO₂, NO_x, SO₂, TSP).

Il monossido di carbonio (CO) subisce nello scenario BAU un aumento del 3% dovuto al maggiore contributo delle tecnologie a metano, non compensato dalla riduzione del contributo delle tecnologie a gasolio e a GPL, all'attivazione dell'inceneritore ed al risparmio di energia elettrica proveniente dalle centrali termoelettriche delle regioni limitrofe.

Per lo scenario PEAC il contributo dell'eolico alla produzione di elettricità determina una diminuzione del 49% delle emissioni di CO da termoelettrico (centrale fittizia).

Per gli ossidi di azoto (NO_x) si registra nello scenario BAU una riduzione complessiva dello 0,1%: ciò è dovuto sostanzialmente al contributo dato dall'attivazione dell'inceneritore che attenua l'apporto alla riduzione delle emissioni derivanti dalla diminuzione dei consumi di energia elettrica e dall'uso delle tecnologie a metano.

Nello scenario PEAC si ha invece una riduzione delle emissioni di NO_x del 23% determinata dalla riduzione nel settore di produzione dell'energia elettrica (-49%) legata oltre che al contributo dell'inceneritore, soprattutto a quello della centrale eolica.

Per quanto riguarda l'SO₂ si verifica una riduzione totale dell'11% dovuta soprattutto alla diminuzione dei consumi di energia elettrica ed al nuovo assetto tecnologico.

Nello scenario PEAC la riduzione ottenuta è maggiore (pari al 39%) grazie all'utilizzo delle fonti rinnovabili, in particolare l'energia eolica, che contribuisce al dimezzamento delle

emissioni provenienti dalla produzione di elettricità.

Il particolato sospeso (TSP) aumenta del 6% in quanto la riduzione nel settore della produzione di energia elettrica (-20%) non riesce a compensare l'aumento registrato nel settore di smaltimento dei rifiuti causato dall'attivazione dell'inceneritore.

Invece nello scenario PEAC i TSP si riducono del 3% in seguito all'uso delle fonti rinnovabili nella produzione dell'energia elettrica (-49%).

Analizzando nel dettaglio le emissioni di gas serra (CO₂ e CH₄) si rileva una forte riduzione per la CO₂ (19% per BAU, 35% per PEAC) rispetto ai valori dell'anno base (1997).

Per lo scenario BAU si ha relativamente alla CO₂ una riduzione del 19% a cui contribuiscono la sostituzione delle tecnologie a metano, la riduzione delle tecnologie a GPL (-86%), e la diminuzione dei consumi elettrici (-20%). Per il CH₄ originato dalla discarica si ha una diminuzione del 53% grazie alla sostituzione della discarica con altri sistemi di smaltimento.

Nello scenario PEAC la percentuale di abbattimento della CO₂ è pari al 35%. Il contributo maggiore deriva dalla diversificazione della produzione di elettricità (-49%) e dall'uso prevalente di tecnologie a metano. Il sistema di smaltimento dei rifiuti invece, con la presenza dell'inceneritore e dell'impianto di stabilizzazione aerobica produce complessivamente più emissioni della sola discarica, anche se occorre notare che una parte di esse viene compensata dal risparmio di combustibile fossile per il termoelettrico.

Inoltre le caldaie a gasolio e a GPL sono completamente sostituite da quelle a metano e dal teleriscaldamento, per cui il loro contributo diminuisce dell'86%.

APPLICAZIONE DELL'R-MARKAL AI DISTRETTI DI POTENZA E BUCALETTO

L'utilizzo della versione R-MARKAL consente di effettuare un'ottimizzazione congiunta di Bucaletto e della rimanente parte della città di Potenza, mettendo in evidenza le soluzioni specifiche per il quartiere. Nel database del modello sono state quindi separate le due "regioni" in base alla scelta delle tecnologie ed ai consumi, schematizzando cioè la città di Potenza ed il quartiere di Bucaletto come due sistemi energetici distinti connessi però da flussi di elettricità e calore (Figura 17).

Tali flussi hanno una direzione privilegiata (da Potenza verso Bucaletto), essendo stato ipotizzato che le centrali di conversione dell'energia, sia elettrica che termica, siano localizzate a Potenza, e che Bucaletto ne usufruisca.

Questo nuovo approccio fornisce la possibilità di effettuare un'ottimizzazione energetica congiunta dei due sistemi permettendo di valutare i benefici conseguibili con la scelta di tecnologie diverse sia in relazione al solo quartiere di Bucaletto che rispetto al territorio urbano.

Dal punto di vista della pianificazione territoriale tale applicazione permette di distinguere aree con caratteristiche differenti e valutare i feed-back delle strategie di pianificazione

TRADE

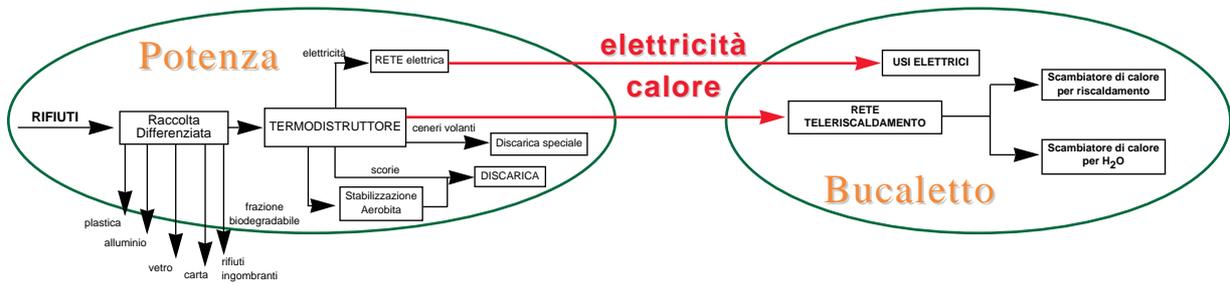


Figura 17: Rappresentazione dei flussi scambiati tra le due regioni: Potenza e Bucaletto

energetico- ambientale in funzione delle peculiarità delle diverse aree.

L'ottimizzazione congiunta dei distretti di Potenza e Bucaletto produce essenzialmente dei risultati molto simili a quelli ottenuti per lo scenario PEAC, essendo stato utilizzato lo stesso reticolo tecnologico sia pure suddiviso tra le due "regioni" in funzione delle loro peculiarità.

La separazione tra i sistemi energetici di Potenza e Bucaletto permette però di distinguere i risultati relativi a ciascuna regione e confrontarli con quelli derivanti dall'ottimizzazione di tutto il sistema: ciò è utile per individuare soluzioni specifiche per il quartiere di Bucaletto. Per quanto riguarda Bucaletto, i consumi di rilievo sia per l'applicazione dell'R-MARKAL sia

per l'utilizzazione di tecnologie innovative sono il calore e l'energia elettrica. Il calore prodotto dall'inceneritore di Potenza è tutto esportato e alimenta la rete di teleriscaldamento, per quanto riguarda l'energia elettrica, Bucaletto è totalmente dipendente dall'importazione (dalla regione PZ2), infatti, pur avendo al suo interno la possibilità di produrre energia attraverso l'uso dei

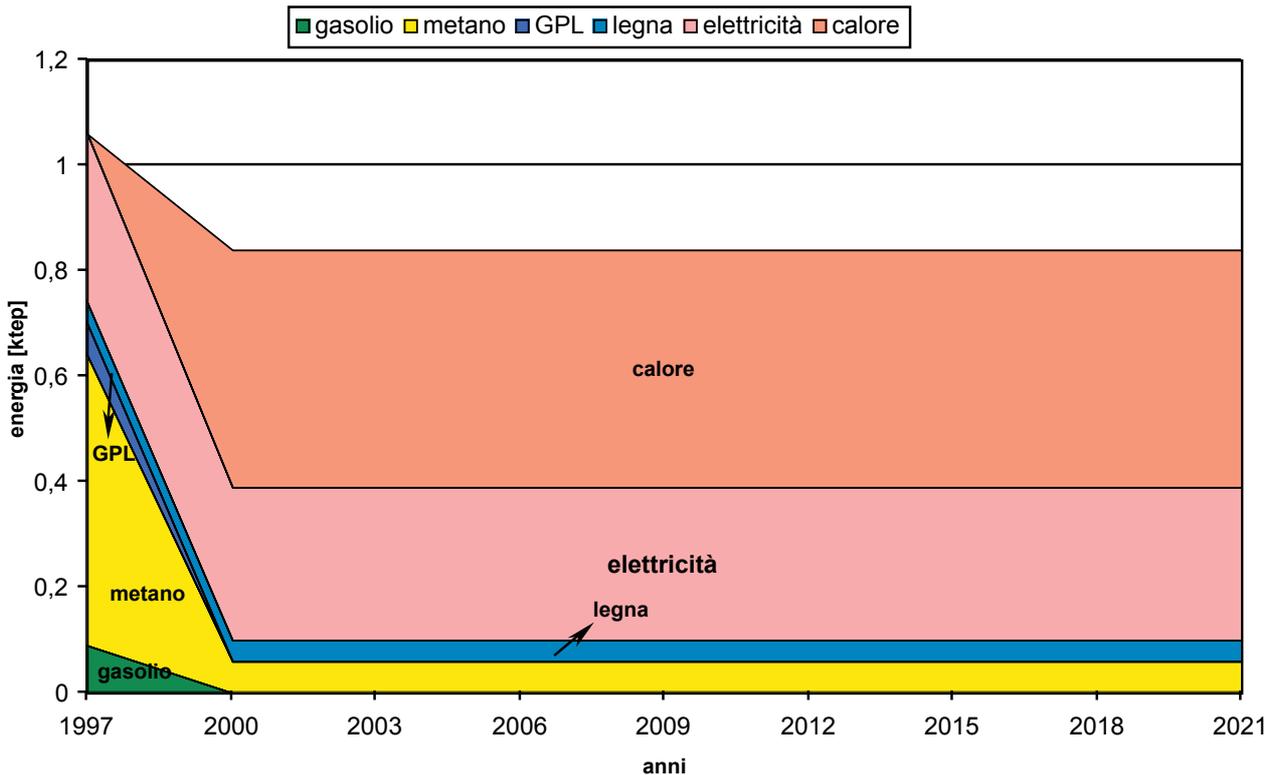


Figura 18: Mix delle fonti energetiche di Bucaletto

sistemi fotovoltaici necessaria per l'illuminazione pubblica non utilizza tale tecnologia che non risulta essere conveniente a causa degli elevati costi d'investimento.

Il grafico relativo al mix delle fonti energetiche (Figura 18) evidenzia la preponderanza dell'uso del calore proveniente dall'inceneritore, la riduzione dell'uso dell'elettricità (9%), la sostituzione del gasolio e del metano con il calore di distretto nel riscaldamento degli ambienti, (rimane una piccola quota di metano per la cucina), e la stabilità dei consumi di GPL, prevalentemente utilizzato dal Terziario per usi tecnologici.

Infatti l'utilizzo del teleriscaldamento esclude automaticamente l'uso del metano per il riscaldamento e, di conseguenza per la produzione di acqua calda.

Per quanto riguarda la scelta delle tecnologie, Bucaletto soddisfa, infatti, tutta la domanda per il riscaldamento degli ambienti e la produzione dell'acqua calda del settore Residenziale e Terziario con il teleriscaldamento. Pertanto gli scambiatori, che rappresentano le tecnologie d'uso finale ad esso collegate, hanno una percentuale d'uso pari all'85%.

Il calore prodotto dall'inceneritore (3,3 ktep/anno) è sufficiente però a soddisfare una domanda di usi termici superiore a quella del solo quartiere di Bucaletto, che sfrutta solo il 14% della potenzialità dell'impianto di teleriscaldamento: è quindi opportuno prevedere in futuro l'estensione della rete ad altre zone limitrofe d'interesse.

Per quanto riguarda l'analisi economica, confrontando il costo totale ottenuto per lo

scenario PEAC e la somma dei costi ottenuti per i due distretti Potenza e Bucaletto si evidenzia un aumento del 3% (rispettivamente 1406 Mld di lire per PEAC e 1447 Mld di lire per Potenza+Bucaletto).

Ciò è coerente con la logica del modello, che ottimizza le due regioni separatamente, con la necessità di ottemperare quindi ad ulteriori vincoli endogeni che comportano l'aumento del costo totale del sistema costituito dall'unione delle regioni (il profitto, soluzione del problema duale, deve infatti essere distribuito tra le due regioni, tenendo conto delle diverse attività svolte in ciascuna di esse).

Tale risultato evidenzia dunque una caratteristica del modello R- MARKAL che ne consente interessanti applicazioni a scala locale nella determinazione di strategie tariffarie in grado di promuovere l'innovazione tecnologica. Infatti, il confronto tra i risultati ottenuti ottimizzando il sistema energetico come un insieme indivisibile e quelli derivanti dalla regionalizzazione delle diverse aree (secondo criteri basati, come nell'esempio mostrato, sulla ripartizione in quartieri oppure su altri criteri di omogeneità) consente di determinare in termini di costi aggiuntivi l'impatto delle diverse scelte.

L'introduzione di vincoli ambientali fa prevedere inoltre ulteriori sviluppi di tale applicazione nella valutazione della soglia di marginalità di tecnologie scarsamente competitive come i collettori solari o le centrali fotovoltaiche. In tal caso infatti, sarà possibile esaminare la possibilità di differenziare le tariffe dei servizi e

gli incentivi economici in relazione alla vocazione delle diverse aree ed alla possibilità di usufruire o meno dei benefici derivanti da scelte tecnologiche ed infrastrutturali alternative.

CONCLUSIONI

Per quanto riguarda le questioni strettamente modellistiche l'applicazione del modello Regional MARKAL ha evidenziato interessanti possibilità di utilizzo anche nella pianificazione energetica a scala locale. Infatti, oltre a fornire un livello di dettaglio maggiore per le soluzioni relative a ciascuna regione analizzata, mette anche in evidenza le differenze in termini di costo. Infatti l'ottimizzazione congiunta delle "regioni" Potenza e Bucaletto, a parità di mix delle fonti e di distribuzione delle tecnologie di domanda ha evidenziato la presenza di vincoli endogeni derivanti dalla separazione modellistica delle due regioni, prospettando la possibilità di utilizzare vantaggiosamente le informazioni ottenibili da un confronto dei due casi nelle definizioni di strategie tariffarie differenziate per quartiere, per vocazione produttiva, o altre caratteristiche (presenza di impianti con un maggiore impatto ambientale, etc.). Tale peculiarità modellistica sarà dunque pienamente sfruttabile nell'analisi di scenari con vincoli ambientali, in cui la determinazione dei costi ambientali e del loro carico sull'utente costituisce un obiettivo fondamentale.

Per quanto riguarda gli aspetti applicativi, occorre notare che le soluzioni identificate dal modello sono state ottenute

ottimizzando scenari che non comprendevano vincoli ambientali, pertanto la scelta è basata soltanto sulla minimizzazione dei costi. La caratterizzazione energetico-tecnologica del sistema ottimizzato pertanto evidenzia i cambiamenti che consentono di minimizzare i costi dell'energia ed il positivo impatto ambientale indotto da un migliore utilizzo delle risorse. Dai risultati ottenuti emerge che l'innovazione tecnologica è fondamentale per conseguire una diminuzione dei consumi che induce una diminuzione della pressione ambientale delle attività antropiche. Per quanto riguarda poi l'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili l'attivazione della centrale eolica è un risultato di grande interesse che dimostra la competitività di tale tecnologia eolica con i dispositivi tradizionali di produzione dell'energia elettrica. Il modello ha tuttavia evidenziato la scarsa convenienza di utilizzo del fotovoltaico e del solare termico, i cui elevati costi d'investimento non sono ammortizzabili a medio termine con un risparmio effettivo dei costi di gestione.

La presenza dell'inceneritore (legato al nuovo assetto del sistema di smaltimento dei rifiuti) pilota invece la scelta del teleriscaldamento per i nuovi insediamenti edilizi. Tale risultato sorprende abbastanza, tenendo conto degli alti costi d'investimento, ma apre nuove prospettive in seguito alla necessità di coordinare le azioni inerenti le modalità di smaltimento e riciclaggio dei rifiuti con gli usi energetici.

Il problema dei costi d'investimento elevati delle nuove tec-

nologie evidenzia la necessità di sostenere l'innovazione tecnologica e le iniziative che contribuiscono a diffondere l'uso delle fonti rinnovabili attraverso adeguate politiche economiche e tariffarie. Nello scenario PEAC in cui sono stati introdotti vettori energetici rinnovabili c'è comunque ancora un uso considerevole delle fonti fossili, anche perché il rinnovabile è utilizzato per la maggior parte nella produzione di energia elettrica ed il solare termico non è economicamente competitivo. Pertanto l'uso di risorse alternative deve essere sostenuto da infrastrutture tecnologiche idonee, la cui adozione va pilotata con azioni normative e con politiche di incentivazione.

Il lavoro dimostra dunque che le fonti rinnovabili possono affiancare le fonti tradizionali nell'approvvigionamento energetico, inserendosi con costi ammortizzabili a medio termine in un sistema energetico a scala locale, apportando indubbi vantaggi dal punto di vista ambientale.

I risultati ottenuti sono coerenti e possono essere ulteriormente valutati in relazione ad iniziative europee e nazionali volte a favorire la diffusione delle fonti energetiche rinnovabili, in relazione al raggiungimento dell'obiettivo stabilito nel Libro Bianco Comunitario di incrementare fino al 12% entro il 2010 il contributo delle rinnovabili al consumo energetico totale dell'Unione Europea.

Per il caso campione esaminato è di particolare interesse la recente "Campagna per il decollo delle rinnovabili in Europa" (Campaign for the take-off)- Programma "100

Comunità" sostenuta dalla Commissione europea, che promuove l'uso delle fonti rinnovabili a scala locale.

Note

¹ Com(97)559 def. Del 26-11-1997: "Energia per il futuro: le fonti energetiche rinnovabili – Libro Bianco per una strategia e un piano d'azione della Comunità".

² Aprile 1999 – "Libro Bianco per la valorizzazione energetica delle fonti rinnovabili".