

**PIANO ENERGETICO AMBIENTALE  
DEL COMUNE DI VIGEVANO**

**Volume 2**

**Il Piano d'Azione**

Agosto 2000

**REALIZZAZIONE A CURA DI:**

Roberto Caponio

Chiara Lazzari

Martin Ménard

Rodolfo Pasinetti

Thomas Pauschinger

Giorgio Schultze

Monika Schulz

Antonio Siciliano

# INDICE

<b>INTRODUZIONE GENERALE</b>	<b>1</b>
<b><u>RASSEGNA TECNOLOGICA (Sez.1)</u></b>	
<b>1. GLI USI TERMICI</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Aspetti generali</b>	<b>5</b>
<b>1.2 L'involucro edilizio</b>	<b>6</b>
1.2.1 Isolamento delle pareti	7
1.2.2 Serramenti	8
1.2.3 Isolamento dei tetti	8
1.2.4 Isolamento dei pavimenti	9
1.2.5 Confronto fra le diverse azioni descritte	9
<b>1.3 Gli impianti termici</b>	<b>12</b>
1.3.1 Dispositivi convenzionali	12
1.3.2 Impianti solari termici per usi civili	15
<b>1.4 Sistemi di riscaldamento a biomassa di origine ligneocellulosa</b>	<b>19</b>
1.4.1 Provenienza della legna da ardere	19
1.4.2 Catene di approvvigionamento	20
1.4.3 Impianti di riscaldamento a legna	21
1.4.4 Caldaie per il riscaldamento centralizzato	23
1.4.5 Varianti di utilizzo: riscaldamento individuale/centralizzato, microreti, teleriscaldamento	28
1.4.6 Sfruttamento combinato di energia solare ed energia da biomassa	29
<b>1.5 La tecnologia della cogenerazione e teleriscaldamento</b>	<b>31</b>
1.5.1 Premessa	31
1.5.2 Micro-cogenerazione	32
1.5.3 Le tecnologie	32
1.5.4 Costi ed economia	32
<b>1.6 Esempio 1 - Risparmio energetico negli edifici.</b>	<b>34</b>
<b>1.7 Esempio 2 - Cogenerazione in un centro ospedaliero.</b>	<b>36</b>
<b>2. GLI USI ELETTRICI</b>	<b>37</b>
<b>2.1 Premessa</b>	<b>37</b>
<b>2.2 Illuminazione</b>	<b>37</b>
2.2.1 Illuminazione di interni	37
2.2.2 Illuminazione stradale	40
2.2.3 Illuminazione industriale	41
<b>2.3 Apparecchiature elettroniche</b>	<b>42</b>
<b>2.4 Condizionamento estivo</b>	<b>45</b>
<b>2.5 Apparecchi per la refrigerazione</b>	<b>46</b>

<b>2.6</b>	<b>Apparecchi per il lavaggio</b>	<b>48</b>
<b>2.7</b>	<b>Produzione di acqua calda sanitaria</b>	<b>50</b>
<b>2.8</b>	<b>Sistemi azionati da motori elettrici</b>	<b>51</b>
<b>2.9</b>	<b>Alcuni casi concreti di interventi di DSM nel settore elettrico</b>	<b>52</b>
2.9.1	Consumi in un'abitazione	52
2.9.2	Consumi per illuminazione in un ufficio	54
<b>APPENDICE: L'ETICHETTATURA ENERGETICA.</b>		<b>55</b>
<b>3.</b>	<b>I TRASPORTI</b>	<b>60</b>
<b>3.1</b>	<b>Carburanti alternativi</b>	<b>60</b>
3.1.1	Metanolo - Etanolo	60
3.1.2	Olii vegetali ed esteri di olii vegetali	61
3.1.3	Gas naturale compresso	61
3.1.4	Idrogeno	61
3.1.5	Gecam	61
3.1.6	Comparazione dei diversi carburanti alternativi	62
<b>3.2</b>	<b>Gli autoveicoli alternativi</b>	<b>63</b>
3.2.1	Autoveicoli elettrici	63
3.2.2	Autoveicoli ibridi	68

## Introduzione generale

### Le priorità energetiche e ambientali

Nell'attuale situazione economica, l'utilizzo di fonti energetiche genera delle esternalità, cioè dei costi a carico della società e dell'ambiente che non sono contabilizzati a carico dei produttori e dei consumatori di energia. Studi effettuati a livello comunitario e nazionale (ad esempio "Externe: Study under the Joule Programme on the Externalities of Energy" dell'Unione Europea, oppure "Politiche sui cambiamenti climatici e sviluppo sostenibile", Ministero dell'ambiente) dimostrano che le fonti rinnovabili e l'uso razionale di energia avrebbero una quota di mercato molto superiore, anche con l'attuale grado di tecnologia, se i costi dei combustibili fossili riflettessero pienamente i costi dei fattori esterni e in particolare quelli legati alla protezione ambientale.

Gli sviluppi degli ultimi anni hanno sottolineato i problemi collegati all'uso di combustibili tradizionali ed i problemi connessi con le emissioni di CO<sub>2</sub> e il cambiamento climatico. Questo fatto è ampiamente riconosciuto non soltanto dai membri del Gruppo internazionale delle Nazioni Unite sul cambiamento climatico (International Panel on Climate Change – IPCC), ma anche da altre organizzazioni internazionali, quali l'AIE e il Consiglio mondiale dell'energia (World Energy Council – WEC) e da grandi parti dell'industria stessa dell'energia.

A livello nazionale con il "Programma nazionale per il contenimento delle emissioni di anidride carbonica", approvato dal CIPE nel febbraio 1994, l'Italia ha recepito la convenzione sul clima, assumendo l'obiettivo della stabilizzazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> rispetto al livello del 1990. Il documento, che si limitava ad elencare strumenti di efficienza energetica già vigenti, non prevedeva iniziative e programmi aggiuntivi che permettessero di impostare in modo realistico il raggiungimento degli obiettivi della Convenzione sul clima.

Solo di recente, in seguito alla decisione del Consiglio dell'UE del marzo 1997 di presentare a Kyoto (dove nel dicembre 1997 si è tenuta la terza COP della Convenzione sul clima) una posizione negoziale di riduzione del 15% dei gas serra, si è innescato in Italia un certo dibattito sulle politiche climatiche.

Nella Seconda comunicazione dell'Italia, approvata dal CIPE il 3 dicembre 1997, viene riportata la situazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> da usi energetici, presentata nella tabella 1 che segue, dove si può notare che le emissioni di CO<sub>2</sub> sono aumentate del 3,3% rispetto al livello del 1990.

Tabella 1 – CO<sub>2</sub> da consumi energetici In Italia

<b>Fonti energetiche</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>
Petrolio (MtCO <sub>2</sub> )	68,8	71,1
Carboni (MtCO <sub>2</sub> )	15,6	13,0
Gas naturale (MtCO <sub>2</sub> )	24,5	28,4
Bunkeraggi (MtCO <sub>2</sub> )	3,4	3,7
Totale (MtCO <sub>2</sub> )	112,3	116,2
Totale MtCO <sub>2</sub>	411,9	426,0
Emissioni pro-capite (tCO <sub>2</sub> /abitante)	7,01	7,2
Emissioni per unità di PIL (tCO <sub>2</sub> /M Lit)	304,7	297,7

**Fonte: ENEA 1997**

Le previsioni al 2000, anno di verifica degli impegni "pre-Kyoto", stimati dalla seconda comunicazione, calcolano un aumento del 5% rispetto al 1990. Questo fatto si verifica nonostante la strategia in atto di penetrazione del gas, anche in alternativa di altre fonti, e nonostante una maggiore efficienza ambientale del sistema economico (riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> per unità di PIL).

La crescita delle emissioni pro-capite a fronte di una maggiore efficienza ambientale degli usi energetici permette di evidenziare che l'aumento delle emissioni va attribuito alla continua crescita

dei consumi energetici pro-capite, ed è quindi su questi ultimi che occorre incidere se si vuole pervenire ad una inversione di tendenza delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Tra l'altro la situazione si evidenzia in modo ancora più netto se si considera che l'Unione Petrolifera calcola al 2010 un incremento, rispetto al 1995, del consumo di combustibili fossili pari al 18% (+7,3% carbone, + 55,9% gas, + 1,8% petrolio).

Ma le emissioni di CO<sub>2</sub> non sono il solo problema ambientale legato ai consumi di energia. Due sono le altre tematiche in gioco.

1. L'incidenza degli ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>) e degli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), inquinanti dell'atmosfera legati agli usi energetici, raggiunge rispettivamente il 94% e il 97% circa sul totale delle emissioni complessive in Italia (Istat, Statistiche ambientali, 1996). Questi inquinanti sono responsabili sia del fenomeno dell'acidificazione, che provoca danni agli ecosistemi, alla vegetazione e ai materiali, sia gravi effetti sanitari (mortalità prematura, danni ai polmoni, irritazioni, ecc..) anche mediante la formazione indiretta di particolato e ozono.
2. I combustibili fossili vanno concepiti come una riserva di capitale non rinnovabile, accumulatasi per milioni di anni nella crosta terrestre (petrolio, gas, carbone), disponibile in quantità limitata in funzione delle condizioni tecnologiche ed economiche, e nel contempo suscettibile di fornire benefici di sviluppo alle generazioni future. Uno studio realizzato dal Ministero dell'ambiente (1997) ha stimato per l'Italia un esaurimento del proprio "spazio ambientale" per il gas di 17 anni, per il petrolio 5 anni, per il carbone 72 anni (lo "spazio ambientale" quantifica la carrying capacity applicata allo sfruttamento delle risorse energetiche in relazione al principio dell'equità dello sviluppo). Questo non significa che entro breve termine l'Italia esaurirà le risorse energetiche, bensì che il nostro Paese sta consumando risorse globali scarse, sottraendole non solo alle future generazioni, ma anche ad altri Paesi che, in base alle dimensioni della loro popolazione e alle loro esigenze di sviluppo, hanno pari interesse al loro consumo.

L'Italia ha messo a punto di recente una serie di strumenti normativi in attuazione delle linee generali di politica energetica e ambientale delineate in precedenza (Documento conclusivo della Conferenza Nazionale Energia e Ambiente – 1998). I più importanti sono i seguenti:

1. **il riassetto del settore elettrico:** il decreto legislativo di recepimento della direttiva europea sul mercato unico dell'energia elettrica determina, attraverso il riassetto dell'intero settore elettrico, una progressiva liberalizzazione del mercato, con ricadute in termini di prezzi, di investimenti e di occupazione nel rispetto dei principi di servizio pubblico;
2. **la delibera CIPE sul Protocollo di Kyoto:** la delibera contribuisce a definire le politiche e le misure nazionali per rispondere agli impegni assunti sulla riduzione delle emissioni dei gas serra; essa è stata elaborata nello spirito dell'approccio partecipativo degli operatori interessati e prevede il raggiungimento degli obiettivi di riduzione dando priorità ai meccanismi consensuali rispetto a quelli di comando-controllo; la percentuale del 6,5% di riduzione dei gas serra rispetto al 1990 assegnata all'Italia per il periodo 2008-2012 costituisce un impegno che l'Italia dovrà conseguire prioritariamente attraverso un significativo miglioramento dell'efficienza di utilizzo dell'energia ed un'espansione dell'impiego delle fonti rinnovabili, ed anche attraverso un forte impulso alla cooperazione internazionale;
3. **l'introduzione della carbon-tax:** la norma, contenuta nel disegno di legge collegato alla finanziaria, introduce una aliquota di tassazione legata alle emissioni di CO<sub>2</sub> caratteristiche dei diversi combustibili, iniziando il necessario processo di internalizzazione delle esternalità nei prezzi energetici;
4. **l'attuazione della Bassanini:** il conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni e agli Enti Locali attuato tramite il decreto legislativo 112/98 apre una prospettiva di ampio e significativo coinvolgimento nelle scelte e di precisa responsabilizzazione nell'attuazione degli obiettivi di politica energetica;

5. **la firma del Patto per l'energia e l'ambiente:** il Patto, che ha come interlocutori le amministrazioni centrali e locali, le parti sociali, gli operatori e gli utenti, individua le regole e gli obiettivi generali di un costruttivo ed innovativo rapporto tra le parti. Esso è la necessaria premessa per la sottoscrizione di Accordi Volontari, settoriali o specifici, che costituiscono il principale nuovo strumento per la politica energetica.

Coerentemente con gli scenari evolutivi e le scelte operate, il Documento elenca alcuni temi come linee guida degli interventi da attuare:

- sicurezza degli approvvigionamenti, e tra le altre cose il fatto che, attraverso strumenti di regolazione del mercato, si garantisca che, nel medio periodo, una quota pari al 40% del consumo interno lordo venga coperta da fonti nazionali (fossili e rinnovabili) e combustibili ad ampio mercato;
- gestione del mercato del gas naturale, cioè verrà proseguita la liberalizzazione dei mercati energetici con il duplice fine del contenimento dei costi energetici e del miglioramento dei servizi;
- uso più efficiente dell'energia nei consumi finali: l'obiettivo potrà essere perseguito anche attraverso le attività di Demand Side Management e la fornitura di servizi post-contatore. Tali attività sono da considerare un naturale sviluppo per le imprese distributrici che intendono integrare la fornitura di più servizi, migliorarne la qualità e conseguire significative economie; ma possono e debbono essere anche l'occasione per lo sviluppo di nuove imprese e di occupazione qualificata. Parallelamente si ritiene sia indispensabile sviluppare adeguati meccanismi, anche finanziari, che consentano la diffusione di tali iniziative attraverso un ruolo attivo del consumatore, attraverso sistemi premianti che ne incentivino le scelte positive sia dal punto di vista energetico che ambientale;
- raddoppio della quota di fonti energetiche rinnovabili per raggiungere l'obiettivo del raddoppio della produzione da fonti rinnovabili in termini di energia primaria entro il 2010, coerentemente con il contesto europeo;
- qualità dei servizi energetici, prevedendo, tra l'altro, di valorizzare l'aspetto qualitativo della fornitura dei servizi energetici nelle rispettive tariffe, introducendo il meccanismo dei rimborsi in caso di mancato rispetto di livelli e standard di qualità minimi fissati preventivamente;
- economicità dei servizi energetici, favorendo un'espansione in senso orizzontale delle imprese ovvero le gestioni integrate di vari servizi, coinvolgendo in tale disegno anche la realtà dei servizi pubblici locali, introducendo un nuovo concetto di economicità, che includa anche i costi ed i benefici esterni connessi alla fornitura dei servizi energetici: tra i costi occorre considerare gli effetti ambientali dell'uso dell'energia, tra i benefici le ricadute in termini di sicurezza degli approvvigionamenti nonché di occupazione qualificata che l'utilizzo di alcune fonti, ed in particolare quelle rinnovabili, può comportare;
- la compatibilità ambientale andrà perseguita, prioritariamente, attraverso le regole del mercato ed in ottemperanza alla direttiva IPCC 96/61/CE, che prevede l'impiego delle migliori tecniche disponibili nei processi industriali;
- sostenibilità energetica ed ambientale dei Trasporti favorendo: (a) lo sviluppo dei servizi telematici, con particolare riferimento a quelli potenzialmente sostitutivi di mobilità, (b) l'utilizzo di carburanti a basso impatto sull'ambiente, (c) il trasferimento del trasporto delle merci dalla strada alla ferrovia, (d) il potenziamento e l'incremento della qualità e dell'efficienza dei servizi di trasporto urbani ed extraurbani, (e) la verifica della coerenza ambientale, anche rispetto agli obiettivi di Kyoto, dei futuri progetti infrastrutturali di trasporto; (f) promuovere lo sviluppo di infrastrutture per il trasporto urbano, con particolare riferimento alle reti tramviarie, alle piste ciclabili e alle iniziative di "governo della mobilità";

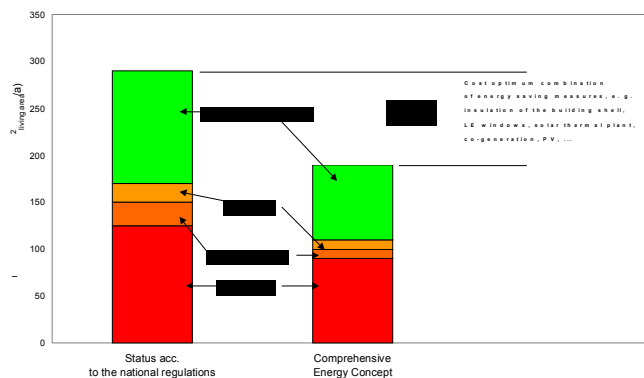
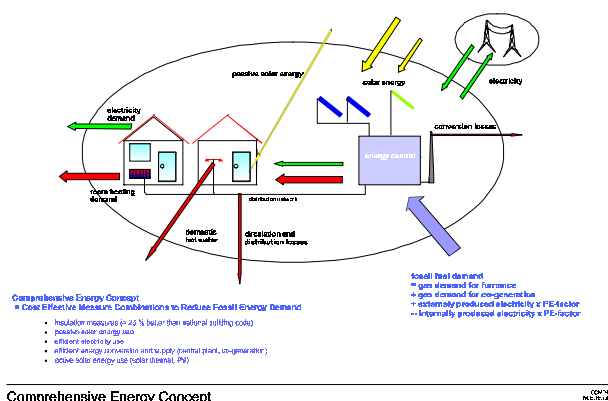
- progetti di ricerca a medio e lungo termine, nazionali, europei e mondiali, quali ad esempio i cambiamenti climatici globali, le energie rinnovabili e la fusione termonucleare e nel contempo ricerca sull'innovazione tecnologica, intesa ad ampliare il ventaglio delle opzioni per uno sviluppo sostenibile sia sul piano ambientale che socio-economico.



# 1. Gli usi termici

## 1.1 Aspetti generali

I consumi energetici termici per scopi civili corrispondono a circa il 35 – 40% dei consumi totali di un comune tipico dell'Italia Settentrionale. Il risparmio energetico per il riscaldamento degli edifici risulta quindi essere una delle azioni più importanti per raggiungere gli obiettivi definiti nelle recenti risoluzioni internazionali (Kyoto, Rio ecc..). Gli obiettivi legati ad un uso razionale dell'energia devono portare al massimo risparmio energetico ai minori costi possibili di investimento, gestione e manutenzione. Le possibili azioni includono ovviamente l'isolamento termico e l'utilizzo delle migliori tecnologie per i sistemi di riscaldamento convenzionali. Non deve essere inoltre esclusa la possibilità di far ricorso a fonti rinnovabili, in particolare per il solare termico



Nel seguito il singolo intervento di risparmio energetico è presentato con la relativa descrizione tecnologica, il potenziale di risparmio e i costi dell'investimento, di gestione e di manutenzione. Inoltre, verrà presentato un esempio concreto di interventi di risparmio, che potrà essere usato come linea guida per lo sviluppo di progetti simili.

Un corretto concetto di risparmio energetico negli edifici, comprende sia sistemi passivi che attivi. Prima di tutto il fabbisogno termico dell'edificio deve essere ridotto tramite opportune azioni sull'involucro edilizio. In una seconda fase si devono applicare le migliori tecnologie possibili per coprire la nuova domanda di energia.

Nelle sezioni successive, verranno presentate tali possibilità. Le combinazioni di soluzioni passive e attive verranno descritte in un esempio riferito ad un edificio tipo.

## 1.2 L'involucro edilizio

Azioni di risparmio sull'involucro edilizio degli edifici civili.

Azioni sull'edificio	
Azioni sull'involucro	Energia solare passiva
<ul style="list-style-type: none"> <li>- muri</li> <li>- serramenti</li> <li>- tetto</li> <li>- pavimenti</li> </ul>	

La maggior parte degli edifici esistenti sono caratterizzati da elevati consumi termici, sia a causa delle dispersioni di calore per trasmissione attraverso le pareti, i tetti, il pavimento e le finestre sia per le perdite di calore per ventilazione attraverso le fessure dell'involucro. Le azioni rivolte al miglioramento dell'aspetto energetico dell'edificio sono quindi prevalentemente legate alla riduzione delle dispersioni termiche tramite isolamento termico e tramite aperture finestrate più resistenti al passaggio del calore. Un attento rinnovo della facciata di un edificio comporta una riduzione della trasmittanza (o "U – value" indica la potenza termica trasmessa attraverso una parete per unità di superficie) della parete e le perdite dovute alla ventilazione possono essere minimizzate, migliorando inoltre la qualità dell'aria all'interno.

Per i nuovi edifici le prestazioni energetiche, in termini di massimo fabbisogno stagionale, sono definite dalla legge n. 10 del 1991. Tuttavia una attenta progettazione consente di ottenere fabbisogni ancora più bassi con conseguenti risparmi energetici ed economici non trascurabili.

Nel seguito verranno descritte alcune possibili azioni di isolamento termico per la ristrutturazione del parco edilizio esistente. Ovviamente, le azioni proposte, sono valide anche per i nuovi edifici dove tuttavia i diversi standard costruttivi di base possono comportare differenze nei costi addizionali.

### 1.2.1 Isolamento delle pareti

Per l'isolamento termico delle pareti perimetrali, sono disponibili diversi sistemi (alcuni esempi sono riportati nella tabella n. 1). Per diverse strutture si riportano i valori della trasmittanza e il costo aggiuntivo rispetto ad una struttura standard (numero 1).

No.	Struttura della parete (dall'esterno all'interno)	Spessore dell'isolante	U - value	Dettagli strutturali	Costi aggiuntivi per m <sup>2</sup>
		cm	W/m <sup>2</sup> K		£./m <sup>2</sup>
1.	<b>Parete standard:</b> intonaco - 30 cm mattoni forati – gesso	-	1.5		-
2.	<b>Isolamento esterno:</b> intonaco – lana minerale - mattoni - gesso	10	0.31	Accurata applicazione alle finestre e ai ponti termici	90.000
3.	<b>Doppia facciata:</b> rivestimento – intercapedine d'aria – lana minerale – mattoni forati porosi - gesso	12	0.26	Standard BE solo per i nuovi edifici	125.000 - 175.000
4.	<b>Isolamento interno:</b> intonaco - mattoni - PS hard foam - truciolo + barriera di vapore	6	0.46	La barriera di vapore è necessaria solo per quegli edifici dove non è possibile l'isolamento esterno	80.000

Tabella 1: Esempi di struttura per muri perimetrali

### 1.2.2 Serramenti

Le attuali finestre standard per gli edifici residenziali sono a vetro singolo con telaio in metallo o legno negli edifici più vecchi, e a doppio vetro con telaio in metallo o legno per gli edifici più recenti (dopo 1985). La tabella seguente riporta le caratteristiche dei diversi tipi di finestra e mostra il costo addizionale rispetto al vetro singolo.

No.	Vetro	Trasmittanza del vetro	Telaio	Trasmittanza globale	Costi addizionali rispetto alla finestra standard
		$W/m^2 \cdot K$		$W/m^2 \cdot K$	$L./m^2$
1.	Singolo	5.8	Legno o metallo	5.2	-
2a.	Doppio isolamento (10-16 mm gap)	3.0	legno	2.6	102.000
2b.	Doppio isolamento (10-16 mm gap)	3.0	metallo	3.8	102.000
3a.	Doppio vetro con rivestimento BE	1.3	Legno o plastica	1.4	650.000
3b.	Doppio vetro con rivestimento BE	1.3	Metallo isolato	1.7	650.000

\*)BE = Basso emissivi

Tabella 2: Esempi di differenti aperture finestrate.

### 1.2.3 Isolamento dei tetti

La fattibilità dell'isolamento termico delle coperture dipende dal tipo di tetto (piano o inclinato), dalle costruzioni eventualmente presenti e dall'uso (occupato o non occupato). La tabella 3 mostra le azioni indicate per i tre tipi di copertura più comune, l'incremento della trasmittanza e il costo aggiuntivo.

No.	Tipo di tetto	Trasmittanza	Interventi di isolamento	Trasmittanza	Costi addizionali
		$W/m^2 \cdot K$		$W/m^2 \cdot K$	$L. / m^2$
1.	Tetto inclinato con pannelli di legno interni	1.85	Isolamento aggiuntivo tra le tegole 10 cm	0.33	60.000
2.	Soffitto di cemento sotto un solaio non abitato	2.04	Isolamento aggiuntivo sulla superficie superiore del soffitto (14 cm)	0.25	30.000
3.	Tetto piano in cemento con insufficiente isolamento	0.78	Isolamento aggiuntivo sulla superficie superiore del tetto (14 cm)	0.23	100.000

Tabella 3: Isolamento termico per differenti tipi di copertura.

### 1.2.4 Isolamento dei pavimenti

La riduzione delle dispersioni termiche verso zone non riscaldate (cantina, garage, ecc.) può essere facilmente realizzata tramite l'applicazione di uno strato di isolante al di sotto del pavimento. Per le strutture direttamente a contatto con il terreno, l'isolamento viene applicato al di sopra.

No.	Descrizione	Trasmittanza	Interventi di isolamento	Trasmittanza	Costi aggiuntivi
		$W/m^2K$		$W/m^2K$	$L./m^2$
1.	Basamento in cemento verso locali non riscaldati	1.39	Isolamento aggiuntivo sotto lo strato di cemento, 7 cm	0.43	100.000
2.	Basamento in cemento verso il terreno	2.00	Isolamento sulla superficie superiore del pavimento (8 cm)	0.43	100.000

Tabella 4: Isolamento termico dei pavimenti

### 1.2.5 Confronto fra le diverse azioni descritte

A titolo di esempio è stato calcolato il rapporto costi/benefici per un edificio multifamigliare di dieci piani (volume lordo di 3.500 m<sup>3</sup> circa). Il grafico seguente mostra le diverse azioni.

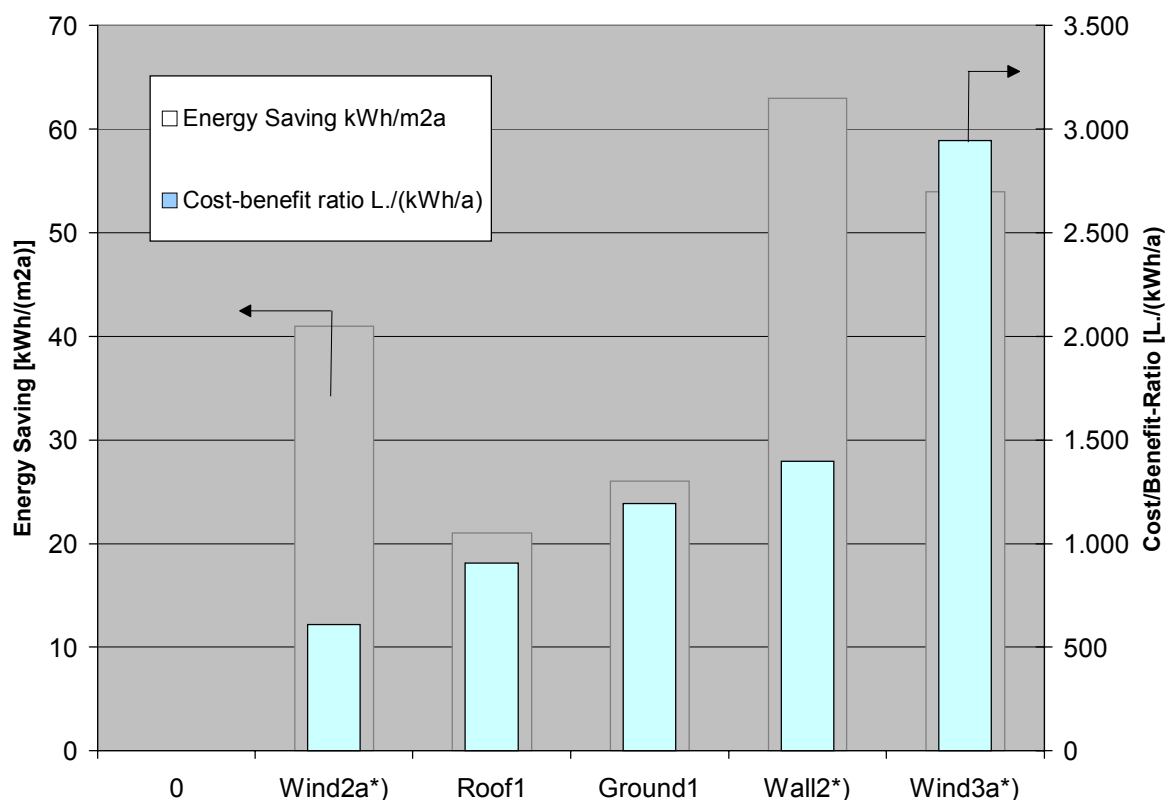


Fig. 1: Risparmio energetico e rapporto costi/benefici per un edificio residenziale tipo.

**NB:** I prezzi indicati nel grafico precedente sono riferiti al costo di un kWh risparmiato su base temporale di un anno. Questo non vuole dire che ogni anno si devono spendere quei soldi, ma tale valore va diviso per l'intero tempo di vita dell'azione. Quindi ad esempio se all'azione "wind 2a" corrisponde un costo di poco più di 500 L/(kWh/a) e si ipotizza un tempo di vita di 15 anni, vuol dire che il kWh risparmiato ogni anno costa circa 35 lire contro le 100 – 150 lire del kWh termico da metano o da gasolio.

Il risparmio energetico e i costi per diverse combinazioni di azioni sono stati confrontati con la domanda termica di un edificio con isolamento standard definito, nel grafico precedente e nella tabella successiva, con l'azione "0".

No.	Trasmittanza				Fabbisogno termico		Costi addizionali
					Totale	Risparmio	
	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	kWh/m <sup>2</sup> a	%	£./m <sup>2</sup>
	Serramenti	Pareti	Tetto	Pavimento			
0.	5.2	1.5	1.85	1.39	229 <sup>*)</sup>	-	-
1.	2.6	"	"	"	188 <sup>**)</sup>	17,9	25.000
2.	2.6	"	0.33	"	168 <sup>**)</sup>	26,6	44.000
3.	2.6	"	0.33	0.43	154 <sup>**)</sup>	32,8	75.000
4.	2,6	0.31	0.33	0.43	104 <sup>**)</sup>	54,6	163.000
5.	1.4	0.31	0.33	0.43	91 <sup>**)</sup>	60,3	297.000

<sup>\*)</sup> numero ricambi orari  $n = 1,0 \text{ 1/h}$ , <sup>\*\*)  $n = 0,8 \text{ 1/h}$</sup>

Tabella 5: Risparmio energetico e costi addizionali per diverse combinazioni di azioni.

L'installazione di doppi vetri e l'isolamento del tetto e del pavimento sono azioni che risultano economicamente vantaggiose (Payback time inferiore al tempo di vita medio) anche agli attuali bassi prezzi dei combustibili fossili, mentre le azioni di isolamento delle pareti perimetrali e l'installazione di finestre BE attualmente non sembrano ripagarsi. Il grafico seguente descrive tale concetto.

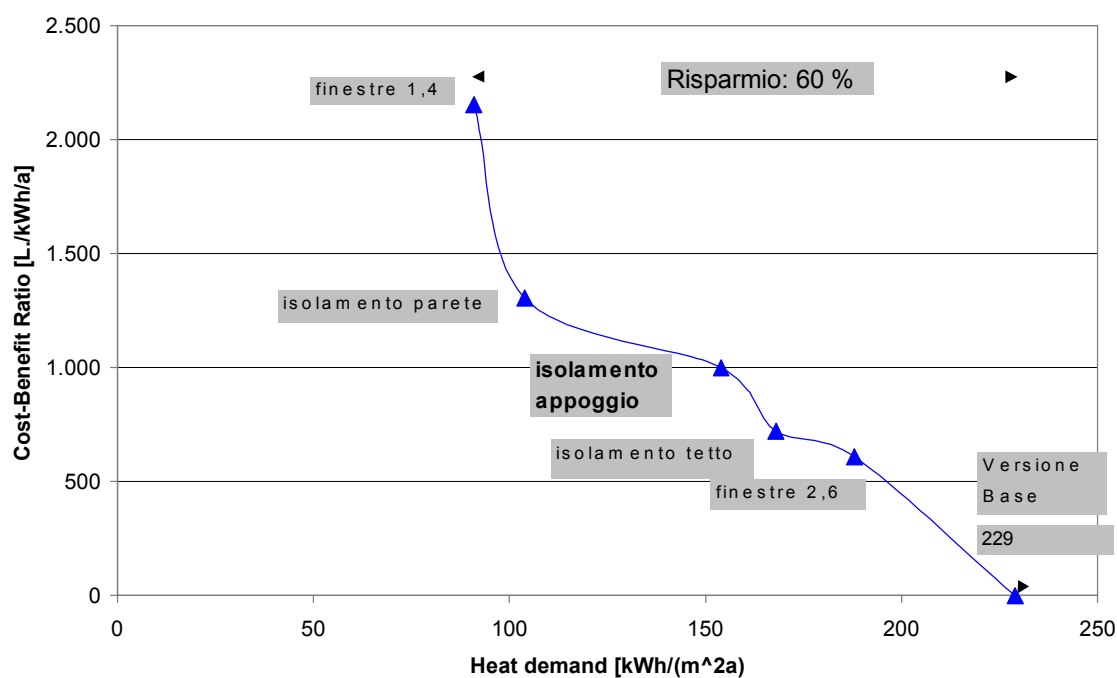


Fig. 2: Rapporto costi benefici in funzione della domanda termica.

A parte le azioni sugli edifici, la temperatura interna desiderata è un fattore in grado di influenzare significativamente il fabbisogno termico dell'edificio. Le analisi precedenti sono state effettuate basandosi su una temperatura interna di 20°C; la domanda termica aumenta del 10% per ogni grado in più. Tuttavia, se si assumono moderati miglioramenti dell'involucro edilizio, 20°C generalmente sono sufficienti, perché la temperatura superficiale dei muri e delle finestre è maggiore e la sensazione di comfort conseguente risulta accettabile.

Temperature superiori ai 22 – 24°C spesso non sono neanche desiderate dagli occupanti, ma sono semplicemente dovute ad un errato funzionamento del sistema di riscaldamento. In particolare, in un grande edificio multifamigliare l'errato controllo e regolazione dell'impianto di

riscaldamento spesso causa sbilanci nella distribuzione del calore. Una corretta gestione di tutto il sistema di riscaldamento (regolazione, distribuzione, combustione, ecc..) può portare, da solo, ad un risparmio di energia primaria del 15%.

## 1.3 Gli impianti termici

Sistemi di riscaldamento tecnologicamente avanzati			
Dispositivi convenzionali	Energia solare termica	Cogenerazione	Riscaldamento a biomasse
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caldaie a bassa temperatura</li> <li>- Caldaie a condensazione dei gas esausti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Piccolo impianto solare per abitazioni private</li> <li>- Medio e grosso impianto</li> <li>- Impianti solare per impianti sportivi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Microcogen.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bruciatori a pellets/chips e legno</li> </ul>

### 1.3.1 Dispositivi convenzionali

L'installazione di nuove caldaie per il riscaldamento degli ambienti o per la produzione di Acqua Calda Sanitaria (ACS) generalmente viene eseguita alla fine del tempo medio di vita dei dispositivi esistenti (circa 15 – 20 anni). A parte le nuove installazioni, che in generale sono caratterizzati da una maggiore efficienza rispetto a quindici anni fa, un elevato potenziale di risparmio è dato dall'incremento delle prestazioni e dal miglior controllo degli impianti esistenti che non saranno sostituiti nei prossimi anni.

Mentre i sistemi di riscaldamento installati prima del 1985 lavorano a temperature anche superiori ai 110 °C, la nuova generazione di caldaie a bassa temperatura sono progettate per una temperatura massima di 75°C. La temperatura dei gas esausti inoltre, è scesa da 250°C a 110 – 150°C. Temperature di esercizio inferiori portano ad una ulteriore riduzione delle perdite di calore da parte dei gas esausti e per via radiativa. L'efficienza dei bruciatori a bassa temperatura raggiunge il 90%. Per i bruciatori atmosferici è possibile il controllo dell'aria e della portata del combustibile, con conseguente riduzione della capacità della caldaia entro certi limiti senza diminuzione di efficienza anche per capacità inferiori a quella di progetto (modulazione).

In casi molto rari la temperatura inferiore del fluido termovettore può comportare un cambiamento dei corpi scaldanti (radiatori). Tuttavia, nella maggior parte degli edifici esistenti, i radiatori sono sovradimensionati e, un sistema di riscaldamento ben bilanciato, è in grado di fornire sufficiente energia anche a basse temperature.

#### *Bruciatori a condensazione*

Nei bruciatori a condensazione dei gas esausti è inserito un secondo scambiatore di calore che può operare a temperature inferiori ai 40°C. La temperatura di gas esausti (tra cui anche vapore d'acqua) scende al di sotto del punto corrispondente al passaggio di fase e quindi condensa. L'energia termica utile quindi aumenta grazie al calore latente ceduto dall'acqua durante la condensazione. A causa delle basse temperature di esercizio, le caldaie a condensazione sono caratterizzate da perdite ridotte, sia da parte dei gas esausti, sia dai bassi livelli di scambio radiativo. L'efficienza, che normalmente è legata al potere calorifico del combustibile può raggiungere il 107%. Le caldaie a condensazione possono modulare la propria capacità fino a 20 – 30 volte rispetto alla capacità di progetto.



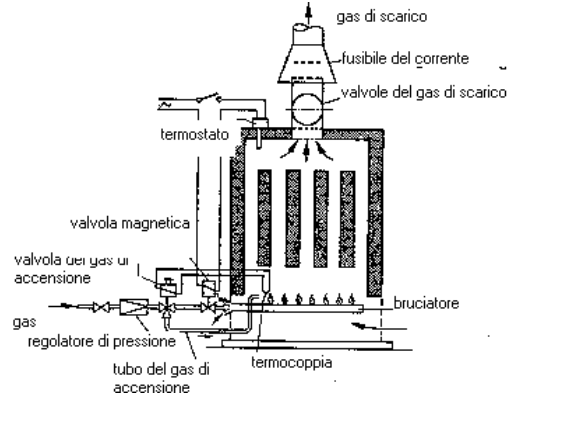
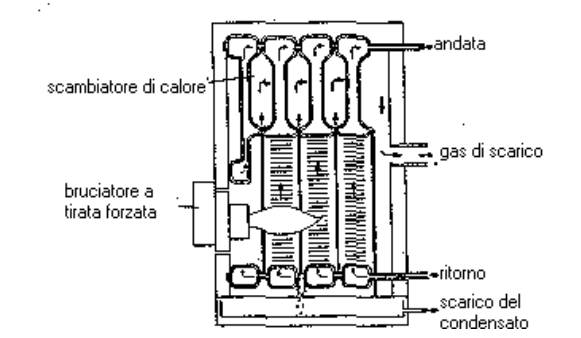
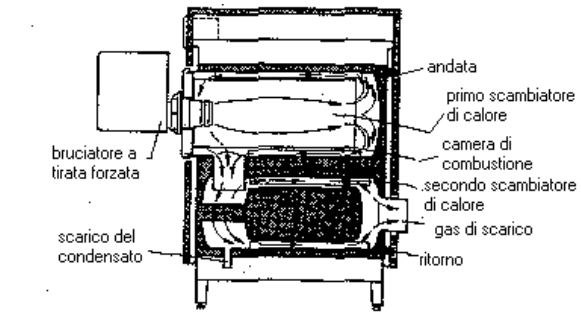
	<p><b>Caldaia a bassa temperatura con bruciatore atmosferico</b>  Massima efficienza: 83 - 88 %</p>
	<p><b>Caldaia a bassa temperatura con tiraggio forzato</b>  Massima efficienza: 88 -90 %</p>
	<p><b>Caldaia a condensazione con tiraggio forzato</b>  Massima efficienza: 103 - 107%</p>

Fig 3: Caldaie a gas

Nella tabella seguente sono riportati due esempi di incremento delle prestazioni per due differenti tipi standard di impianti termici. E' riportato inoltre il risparmio energetico ottenibile. I costi del sistema sono relazionati all'area da scaldare. Costi addizionali sono da considerare solo per le caldaie a condensazione confrontate con quelle a bassa temperatura.

Sistema di riscaldamento	Consumo specifico (gas naturale/gasolio)			Consumo di energia elettrica per ACS	Risparmio di combustibile	Risparmio di energia elettrica	Costi (costi aggiuntivi)
	rh	ACS	totale				
	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a (%)	kWh/m <sup>2</sup> a (%)	L./m <sup>2</sup>
Riscaldamento tramite caldaia a gas, produzione elettrica ACS $\eta_{\text{gas heater}}=0.8$ $\eta_{\text{el. boiler}}=0.95$	252	0	252	33			
Riscaldamento e ACS tramite una <b>caldaia a gas a bassa temperatura</b> $\eta_{\text{tot}}=0.85$	224	34	258	0	- 6 (- 2 %)	33 (100%)	62.500 <sup>*)</sup>
Produzione centralizzata di calore e ACS per una casa multifamiliare, caldaia atmosferica, ca. 12 anni di funzionamento $\eta_{\text{tot}}=0.6$	336	52	388	0			
Produzione centralizzata di calore e ACS per una casa multifamiliare, <b>caldaia a condensazione</b> $\eta_{\text{tot}}=0.8$	252	39	291	0	97 (25 %)	0	13.500

- rh: room heating (riscaldamento ambienti)

- ACS: Acqua Calda Sanitaria

- Energia specifica fornita in relazione all'area scaldata

- Edificio standard No. 1, Tabella 5

<sup>\*)</sup> Gli impianti termici standard negli edifici esistenti sono generalmente impianti murali a gas per singoli appartamenti oppure impianti centralizzati per l'intero edificio. Per l'ACS spesso vengono utilizzati piccoli boiler elettrici installati direttamente all'interno delle singole unità immobiliari.

<sup>\*\*) Costo della nuova caldaia e dell'installazione della rete di distribuzione per ACS.</sup>

Tabella 6:

Negli ultimi anni, con le ristrutturazioni degli edifici, spesso gli impianti centralizzati esistenti sono stati rimpiazzati da caldaie autonome monofamiliari. E' in uso credere che tale sostituzione porti ad un miglioramento del comfort termico e ad una riduzione dei costi. Tuttavia, l'applicazione delle tecnologie più avanzate risulta economicamente conveniente per applicazioni su larga scala e quindi ad esempio un impianto di riscaldamento centralizzato. Anche con un impianto centralizzato si possono garantire elevati livelli di comfort ambientale, quando è ben dimensionato e gestito. Inoltre la contabilizzazione individuale del calore utilizzato rende un tale impianto anche più conveniente, per gli utenti finali, delle singole caldaie autonome.

### 1.3.2 Impianti solari termici per usi civili

L'Italia offre condizioni meteorologiche molto favorevoli all'uso dell'energia solare. La differenza dal nord al sud della radiazione solare è pari a circa il 40% e sta tra 1.200 e 1.750 kWh per m<sup>2</sup> per anno. In entrambi i casi, i valori di radiazione sono sufficienti per soddisfare la domanda procapite di ACS di una abitazione. In queste condizioni un sistema solare standard risparmia più dell'80% di energia necessaria per la preparazione di ACS e fino al 30% della domanda totale per ACS e per riscaldamento. Sotto queste condizioni favorevoli e grazie alla disponibilità della tecnologia sul mercato, l'Italia possiede un elevato potenziale tecnico ed economico per lo sfruttamento di tale fonte rinnovabile.

#### *L'uso del solare termico nelle abitazioni private*

Il fabbisogno termico medio per la produzione di ACS nelle abitazioni private ammonta a circa 1.000 kWh all'anno. Poiché la domanda termica è pressoché costante nell'intero anno e risulta presente anche nei mesi estivi più caldi, la produzione di ACS è una delle applicazioni più adatte per i sistemi solari termici. L'area minima dei collettori solari varia tra 0,5 m<sup>2</sup>/persona per le zone meridionali della penisola e 1 m<sup>2</sup>/persona per le zone del nord. Nelle aree in cui non si verificano particolari gelate (ad esempio le zone meridionali), i sistemi migliori sono quelli con **collettore e accumulo integrato e sistema di termosifoni**.

Un collettore solare separato connesso, attraverso un circuito di circolazione, ad un accumulo localizzato all'interno dell'edificio, forma il **sistema a circolazione forzata** standard per la produzione di ACS. Questo tipo di sistema è adatto a collettori di grandi dimensioni e per edifici residenziali con impianto centralizzato e sistemi di distribuzione dell'acqua. In aree con significativi periodi di gelo, il circuito è riempito di fluido anti-gelo, proprio per evitare il congelamento del fluido termovettore all'interno degli scambiatori di calore.

In Italia la domanda termica per il riscaldamento degli ambienti varia molto dalle zone montuose del nord alle zone mediterranee della costa meridionale. I moderni ed efficienti sistemi combinati per la produzione di ACS e per il riscaldamento domestico, detti anche sistemi combi, rendono possibile l'uso dell'energia solare anche per il riscaldamento degli ambienti, sebbene l'insolazione durante il periodo di riscaldamento sia molto minore rispetto a quella dei mesi estivi. L'uso dei sistemi combi è raccomandata in quei casi in cui sono già state effettuate altre azioni passive di risparmio e dove sono presenti sistemi di riscaldamento a bassa temperatura. L'area necessario per il collettore si aggira attorno a 1,5 – 3 m<sup>2</sup>/kW di potenza termica nominale.

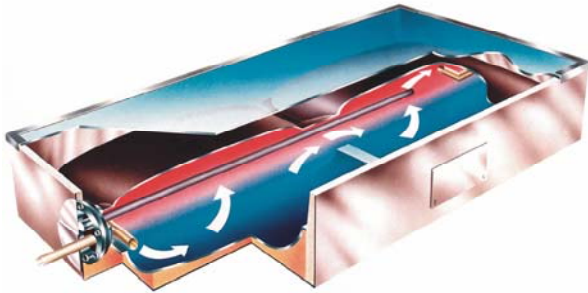
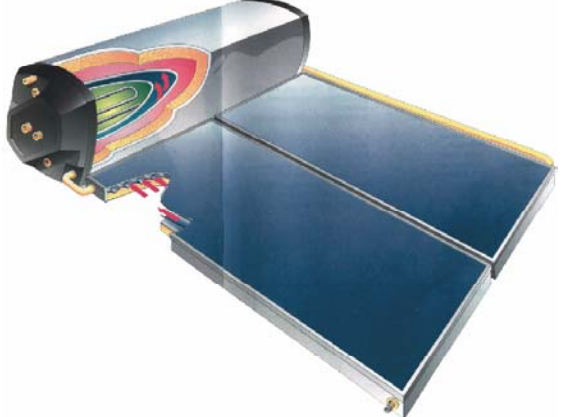
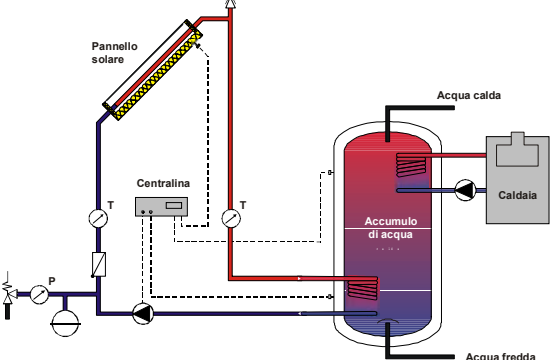
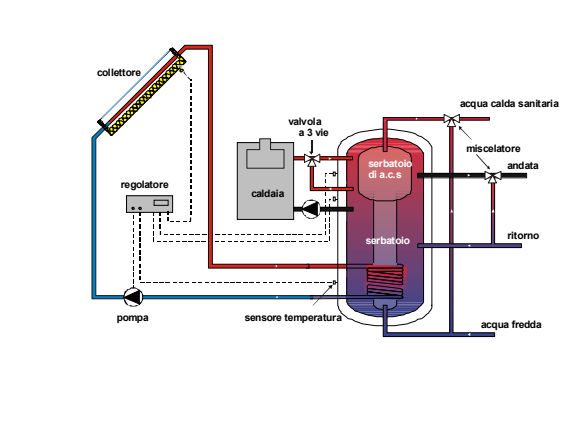
	<p><b>Collettore ad accumulo integrato per la produzione di ACS</b>  Risparmio energetico: 400 kWh/(m<sup>2</sup> a)  Dal 50 % al 60 % della domanda energetica per la produzione di ACS  Costo del sistema: 1.000.000 Lit/m<sup>2</sup></p>
	<p><b>Thermosipon system</b>  Risparmio energetico: 450 kWh/(m<sup>2</sup> a)  Dal 60 % al 70 % della domanda energetica per la produzione di ACS  Costo del sistema: 1.500.000 Lit/m<sup>2</sup></p>
	<p><b>Impianto a circolazione forzata</b>  Risparmio energetico: 450 kWh/(m<sup>2</sup> a)  Dal 60 % al 70% della domanda energetica per la produzione di ACS  Costo del sistema: 1.500.000 Lit/m<sup>2</sup></p>
	<p><b>Impianto combinato</b>  Risparmio energetico: 350 kWh/(m<sup>2</sup> a)  Dal 15 % al 25 % della domanda energetica per la produzione di ACS  Costo del sistema: 1.200.000 Lit/m<sup>2</sup></p>

Fig. 4 Impianti di riscaldamento solari di medie e grandi dimensioni

Sistemi di riscaldamento solari di grandi dimensioni, con area dei collettori variabile tra 100 m<sup>2</sup> e 1.000 m<sup>2</sup>, possono essere applicati in grandi edifici multifamigliari, blocchi di edifici con rete di distribuzione del calore, ospedali, residenze per anziani, ostelli e in alcuni settori turistici. Sistemi di grandi dimensioni di questo tipo, con un accumulo diurno in grado di coprire il 20% circa del fabbisogno termico totale per ACS e per riscaldamento ambienti, risultano essere tra le più economicamente vantaggiose applicazioni del solare termico. Grazie alle dimensioni, il costo

specifico dell'impianto diminuisce senza penalizzarne l'efficienza. Lo sviluppo tecnologico dei grandi collettori integrati nel tetto degli edifici ha portato ad un mercato accessibile e disponibile. La copertura della domanda termica da parte dei sistemi solari può anche arrivare al 50% tramite impianti solari centralizzati ad accumulo stagionale, nei quali l'energia solare termica captata durante i mesi estivi viene stoccata e utilizzata per il riscaldamento durante la stagione più fredda. L'applicazione ideale di questi sistemi è quella di un blocco di edifici, connessi tra loro da una rete di distribuzione del calore, con una domanda termica superiore a 1.500 MWh/anno.

La tabella seguente riporta i parametri dimensionali per un impianti di riscaldamento solare di grande dimensione.

	LSSHPS	CSHPSS
Minima domanda di calore	>30 appartamenti, >60 persone	> 100 appartamenti / edifici
Superficie dei collettori	0.8 – 1.2 m <sup>2</sup> per persona	1.5 - 2.5 m <sup>2</sup> /MWh/a.
Volume di accumulo	50 – 60 l/m <sup>2</sup> <sub>fpc</sub>	1.5 – 2.5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> <sub>fpc</sub>
Contributo solare	350 – 500 kWh/m <sup>2</sup> /a	300 – 350 kWh/m <sup>2</sup> /a
Frazione solare	ACS: 60 – 70 % Totale: 20 – 30 %	Totale: 50 – 70 %

Tabella 7: Parametri dimensionali per un impianto di riscaldamento solare di grandi dimensioni.

I requisiti e i presupposti per l'installazione e il favorevole esercizio di un impianto solare di grandi dimensioni sono sintetizzati nel seguito:

- Impianto termico centralizzato (riscaldamento ambienti e sistema di distribuzione ACS)
- Superficie del tetto sufficiente (poche ombre, orientamento, altre installazioni)
- Disponibilità di spazio per l'accumulo all'interno o in prossimità dell'impianto.
- Se previsto il riscaldamento ambienti, bassa temperatura di ritorno dal sistema interno di riscaldamento (max. 70/40°C)
- Sistema di produzione ACS ben bilanciato

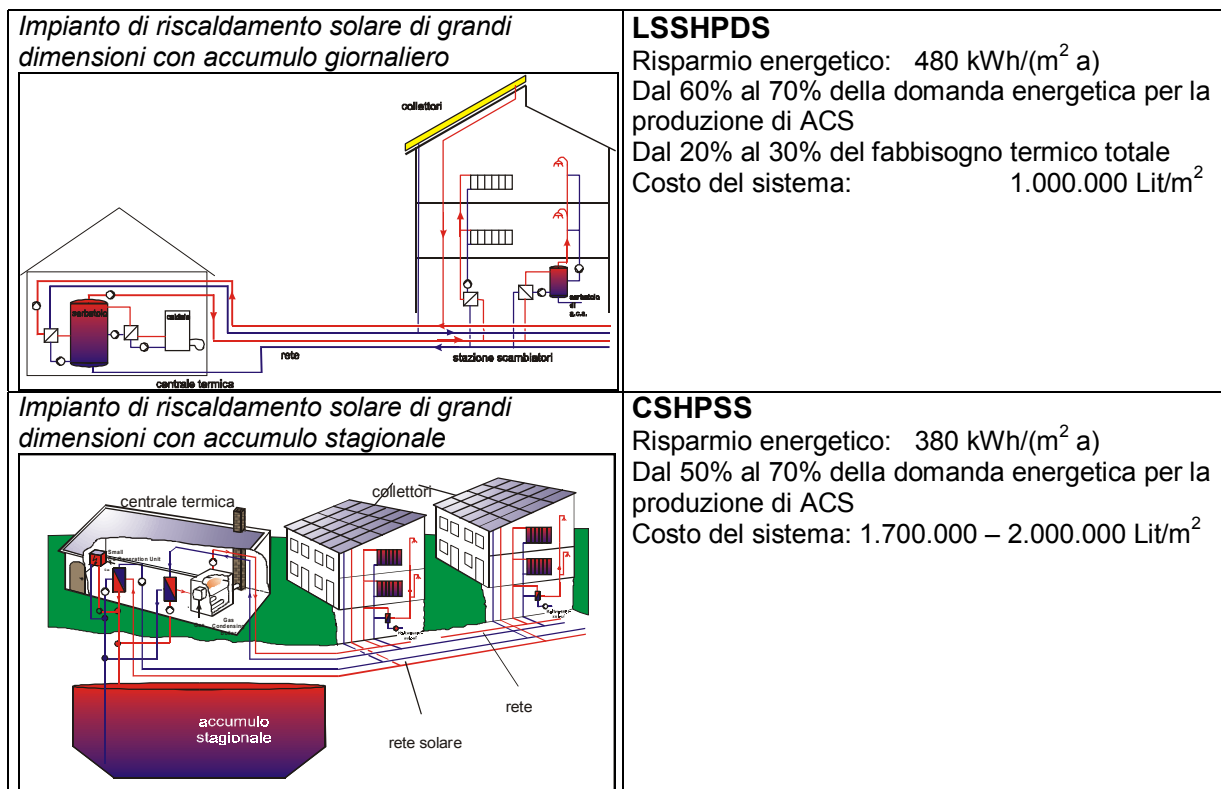


Fig. 5:

### *Impianti solari per centri sportivi (piscine)*

La domanda di energia per il riscaldamento di un impianto sportivo pubblico o privato una piscina in relazione alla temperatura desiderata dell'acqua (20 –27°C), varia tra i 500 e i 1.500 kWh/anno per m<sup>2</sup> di superficie della piscina. Il riscaldamento delle piscine è il sistema per usare nel modo più vantaggioso dal punto di vista economico, gli impianti solari, per

- La simultaneità tra domanda termica e massima radiazione solare in estate
- Il basso livello di temperatura. In questo caso possono essere usati anche collettori più economici, composti da tubi di materiale plastico direttamente (senza scambiatori di calore) a contatto con la piscina.
- Nella maggior parte dei casi non è necessario nessun impianto di riserva. Con un corretto dimensionamento dell'impianto solare, la temperatura della piscina scende di alcuni gradi solo nei pochi giorni con un bassa radiazione.

	<p><b>Impianto per riscaldamento di una piscina pubblica</b> Esempio per una piscina di 1 000 m<sup>2</sup> di superficie: Area dei collettori: 300 m<sup>2</sup> Risparmio energetico: 60 in MWh/a Costo del sistema: 150 000 000 - 200 000 000 Lit/m<sup>2</sup></p>
--	--

Fig. 6

## 1.4 Sistemi di riscaldamento a biomassa di origine ligneocellulosa

Il libro bianco sulle energie rinnovabili dell'Unione Europea fornisce linee guida per l'utilizzo delle fonti di energia rinnovabili, riguardanti in modo particolare l'utilizzo della legna; la maggioranza dei paesi ha inoltre firmato accordi come ad esempio gli obiettivi di riduzione delle emissioni di Kyoto: questo dimostra che sul piano nazionale ed europeo si spinge nella direzione di una maggiore diffusione dell'utilizzo delle biomasse e delle altre fonti rinnovabili.

L'energia da biomassa in Italia è una realtà consolidata da tempo, anche se per il momento il contributo della fonte biogena alla copertura del fabbisogno energetico nazionale è molto modesto: nel 1995 solamente 1,9 % dei consumi globali di energia primaria proveniva dal legno e dai rifiuti solidi agroindustriali. Numerosi ostacoli si frappongono alla realizzazione di nuove iniziative e alla penetrazione della biomassa nel mercato dell'energia. I maggiori ostacoli sono di natura politica e riguardano la mancanza di strategie e politiche agricole chiare e certe, come pure la provvisorietà di provvedimenti di carattere fiscale, normativo ed incentivante. Difficoltà economiche, organizzative e sociali hanno anch'esse una parte importante nell'ostacolare la diffusione della bioenergia.

A causa dei bassi prezzi delle fonti fossili, occorrono sforzi rinnovati per posizionare sul mercato gli impianti a biomassa di piccole dimensioni come alternative ecologiche ed economiche. Inoltre esistono nuove tecnologie di caldaie (a funzionamento automatizzato), nuovi combustibili (pellet) e nuove strategie di approvvigionamento (per esempio progetti di finanziamento tramite terzi per piccole reti di teleriscaldamento a biomassa).

### 1.4.1 Provenienza della legna da ardere

La legna da ardere proviene da fonti diverse. Le principali sono:

- · Ciocchi (tronchi squartati spezzettati): lunghezza = 25-30 cm
- · Fascine (arbusti e cespugli): lunghezza = 70-100 cm
- · Legna sminuzzata (rami): lunghezza = 3-12 cm
- · *Chips*: grandezza normalizzata = 40'20'10 mm
- · Trucioli e segatura (scarti di lavorazione)
- · Trucioli pressati (*pellet*)

#### *Pezzatura*

Si definiscono "chips di legna" i pezzi di legna ottenuti frantumando il legname a macchina. I chips di legna sono prodotti già da anni dall'industria di lavorazione del legno. Essi permettono di automatizzare la produzione, il trasporto e la combustione del legname. Per la produzione dei chips si utilizza legna di qualità inferiore, come quella di esbosco, le fascine, gli alberi da frutta, il legno riciclato (proveniente dalla demolizione di edifici) nonché i sottoprodotti di segheria. Le macchine sminuzzatrici riducono il legno in pezzature diverse. Per gli impianti di combustione automatici sono adatti i minuzzoli di dimensioni piccole (minori di 3 cm) e medie (minori di 5 cm); infatti, i pezzi troppo grossi potrebbero compromettere il funzionamento di tali impianti. Per ridurre il consumo di energia nella fase di frantumazione, sono in via di perfezionamento impianti di combustione per chips di dimensioni maggiori (fino a 20 cm).

#### *Truciolo pressato*

Il truciolo pressato è prodotto con svariati materiali, tramite pressione meccanica, ed in diverse misure. A seconda del procedimento di lavorazione e delle esigenze dei consumatori, si producono bricchette (per impianti alimentati manualmente) oppure pellet (per quelli automatici). Materiali

quali segatura, corteccia, che risultano difficili da trasportare e da bruciare, una volta pressati sono in grado di trovare una più vasta applicazione.

### *Tenore idrico*

Il tenore idrico dipende dal metodo di produzione e determina il valore e la conservazione del prodotto. Nel caso in cui il tenore idrico sia superiore al 25%, il materiale sminuzzato si riscalda e perde di sostanza, essiccandosi rapidamente. La massa secca si riduce e aumentano le emissioni di polveri. L'umidità influisce soprattutto sulle caratteristiche della combustione, mentre la pezzatura influisce sull'affidabilità di alimentazione e di caricamento dell'impianto.

## **1.4.2 Catene di approvvigionamento**

La produzione di chips di legna ad uso energetico comprende parecchi stadi di produzione, quali la frantumazione, l'immagazzinamento, l'essiccazione ed il trasporto. A seconda dell'origine della materia prima e delle esigenze degli utenti, queste fasi di lavoro possono essere collegate una con l'altra in cicli di lavorazione di diverso tipo, andando a costituire le cosiddette catene di approvvigionamento. Si distinguono fondamentalmente cinque tipi di tali catene, a seconda dei tipi di chips prodotti, del modo e del luogo di produzione, nonché dell'immagazzinamento.

### *Catena di approvvigionamento "sminuzzatura nel deposito intermedio"*

In tal caso il tondame è deposto ai margini di una strada forestale, da cui è trasportato ancora in pezzi completi fino ad un deposito intermedio in cui in seguito è sminuzzato e stoccato. Successivamente i chips sono caricati e trasportati fino al silo dell'utente in attesa di essere utilizzati. Il deposito intermedio presenta vantaggi e svantaggi:

- Vantaggi: consistono nella sicurezza di approvvigionamento e nella qualità costante dei minuzzoli.
- Svantaggi: i costi di investimento elevati riguardanti la costruzione del deposito.

### *Catena di approvvigionamento "sminuzzatura fissa nel silo"*

La preparazione della legna e l'approvvigionamento dell'utente sono del tutto uguali a quelle descritte in precedenza. Non si ha più un deposito intermedio con un solo sminuzzatore fisso, ma la legna è sminuzzata direttamente presso l'utente ed in seguito immagazzinata nel suo silo. Questa variante è adatta soprattutto per le segherie.

### *Catena di approvvigionamento "sminuzzatura mobile"*

La catena è nata dalla necessità di sfruttare e valorizzare la legna che si trova in prossimità delle scarpate (ferrovie, strade, corsi d'acqua) e quella derivante dalla potatura degli alberi e dalla pulizia successiva. Sul luogo è utilizzato un piccolo sminuzzatore semovente. I chips sono trasportati mediante un apposito contenitore presso la strada percorribile più vicina e riposti in un container. Il processo richiede molto tempo e la percentuale dei costi da attribuire alla sminuzzatrice è notevole. Per loro stessa natura, la qualità dei chips è soggetta a forti variazioni. Nell'insieme, tuttavia, il processo rappresenta un compromesso ammissibile fra eliminazione e sfruttamento a scopo energetico.

### *Catena di approvvigionamento "sminuzzatura nel bosco"*

In tal caso si rinuncia ad un immagazzinamento intermedio ed all'essiccamento. Si ha un solo deposito per il tondame in grado di resistere ai rigori dell'inverno, onde garantire l'approvvigionamento in terreni difficili. Nel caso ottimale, tutta la quantità necessaria di chips verdi è sminuzzata nel bosco durante la stagione calda. La produzione di chips verdi risulta quindi poco costosa, ma può essere presa in considerazione solamente nel caso in cui esistano degli impianti di riscaldamento adatti alla combustione di materiale fresco.



### *Catena di approvvigionamento “sminuzzatura fissa nel deposito di raccolta e di scelta*

Questa catena prevede un punto di raccolta regionale o di zona, il quale prende in consegna la legna, la sceglie e ne esegue la lavorazione, trasformandola in chips.

#### **1.4.3 Impianti di riscaldamento a legna**

La combustione costituisce il più antico e diffuso processo per l'utilizzazione energetica di residui di varia natura. Si ricorre alla combustione quando la percentuale di umidità presente nella biomassa è sufficientemente bassa: interessa quindi prevalentemente le biomasse di tipo ligno-cellulosico (legna proveniente dai tagli dei boschi), anche se possono subire lo stesso trattamento altri residui agricoli, quali, ad esempio, la paglia di cereali, la paglia o la lolla di riso<sup>1</sup>, i tutoli di mais. Con la combustione si realizza una completa ossidazione della biomassa attraverso una trasformazione dell'energia chimica in energia termica.

Si possono distinguere le due principali categorie di impianti seguenti:

- Impianti per il riscaldamento ausiliario: stufe di maiolica, stufe ad aria calda, caminetti, stufe a caminetto, stufe-cucina
- Impianti per il riscaldamento centralizzato: caldaie ad alimentazione manuale (caldaie a fuoco totale, caldaie a fuoco superiore, caldaie a fuoco inferiore), caldaie automatiche (impianti a caricamento inferiore, impianti a griglia, impianti con soffiante)

#### *Stufe e caminetti*

La stufa a legna ha riacquisito interesse negli ultimi anni quale impianto per la produzione di calore. Si lascia combinare in modo eccellente con i riscaldamenti centralizzati. All'inizio e alla fine della stagione fredda si può riscaldare con essa lo spazio abitativo senza dover accendere il riscaldamento centralizzato. Durante la stagione di riscaldamento, la stufa costituisce un ottimo complemento al riscaldamento centralizzato, innalzando la temperatura nei locali più utilizzati, mentre l'impianto centralizzato fornisce solo il cosiddetto “riscaldamento di base”. Le stufe devono presentare una costruzione a camera stagna, perché gli spifferi d'aria potrebbero causare una combustione incontrollata con eccesso d'aria. Le valvole dell'aria dovrebbero essere chiuse dopo la combustione totale per evitare un raffreddamento della stufa.

#### *Stufe di maiolica, stufe portatili*

Le stufe di maiolica con basamento e con i condotti dei gas in argilla refrattaria nei quali la legna possa subire una combustione completa rappresentano un'arte tecnica e artigianale raffinata nel campo della combustione del legno. L'energia accumulata nelle piastrelle di argilla emette un piacevole calore. La parte di calore trasmessa per irraggiamento è maggiore di quella trasmessa per convezione: un optimum nell'ottica fisiologica dell'abitare. Inoltre le stufe di maiolica conferiscono un'atmosfera piacevole e calda. In edifici con utilizzo passivo dell'energia solare e buon isolamento, la stufa di maiolica conosce una rinascita. Grazie alle modeste prestazioni caloriche necessarie in questi casi, la stufa di maiolica è in grado di riscaldare l'intera abitazione. Le stufe portatili sono piccole stufe di maiolica che servono per il riscaldamento di una camera. Vengono denominate in questo modo perché, non essendo murate, possono essere spostate.

#### *Stufe-cucina*

Le stufe-cucina presentano congiuntamente i vantaggi della cucina economica e della stufa da camera. Esse possono essere facilmente integrate in una combinazione di cucina, esattamente come le cucine a gas o elettriche. La cucina a legna può essere completata da una parete di piastrelle o da una panca di piastrelle. In questo modo il grado di efficienza migliora ulteriormente,

---

<sup>1</sup> La lolla di riso è il guscio del chicco che viene scartato durante la lavorazione, la paglia, invece, è lo stelo che poi viene tritato e usato come biomassa.

perché i gas combustibili cedono il loro calore anche alle piastrelle, che svolgono la funzione di accumulo di calore. Le stufe-cucina sono anche in grado di riscaldare l'acqua di un boiler. Nella maggioranza dei casi, però, lo scambiatore di calore per riscaldare l'acqua raffredda la zona di combustione, il che agisce contro una buona combustione. Poiché vengono installati circuiti chiusi ad acqua calda, il raffreddamento è comunque minore che nelle caldaie.

### Stufe ad aria calda

Le stufe ad aria calda trovano applicazione soprattutto in officine, stabili industriali e capannoni. L'aria viene riscaldata tra la zona di combustione e l'involucro della stufa. La circolazione dell'aria avviene tramite un ventilatore a più stadi.

## *Caminetti e stufe a caminetto*

I caminetti discendono dagli antichi focolari. La funzione del cucinare è diventata, nei moderni caminetti, di secondaria importanza. Importante è solo l'atmosfera che il fuoco vivo può creare. Sempre più proprietari di case valutano però la possibilità di utilizzare il caminetto non solo per creare l'atmosfera, ma anche per riscaldare. Un caminetto normale lascia fuoriuscire attraverso la canna fumaria da 300 a 500 m<sup>3</sup> di aria calda ogni ora. Questo movimento d'aria è necessario affinché il fumo non entri nei locali. L'aria che fuoriesce viene sostituita da aria esterna fredda, per cui viene allontanato più calore di quanto ne venga prodotto. I costruttori di caminetti risolvono questo problema chiudendo l'apertura della camera di combustione e convogliando l'aria esterna direttamente nel fuoco.

I caminetti aperti non sono riscaldamenti veri e propri, mentre quelli chiusi si comportano come delle stufe. Quando il caminetto non è utilizzato, la fuoriuscita d'aria all'esterno viene ridotta tramite la chiusura di una serranda. Le stufe a caminetto sono stufe portatili nelle quali lo spazio di combustione è chiuso da uno sportello. Lasciando aperto lo sportello la stufa a caminetto svolge la funzione di un caminetto, mentre per riscaldare lo sportello dovrebbe essere lasciato chiuso. Sono ideali per il riscaldamento veloce di ambienti abitati.

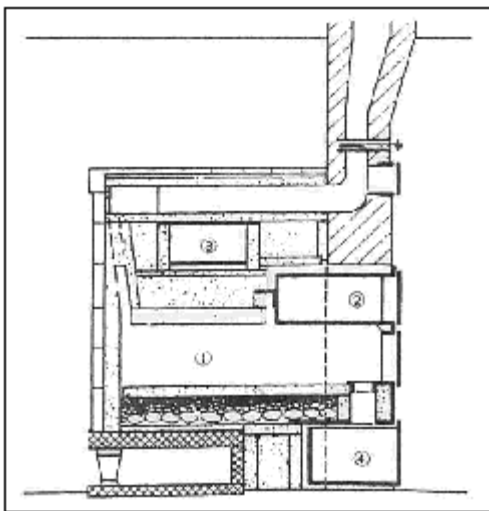


Fig. 4 - Stufa di maiolica: spazio di combustione e cottura (1), tubo di cottura (2), tubo di calore (3) e cassa per cenere (4).

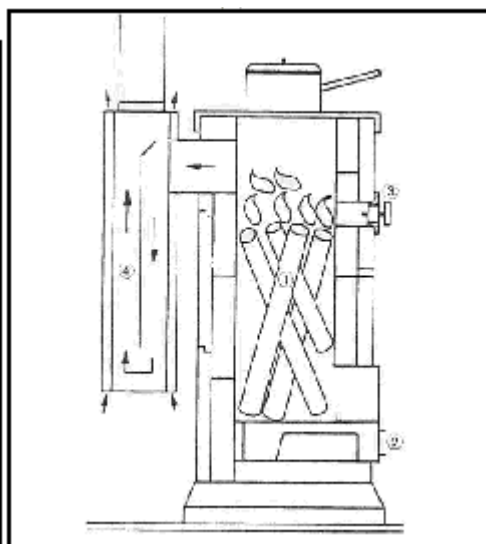


Fig. 5 - Stufa portatile: spazio di combustione (1), aria primaria (2), aria secondaria (3) e scambiatore di calore (4)

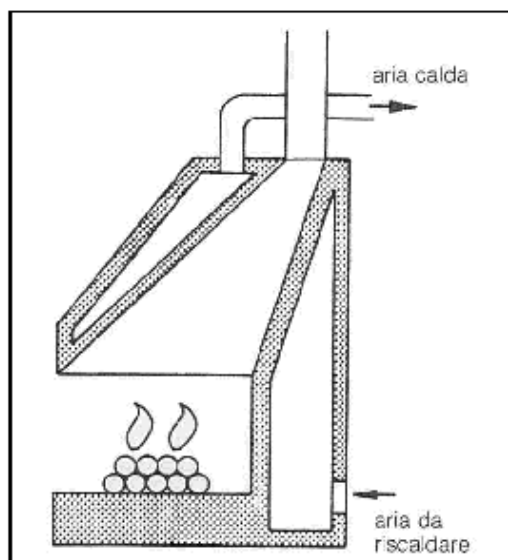


Fig. 6 – Caminetto ad aria calda

#### 1.4.4 Caldaie per il riscaldamento centralizzato

##### *Caldaie a pezzi di legna alimentate manualmente*

Dal punto di vista tecnico, le caldaie a pezzi di legna negli ultimi 15 anni hanno subito drastiche modifiche. Gli aspetti più importanti sono stati l'aumento dell'efficienza e la riduzione delle emissioni. Il fatto che il valore del rendimento sia raddoppiato ha comportato anche un aumento del comfort, perché la caldaia deve essere caricata la metà delle volte. Inoltre, con un serbatoio di accumulo ben dimensionato, in inverno è necessario caricare la caldaia di norma una sola volta al giorno. Nelle stagioni di transizione un caricamento può essere sufficiente per diversi giorni. Tuttavia questa modifica comporta anche un mutamento dell'atteggiamento dell'utente, perché il calore viene erogato anche se nel focolare non ci sono più braci. Questo significa che i miglioramenti tecnologici devono essere chiariti bene all'utenza, se si vuole sfruttare in modo veramente ottimale la potenzialità delle nuove caldaie con accumulo. Grazie alle modifiche tecniche, in particolare all'ottimizzazione della combustione (ventilatori, separazione di aria primaria e secondaria), nelle nuove caldaie anche lo sviluppo del fumo e degli odori durante il riscaldamento viene in gran parte evitato. Le agenzie per la diffusione delle energie rinnovabili devono tenere presente che l'opinione della gente si rifà in gran parte alle vecchie caldaie. Anche le schede tecniche dei vari produttori delle nuove caldaie possono chiarire l'enorme mutazione avvenuta. La tabella seguente riassume i principali vantaggi e svantaggi delle caldaie a pezzi di legna:

Vantaggi	Svantaggi
Bassi costi di investimento	Minore comfort (caricamento da eseguire ogni 1-3 giorni) rispetto alle altre varianti
Bassi costi combustibile	Molto lavoro dell'utente necessario per preparare il combustibile
Tecnologia nota e sicura (rendimento intorno al 90%)	Molto spazio necessario

Le caldaie manuali a pezzi di legna possono essere suddivise, a seconda del tipo di combustione, nelle seguenti categorie:

➤ Caldaia a fuoco totale

Tutto il combustibile nella caldaia è avvolto dalle fiamme. Una buona combustione si ottiene soltanto se la caldaia può essere azionata a pieno regime. La zona di post - combustione dovrebbe essere abbastanza grande e riscaldata, affinché la combustione dei gas sia pressoché totale. Dato che i gas combusti non passano attraverso il letto di carbone di legna, la loro combustione è più difficoltosa. Le caldaie a fuoco totale sono sensibili ad un alto tasso di umidità del legno, in quanto il processo di essiccazione raffredda la fiamma.

➤ Caldaia a fuoco superiore

La combustione del legno avviene dall'alto verso il basso nel pozzetto di riempimento. Per ottenere una buona combustione è necessaria una conduzione dell'aria relativamente costosa. Il legno contenuto nella caldaia deve essere bruciato completamente prima di poterla alimentare di nuovo, perché altrimenti il fuoco verrebbe coperto.

➤ Caldaia a fuoco inferiore

In questo tipo di caldaie solo l'ultimo strato di legna è avvolto dalle fiamme. Il combustibile attraversa nel pozzetto di riempimento le zone di essiccazione, di combustione senza fiamma e di combustione vera e propria.

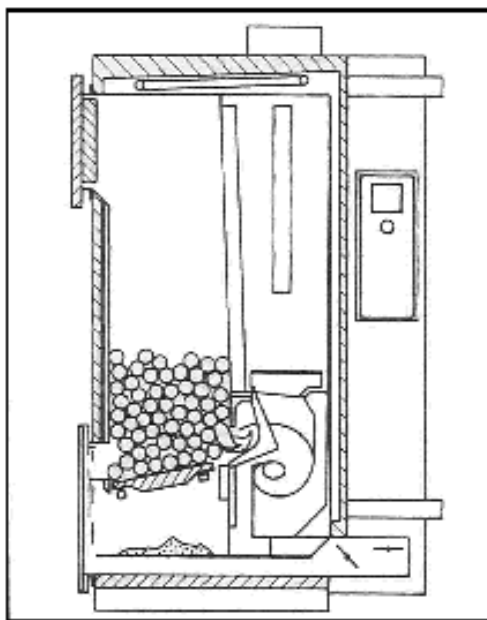


Fig 7 – Caldaia a fuoco inferiore

Lo strato di carbone di legna scinde i gas di pirolisi in gas facilmente combustibili prima che giungano nella zona di post - combustione. L'insufflazione dell'aria primaria e di quella secondaria possono essere efficacemente separate. Caldaie a fuoco inferiore ben concepite non sono suscettibili ad alti tassi di umidità del legno, poiché il combustibile viene essiccato prima di giungere nella camera di combustione. Durante il funzionamento, nella camera di combustione si raccolgono gas combustibili. Questi devono essere allontanati tramite condotti di aspirazione prima di introdurre altra legna, altrimenti sussisterebbe il pericolo dei cosiddetti colpi di fiamma, che possono venire provocati dal contatto con l'aria dei gas combustibili. Anche le caldaie a fuoco inferiore raggiungono la miglior combustione quando possono, grazie ad un accumulo, funzionare sempre con condizioni ottimali della fiamma.

### *Caldaie a chips a funzionamento automatico*

Con gli impianti di riscaldamento a chips di legna si è iniziato a percorrere la strada verso gli impianti a funzionamento automatico. Un problema di questi impianti è costituito dalla qualità del combustibile, la quale non può essere facilmente controllata, ma può variare anche di molto.

Per il buon funzionamento degli impianti è importante che i chips rispondano a determinati criteri di qualità. Un altro requisito essenziale del combustibile è la reperibilità. Se esso non è disponibile nelle immediate vicinanze, è necessario stoccarne una grande quantità. Per immagazzinare la quantità necessaria al funzionamento dell'impianto per un anno, occorrono 25 m<sup>3</sup> di spazio, che non sempre sono disponibili nelle costruzioni moderne. Questo problema può essere superato solamente con la diffusione capillare del mercato dei chips di legna. A causa degli alti costi di investimento rispetto ad altri sistemi di riscaldamento, gli impianti a chips di legna sono solitamente da considerare convenienti solo nel caso in cui l'utente abbia accesso diretto ad un combustibile a basso prezzo. Questo significa che gli impianti a chips sono una soluzione possibile per gli utenti in ambito agricolo, forestale e della lavorazione del legno.

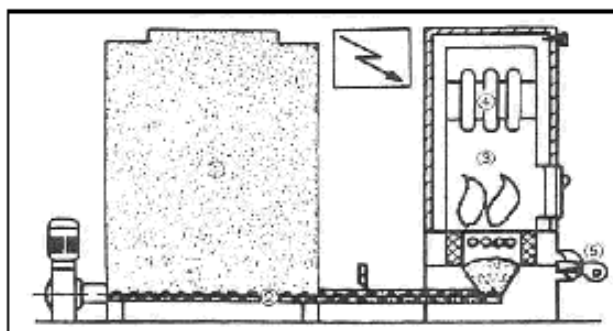
La tabella seguente riassume vantaggi e svantaggi degli impianti di riscaldamento a chips.

Vantaggi	Svantaggi
Alto livello di comfort grazie al funzionamento automatico	Maggiori costi di investimento
Prezzi convenienti del combustibile	Necessità di molto spazio e di un accesso per il trattore
Buona combustione e alto rendimento	Qualità e reperibilità del combustibile variabili

A seconda della tipologia di costruzione si distinguono i seguenti impianti di riscaldamento a chips di legna:

➤ Impianti a caricamento inferiore

Il combustibile viene spinto in una conca di combustione da un nastro trasportatore. La conca di combustione è costruita in acciaio o in argilla refrattaria. Un ventilatore soffia l'aria di combustione nella conca. Un apposito giogo di argilla refrattaria sopra la conca favorisce una combustione completa prima che i fumi raggiungano gli scambiatori di calore. La cenere può essere allontanata dalla conca di combustione tramite un aspiratore oppure mediante impianti di asportazione automatici. Per impianti di maggiori dimensioni dell'impianto è necessario installare un separatore delle ceneri volatili. Di seguito viene riportato lo schema relativo al funzionamento dell'impianto.

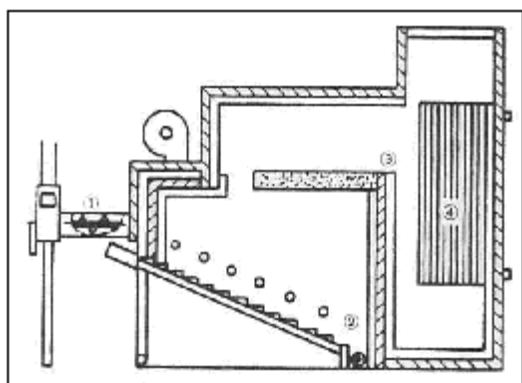


- (1) silo
- (2) regolazione
- (3) caldaia
- (4) scambiatore di calore
- (5) ventilatore per l'aria comburente

Fig. 8: Schema impianto a caricamento inferiore

➤ Impianti a griglia

Sono adatti per combustibili particolarmente ricchi di ceneri, come ad esempio la corteccia. La cenere può essere prelevata automaticamente. Sul mercato sono disponibili impianti a scaletta o girevoli. Tramite ventilatori vengono introdotte nella camera di combustione l'aria primaria (in basso) e l'aria secondaria (in alto). Gli impianti a griglia permettono un funzionamento completamente automatico e garantiscono un buon rendimento, per potenze che variano da 0,2 a 20 MW. I gas di combustione devono essere purificati da un separatore delle ceneri volatili. Di seguito viene riportato lo schema relativo al funzionamento di un impianto di questo tipo.



- (1) regolazione
- (2) zona di combustione a griglie
- (3) camera di post - combustione
- (4) scambiatore di calore

Fig. 9: Schema impianto a griglia

#### ➤ Impianti con soffiante

Sono impiegati soprattutto nelle industrie di lavorazione del legno. Segatura e polveri vengono soffiati nella camera di combustione. La combustione inizia già durante il trasporto, prima che le particelle legnose cadano sulla griglia. Qui si forma un letto di braci che resta acceso anche dopo la fine dell'operazione di caricamento del combustibile. Dopo lunghe interruzioni nell'esercizio l'accensione deve essere indotta con una fiamma a gas o gasolio. E' necessario installare un impianto di abbattimento delle polveri.

#### *Impianti automatici a pellet*

Con le caldaie a pellet è stato realizzato un impianto di riscaldamento centralizzato a legna che funziona del tutto automaticamente anche per piccole potenze (cioè al di sotto di 10 kW). Questo è possibile perché i pellet costituiscono un combustibile legnoso di qualità costante e garantita e che si comporta come un liquido. L'approvvigionamento del combustibile avviene tramite autobotte e successivo pompaggio nel magazzino. Da qui i pellet vengono trasportati automaticamente nella caldaia tramite una coclea o un sistema di trasporto pneumatico. In questo modo per l'utente il comfort è paragonabile a quello del gasolio. Con gli impianti di riscaldamento a pellet è possibile raggiungere anche quegli strati di popolazione che non hanno un diretto accesso al legno di provenienza agricola o forestale. Inoltre i pellet presentano una densità energetica molto alta. Questo si ripercuote sulla dimensione del magazzino, che diventa circa pari ad un serbatoio di gasolio. Dal punto di vista tecnico, i pellet rappresentano uno sviluppo dei chips di legna. Grazie all'omogeneità del combustibile gli impianti di riscaldamento a pellet possono essere regolati con precisione e rappresentano anche per questo un vantaggio di qualità per l'utente. La legna, e in particolare i pellet sono in vendita sul mercato dei combustibili. In questo modo agli utenti è garantita una notevole sicurezza di approvvigionamento. Oltre alle caldaie a pellet, esistono anche soluzioni che prevedono una combinazione del riscaldamento centrale a pellet con una stufa di ceramica. In questo modo si può ottenere l'atmosfera della stufa con il comfort di un riscaldamento automatico a pellet.

La tabella seguente riassume i principali vantaggi e svantaggi di un riscaldamento a pellet:

Vantaggi	Svantaggi
Alto livello di comfort grazie al funzionamento automatico (come per il gasolio)	Maggiori costi di investimento rispetto al gasolio
Piccola dimensione del magazzino	Il magazzino per i pellet deve essere asciutto
Il combustibile è in commercio	Il mercato per i pellet è di recente costituzione



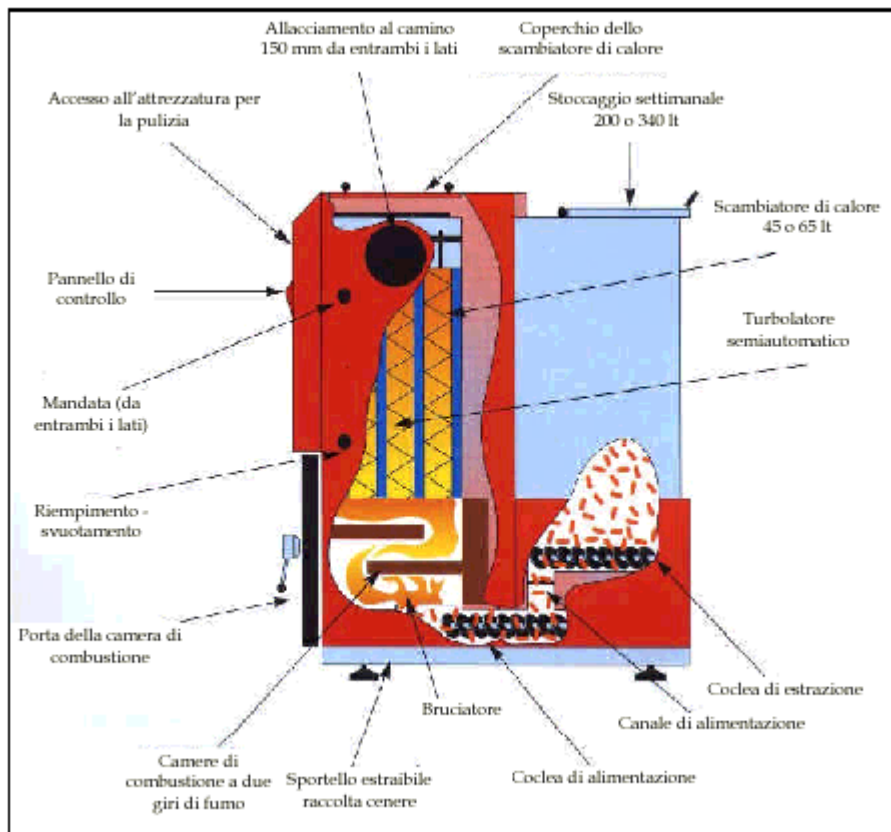


Fig 10- Schema di un impianto a pellets

### Serbatoio di accumulo

Soprattutto per i sistemi di riscaldamento a pezzi di legna è necessario installare un accumulo di acqua calda. Ma anche per le caldaie a chips e a pellet ha senso installare almeno un piccolo serbatoio. L'accumulo serve per sfruttare meglio l'energia e per innalzare il livello di comfort dell'utente:

- La mattina si può riscaldare senza dover accendere la caldaia
- Si rende possibile una regolazione dipendente dalla temperatura esterna
- Nelle stagioni di transizione il calore non va nel camino, ma nell'accumulo
- E' possibile integrare i collettori nel sistema di riscaldamento.

Il volume dell'accumulo ( $V_{acc}$ ) dipende dal volume di riempimento della caldaia, dal potere calorifico del combustibile (per il legno di pino 1,5 kWh/l), dalla potenza nominale della caldaia ( $P_N$ ) e dal carico termico dell'edificio ( $P_{tot}$ ).

$$V_{acc} = (P_N [kW] - P_{tot} [kW]) \cdot \frac{20 \cdot 0,7 \cdot \text{PotereCalorifico} [kWh/l] \cdot \text{SpazioRiempimento} [l]}{P_N [kW]}$$

Questa formula fornisce un buon valore di riferimento nel caso di caldaie a pezzi di legna. Se grandi superfici di collettori solari vengono integrate nel sistema di riscaldamento, questa formula non è più valida. Come indicazione per il dimensionamento dell'accumulo si può considerare: almeno 40 l/kW; almeno 800 l. Di norma si installano accumuli di 1000 l. In particolare per l'integrazione del riscaldamento con pannelli solari e per l'ulteriore miglioramento delle condizioni di comfort con i sistemi di riscaldamento a legna si installano volumi ancora maggiori (per esempio 2 accumuli da 1000 l). Per dimensionamenti più precisi si possono consultare le documentazioni delle aziende produttrici di caldaie, che solitamente si basano sulla norma EN 303-5.

### 1.4.5 Varianti di utilizzo: riscaldamento individuale/centralizzato, microreti, teleriscaldamento

La presente documentazione si concentra soprattutto sugli impianti di riscaldamento singoli, ma con l'introduzione degli impianti a funzionamento automatico, la legna diventa applicabile anche al **riscaldamento centralizzato** di condomini. Poiché il costo del personale si riduce al controllo (che è comunque necessario anche per altri tipi di impianti) e allo smaltimento delle ceneri (che può essere compreso nel contratto di fornitura del combustibile), l'impegno richiesto da un sistema di riscaldamento a legna diventa di poco superiore rispetto a uno a gasolio, e presenta vantaggi superiori. Da qualche anno, a partire dall'Alto Adige, anche in Italia si stanno diffondendo delle piccole **reti di teleriscaldamento** a legna. Questo significa che le case e le altre utenze (edifici comunali, hotel, ecc.) ricevono il calore tramite l'acqua calda trasportata da una rete e prodotta in un unico impianto di maggiori dimensioni (potenza installata da 1 a 10 MW).

Oltre alle reti di teleriscaldamento vanno affermandosi, soprattutto in Austria, le **microreti** (con potenza installata intorno ai 200 kW). Questa concezione è applicabile in zone con minore densità abitativa, dove il teleriscaldamento non risulterebbe più economico. Queste soluzioni decentrate non offrono solamente i vantaggi di un minore costo di investimento, di minori perdite nella rete e minor costo dell'elettricità per il funzionamento delle pompe di circolazione, ma permettono anche di realizzare poco per volta degli investimenti meglio sorvegliabili e con minore rischio rispetto alle reti maggiori.

#### *Comfort, comportamento dell'utente*

Un pregiudizio comune nei riguardi della biomassa è che non può garantire lo stesso livello di comfort offerto dai combustibili fossili. Tuttavia, grazie agli impianti moderni, la quantità di tempo e di lavoro richiesta si è notevolmente ridotta. Nell'ambito di un progetto europeo (progetto ALTENER "Woodman", Istituto di energetica del Vorarlberg -Austria) sono stati prodotti dei dati riguardanti il tempo di lavoro richiesto dall'esercizio di un sistema di riscaldamento a legna. Per il caso dei chips si sono ottenuti i seguenti risultati, riportati nella tabella seguente:

Modo di approvvigionamento del combustibile	Preparazione del combustibile	Funzionamento dell'impianto
In proprio	63 h/a	13 h/a
Acquisto	5 h/a	28 h/a

Per i pellet, a causa della maggior facilità di utilizzo, i tempi si riducono ulteriormente.

#### *Comfort nell'alimentazione della caldaia*

Con le caldaie a pezzi di legna, che offrono vantaggi di costo, a causa dell'accensione e dell'alimentazione manuali, si ottiene un comfort minore. Tuttavia anche in questo ambito sono stati fatti notevoli passi avanti. Il rendimento della caldaia negli ultimi 15 anni si è innalzato considerevolmente, inoltre gli edifici moderni vengono costruiti con maggiore attenzione al risparmio energetico; tutto ciò comporta un minore fabbisogno di combustibile e quindi maggiori intervalli di tempo tra successivi caricamenti. Grazie al rendimento quasi raddoppiato e l'utilizzo di accumuli ben dimensionati, nelle stagioni di transizione occorre caricare la caldaia solamente una volta ogni 2-4 giorni. Con i sistemi di riscaldamento a pellet si è fatto un ulteriore salto di qualità nel miglioramento del comfort. L'impianto con magazzino settimanale, che come investimento è paragonabile ad un impianto a gasolio, richiede di riempire il serbatoio durante il fine settimana. L'impianto con magazzino stagionale, sebbene più costoso, presenta lo stesso comfort garantito dal gasolio, con i vantaggi dati dal prezzo del combustibile e dal buon profumo che si diffonde per la casa.



### *Comfort nell'approvvigionamento del combustibile*

Il vantaggio che prima era solo del gasolio (la consegna tramite autobotte) è stata ormai raggiunta dalla biomassa soprattutto grazie ai pellet. Per i chips è necessaria una via d'accesso che possa essere percorsa dal trattore con rimorchio, ma non è richiesto all'utente di svolgere del lavoro.

Gli impianti a chips hanno superato le difficoltà iniziali e costituiscono ormai un sistema privo di difetti. Tuttavia, a causa dello spazio necessario per lo stoccaggio, gli impianti a chips possono essere installati in modo ottimale solamente in ambito agricolo. Comunque, nel caso che i chips siano disponibili come residuo, l'installazione di un sistema simile può risultare senza dubbio conveniente. Il vantaggio dei sistemi di riscaldamento a chips emerge soprattutto negli impianti di maggiori dimensioni (teleriscaldamento a biomassa, impianti industriali, impianti centralizzati in condomini).

### *Comfort per le attività collaterali (asportazione delle ceneri)*

Nelle vecchie caldaie, a causa della cattiva combustione, la produzione di ceneri era molto alta, per cui l'asportazione delle ceneri doveva avvenire ogni 1-2 giorni. Grazie ad un miglioramento drastico delle caldaie a pezzi di legna questa frequenza è stata ridotta a 1-2 volte alla settimana. Con i riscaldamenti a chips e a pellet è stato fatto un altro passo avanti in direzione di un maggiore comfort. A seconda della qualità dei chips, la frequenza di asportazione della cenere si aggira intorno a una volta a settimana. Negli impianti a pellet la cenere deve essere asportata una volta ogni 2-3 mesi (a seconda del tipo e del consumo di pellet). Il contenuto di ceneri è pari a circa lo 0,5% del volume totale, cioè 1 m<sup>3</sup> di pellet corrisponde a meno di 3 kg di cenere.

### *Odori*

Chi passa dal legno al gasolio, si accorgerà chiaramente dei vapori causati dal gasolio. Il legno, a causa della resina, ha per la maggior parte delle persone un buon odore, mentre per molti l'odore del gasolio è fastidioso. L'odore dei fumi di scarico, al giorno d'oggi, è irrilevante, sia per il gasolio che per la biomassa. Senza dubbio, però, anche questo è rimasto un pregiudizio nei confronti della legna, perché i vecchi impianti in primo luogo presentavano una combustione incompleta, e quindi degli alti livelli di emissioni; inoltre, gli impianti a legna venivano utilizzati come inceneritori privati di rifiuti, abitudine che causava emissioni di sostanze inquinanti e di odori.

### **1.4.6 Sfruttamento combinato di energia solare ed energia da biomassa**

La combinazione dei collettori solari con una caldaia a biomassa e un serbatoio di accumulo rappresenta una soluzione ottimale:

- Tramite i collettori solari può venire coperto il fabbisogno estivo di acqua calda sanitaria.
- Grazie all'accumulo l'energia solare può venire utilizzata anche nelle stagioni di transizione.
- Inoltre l'accumulo serve anche per lo sfruttamento ottimale del riscaldamento a legna nelle stagioni di transizione.
- In inverno l'energia solare disponibile può servire per il preriscaldamento dell'acqua.
- La fonte di energia maggiormente sfruttata in inverno è la legna.

Questo sistema offre all'utente condizioni di comfort ottimali e il migliore sfruttamento possibile dell'energia proveniente dal sole e dalla biomassa. L'illustrazione seguente mostra lo schema idraulico relativo ad una possibile combinazione tra legna ed energia solare.

1. collettori solari
2. caldaia a legna
3. serbatoio di accumulo con boiler e convertitore di calore solare
4. distribuzione acqua calda sanitaria
5. circuito di riscaldamento
6. vaso di espansione

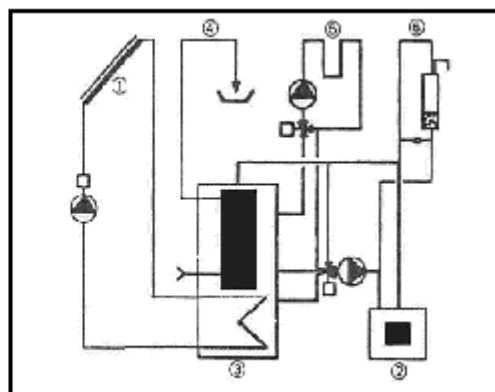


Fig 11: Sfruttamento combinato di energia solare e di energia da biomassa

## 1.5 La tecnologia della cogenerazione e teleriscaldamento

### 1.5.1 Premessa

Il teleriscaldamento è il termine utilizzato in Italia per definire quello che in genere in letteratura internazionale viene chiamato più propriamente "riscaldamento di quartiere" (District Heating).

Si tratta di una infrastruttura tecnologica costituita da una rete di doppie tubazioni (una per l'andata e l'altra per il ritorno) di acqua calda (temperature comprese in genere tra i 90 °C ed i 120 °C).

La distribuzione di acqua calda agli edifici di una città consente di sostituire l'impiego delle caldaie degli impianti di riscaldamento con evidenti vantaggi pratici, in genere molto apprezzati dai cittadini, come dimostrato dalle diverse applicazioni ormai operanti da anni nel nostro Paese (Brescia, Reggio Emilia, Cremona, Sesto San Giovanni).

La distribuzione di acqua calda si giustifica però quando questa è a sua volta resa disponibile a condizioni economiche vantaggiose, sufficienti cioè a compensare i costi di investimento, di gestione e manutenzione della rete di tubazioni. Questa situazione si realizza in genere quando il calore distribuito è costituito in pratica da un "sottoprodotto" della produzione di energia elettrica. Si parla in questo caso di "cogenerazione".

La cogenerazione di energia elettrica e termica può risultare una delle opzioni più promettenti per il miglioramento del sistema energetico urbano e la riduzione delle emissioni di gas di serra. In generale, si possono distinguere diversi tipi di applicazione della cogenerazione:

Essa viene realizzata mediante centrali termoelettriche di diverso tipo, dai motori diesel per impianti di piccola taglia, fino agli impianti a ciclo combinato per impianti di grossa taglia.

- a) Cogenerazione nelle **grandi centrali termoelettriche** con allacciamento ad una rete di teleriscaldamento su scala urbana. Potenza elettrica tipica per centrale: 100-1000 Mwe. Per problemi di accettazione (impatto ambientale e visivo, problemi di rischio), centrali di potenza elevata vengono localizzate generalmente lontano dai centri urbani e quindi l'utilizzo del calore attraverso reti di teleriscaldamento è spesso impossibile.
- b) Cogenerazione nell'**industria**, soprattutto dove si trovano cicli produttivi con consumo elevato e contemporaneo di energia elettrica e vapore di processo. Le centrali funzionano generalmente durante tutto l'anno. Potenza elettrica tipica: 10-100 Mwe.
- c) Cogenerazione negli **inceneritori di rifiuti solidi urbani**, che si trovano in genere vicino ai centri urbani e quindi sono ideali per l'utilizzo del calore per il teleriscaldamento urbano. Gli inceneritori funzionano durante tutto l'anno. Potenza elettrica tipica: 5-50 Mwe.
- d) Cogenerazione di **quartiere o di isolato**. I motori primi sono di potenza piccola e funzionano soltanto quando c'è una richiesta di energia termica perché il costo del kW non è compatibile con i prezzi di mercato nel caso della sola produzione elettrica. Il rendimento globale è, perciò, molto alto. Le ore di funzionamento oscillano tipicamente fra 3500-5000 h/a. Potenza elettrica: 1-10 Mwe.
- e) Cogenerazione in **singoli edifici** o per singoli utenti, spesso definita anche come **micro-cogenerazione**. Il funzionamento ed il rendimento sono come nella cogenerazione di quartiere. Potenza elettrica: << 1 Mwe.

### 1.5.2 Micro-cogenerazione

La produzione contemporanea di energia elettrica e calore con impianti piccoli è una tecnologia ormai matura da molto tempo. La cogenerazione è una tra le soluzioni migliori per realizzare un sistema di produzione energetica decentralizzato. La produzione locale di energia elettrica avviene in prossimità dell'utenza, riducendo le perdite di trasporto e aumentando il rendimento energetico complessivo. La piccola cogenerazione, o micro – cogenerazione, è caratterizzata da un basso impatto ambientale, con conseguente avvicinamento agli obiettivi del protocollo di Kyoto.

La cogenerazione di piccola taglia, con una potenza elettrica inferiore a 1 MWe, può essere applicata in ospedali, alberghi, centri commerciali, centri sportivi e piscine, grandi complessi residenziali, serre e piccole/medie industrie. Per motivi gestionali ed economici, tali impianti risultano convenienti quando viene utilizzato quasi tutto il calore da parte dell'utenza.

Ultimamente si stanno sviluppando i dispositivi che utilizzano biogas come combustibile (p.e. da discariche, depuratori, aziende di allevamento di bestiame). Il recupero di calore, in questo caso, è ridotto rispetto all'uso di combustibili tradizionali.

In Europa la micro cogenerazione ha avuto un forte sviluppo soprattutto in Olanda (più di 2500 impianti), Germania (1600 impianti), Regno Unito (1200) e Danimarca. In Italia sono stati realizzati circa 700 impianti con una potenza elettrica inferiore a 1.000 kWe.

### 1.5.3 Le tecnologie

I moduli cogenerativi vengono tipicamente forniti come impianto “chiavi in mano”. Si basano su motori a combustione interna a ciclo otto o ciclo diesel o su micro – turbine. Più recentemente stanno emergendo nuove tecnologie, come cogeneratori a motore Stirling, o celle a combustibile, dispositivi in grado di trasformare direttamente l'energia chimica del combustibile in energia elettrica.

Motore primo	Combustibile	Rendimento el.	Rendimento globale
Motore ciclo otto	gas naturale, gpl, biogas	0,25 – 0,38	0,80 – 0,92
Motore ciclo otto a combustione magra ( $\lambda=1,6..1,8$ )	gas naturale, gpl, biogas	0,30 – 0,38	0,80 – 0,92
Motore ciclo diesel	gasolio, bi-fuel (miscela gas e gasolio)	0,33 – 0,42	0,75 – 0,85
Micro-turbine	gas naturale	0,2 – 0,33	0,75 – 0,85
Pile a combustibile	gas naturale	0,4 – 0,5	0,9
Motore Stirling	tutti combustibili	?	0,9

Tabella 8: Caratteristiche delle principali tecnologie di cogenerazione di piccola taglia.

Sono disponibili diverse tecnologie speciali con p.e.:

- Condensazione dei gas di scarico (7 - 10% in più di potenza termica)
- Recupero delle perdite di calore con una pompa di calore direttamente alimentata dal motore (10 - 12% in più di potenza termica)
- Sistema di raffreddamento caldo con produzione di acqua surriscaldata a 125°C, con la possibilità di alimentare un impianto di assorbimento per il raffrescamento estivo di edifici
- Sistema di raffreddamento con produzione di vapore a bassa pressione per processi industriali

### 1.5.4 Costi ed economia

I costi specifici di investimento e di produzione di un impianto di cogenerazione dipendono fortemente dalla potenza installata. Una prima stima di tali costi è rappresentata in figura 7. Il costo medio di investimento per un impianto (modulo cogenerativo, impianti ausiliari, montaggio) varia tra 9.000.000 £/kWe per le piccole potenze, a 1.100.000 £/kWe per un impianto di 1.000 kWe. Gli

impianti ausiliari (impianto elettrico, serbatoio calore, caldaie di integrazione, centralina, ecc.) contribuiscono per il 50% al costo complessivo (30% per gli impianti più grandi). Il costo della chilowattora elettrico autoprodotta tiene conto di quattro elementi: costi di investimento, costi di gestione e manutenzione (O&M), costo del combustibile e ricavi dal recupero di energia termica. Gli eventuali ricavi dalla vendita di eccedenze di energia elettrica non vengono considerati perché si assume che tutta l'energia elettrica autoprodotta venga assorbita internamente, cioè senza ricorrere a scambi con la rete. I costi di produzione calcolati variano tra 274  $\text{£/kWh}_e$  per un cogeneratore di 7 $\text{kW}_e$  e 71  $\text{£/kWh}_e$  per un cogeneratore di 1000  $\text{kW}_e$ . Considerando le tariffe elettriche in vigore per clienti vincolati (circa 400 – 144  $\text{£/kWh}_e$ ), si ottengono tempi di ritorno del investimento compresi tra 3 – 8 anni.

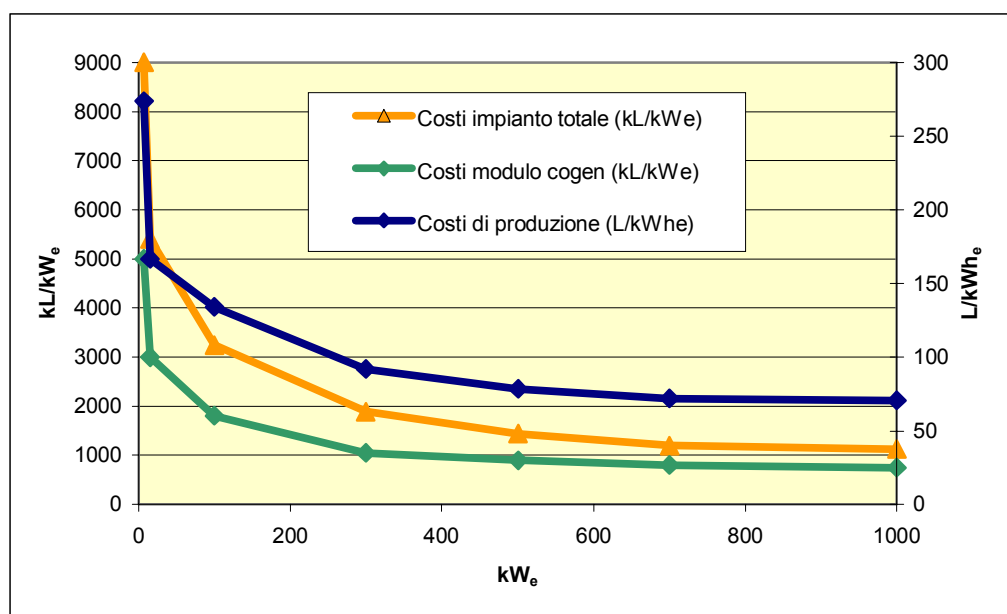


Fig.7: Costi specifici d'investimento e di produzione dell'energia elettrica (al netto del risparmio ottenuto dal recupero del calore). Assunzioni di base: funzionamento: 4000 h/a, durata dell'impianto: 15 anni, tasso di sconto: 6%, tariffa gas per cogen: 600  $\text{L/Nm}^3$ , tariffa gas per riscaldamento: 1000  $\text{L/Nm}^3$

## 1.6 Esempio 1 - Risparmio energetico negli edifici.

Per meglio comprendere i risultati di una serie di azioni di risparmio per il settore civile termico, si è considerato l'esempio di un classico blocco di edilizia popolare. Sono stati applicati interventi di risparmio energetico e dispositivi di riscaldamento avanzati. Nella tabella seguente si riportano i dati di base dell'edificio, cioè quelli antecedente i possibili interventi di risparmio. Si assume che alcuni interventi di rinnovo siano comunque pianificati. Nella tabella 9 sono riassunte le azioni di risparmio e i costi aggiuntivi. I valori sono una prima stima sulla base delle informazioni disponibili in questa fase. Ulteriori elaborazioni richiedono informazioni più particolareggiate.

Descrizione dell'edificio\*)

		Per edificio	totale
Numero di edifici:			6
Numero di appartamenti		20	120
Numero di residenti		40	240
Anno di costruzione		1958	
Volume lordo	m <sup>3</sup>	4950	29700
Superficie Lorda di Pavimento	m <sup>2</sup>	300	1800
Superficie lorda	m <sup>2</sup>	1500	9000
Superficie riscaldata	m <sup>2</sup>	1200	7200
Superficie del tetto massima disponibile	m <sup>2</sup>	90	540
Impianto di riscaldamento	Impianto centralizzato (metano) per riscaldamento e ACS, temperatura di progetto 90/70 °C, $\eta_{tot} = 0,60$		
Fabbisogno termico per il riscaldamento ambienti	MWh/a	247.9	1487.4
Fabbisogno termico per la produzione di ACS	MWh/a	33.0	198.0
Fabbisogno termico totale	MWh/a	280.9	1685.4
Consumo totale di gas	MWh/a	468.2	2809.0
Coefficiente energetico	kWh/(m <sup>2</sup> a)		390

\*) Si suppone che le seguenti azioni di manutenzione per il blocco di edifici sia eseguito nel contesto di una normale gestione degli edifici

- Nuovo sistema di boiler – temperatura di progetto 90/70 °C,  $\eta_{tot} = 0.7$

- Ristrutturazione delle facciate

Tabella 11: Dati standard del blocco.

Il coefficiente energetico, che rappresenta il consumo di energia primaria relazionato alla superficie da scaldare, ammonta a circa 390 kWh/m<sup>2</sup> anno. Tutti i risparmi energetici seguenti sono relazionati a questo valore.

Interventi di risparmio energetico	Coeff. Energetico (energia primaria)	Risparmi	Costi aggiuntivi per m <sup>2</sup>	Costi totali
	kWh/(m <sup>2</sup> a)	%	kL./m <sup>2</sup>	kL.
Versione base	390		-	
Sostituzione dei serramenti: $k = 2,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	319	18.2	22.4	161.280
Caldaia a condensazione $\eta_{tot} = 0,8$	239	25.1	35.9	97.200
Isolamento delle coperture, $k = 0.33 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	224	6.3	50.9	108.000
Isolamento delle solette $k = 0.43 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	211	5.8	75.9	180.000
Impianto solare termico $f_{sol} = 11 \%$	187	11.4	135.9	432.000
Isolamento delle pareti: $k = 0.32 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	129	31.0	215.1	570.240

Tabella 12: Interventi di risparmio energetico

L'energia totale risparmiata se tutte le misure venissero applicate ammonta al 67% rispetto alla versione base. Il costo totale per il blocco dei sei edifici è di £ 1.548.700.000.

La figura seguente illustra graficamente il rapporto costi/benefici in funzione degli interventi considerati.

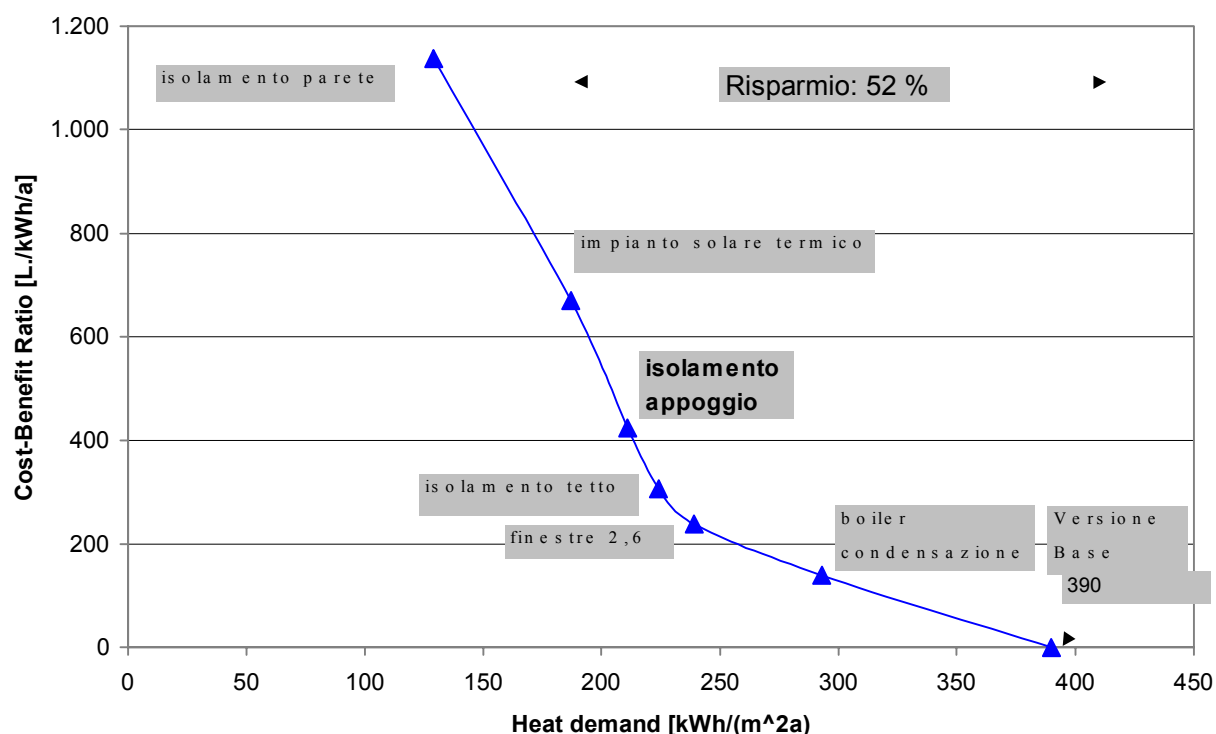


Fig 16: Rapporto costi/benefici degli interventi di risparmio

Gli interventi sugli edifici devono essere eseguiti molto attentamente, in modo da evitare fessure o spifferi attraverso l'involucro e limitare al massimo gli inconvenienti legati ai ponti termici.

Ogni edificio è dotato di un impianto centralizzato per la produzione e l'accumulo di ACS. Per il corretto funzionamento delle caldaie a condensazione sono necessari un sistema di riscaldamento e di produzione di ACS ben bilanciati. E' ovviamente indispensabile una rete di distribuzione dell' acqua calda sanitaria e i tubi devono essere il più corti possibile.

Per gli impianti solari si rende necessario un ulteriore sistema di accumulo (incluso nei costi). Lo schema di un simile impianto è lo stesso dell'impianto di riscaldamento di grandi dimensioni con accumulo giornaliero senza la rete di distribuzione all'esterno.

I collettori dovrebbero essere preferibilmente installati sulle coperture degli edifici. L'orientamento (azimuth) dovrebbe essere tra 50° SW e 50° SE, con una inclinazione tra 15° e 45°.

Per impianti solari di grandi dimensioni è possibile utilizzare moduli (> 5 m²) integrati nel tetto che sostituiscono le vecchie tegole, così come elemnti solari che fungono da copertura (tetti solari superiori a 20 m²). L'installazione dei moduli solari sui tetti piani, con eventuali strutture di sostegno spesso risultano più costosi rispetto a soluzioni integrate nel tetto a causa della inevitabile manutenzione dovuta agli agenti atmosferici.

## 1.7 Esempio 2 - Cogenerazione in un centro ospedaliero.

A scopo dimostrativo viene descritto un impianto di cogenerazione realizzato nell'ospedale di Penne (PE). La struttura, con volumetria riscaldata di 68.000 m<sup>3</sup> è dotata di 254 posti letto e corredata da moderne sale operatorie e servizi diagnostici avanzati. I dati caratteristici dell'impianto, il bilancio energetico ed economico e i costi di produzione specifici sono elencati nelle tabelle 9 – 10. L'impianto ha dimostrato alta affidabilità durante i primi quattro anni di funzionamento. L'investimento aggiuntivo iniziale è stato ripagato attraverso il risparmio annuale sulla bolletta energetica dopo meno di 3 anni.

<b>Potenza termica</b>	
Generatori di acqua calda	5.116 kW
Cogeneratore	340 kW
<b>Potenza elettrica</b>	
Potenza impegnata	230 kW
Potenza del cogeneratore	180 kW
<b>Costo del sistema di cogenerazione</b>	<b>320 ML</b>

Tabella 9: Potenze installate e costi iniziali.

		Situazione iniziale	Situazione in cogenerazione
<b>Energia termica</b>			
Combustibile (gas naturale)	Nm3	635.000	730.000
Energia utile caldaia	MWh	4.900	3.000
Energia utile cogeneratore	MWh	-	1.800
Costo (compr. defiscalizz.)	ML	460	450
<b>Energia elettrica</b>			
ENEL	MWh	1.350	370
Cogeneratore autoconsumo	MWh	-	970
Cogeneratore scambio	MWh	-	-
Costo *	ML	200	55
Manutenzione cogeneratore	ML	-	24
<b>Boll. energetica – Tot. costo</b>	<b>ML</b>	<b>662</b>	<b>530</b>
Energia primaria	tep	834	690
Risparmio economico	%		20

Tabella 10 Bilancio energetico ed economico prima e dopo l'installazione del cogeneratore.

\* escluso il costo per l'impegno di potenza e l'IVA



## 2. Gli usi elettrici

### 2.1 Premessa

I consumi elettrici rappresentano tipicamente il 15-20% del bilancio energetico di un Comune e pesano ancor di più sul bilancio delle emissioni (25-35%). Nell'ambito di una politica rivolta alla riduzione delle emissioni secondo quanto concordato dall'Italia nell'incontro di Kyoto, gli interventi nel settore elettrico risultano in diversi casi particolarmente interessanti (per efficacia di penetrazione e rapidità di implementazione). Gli interventi riguardano diversi usi finali e diverse tecnologie a seconda del macrosettore economico in esame (domestico, terziario, industria). Anche i costi per le tecnologie efficienti risultano differenziati secondo i macrosettori. Nel seguito riportiamo per i diversi usi finali le soluzioni tecnologiche ad alta efficienza, là dove possibile confrontate anche rispetto all'indicatore di efficienza economica *cost-benefit ratio*, dato dal rapporto tra l'extracosto iniziale (rispetto alla soluzione convenzionale) e il risparmio energetico ottenibile in un anno<sup>2</sup>.

In alcuni esempi di applicazione delle tecnologie efficienti si è fatto uso anche di un secondo indicatore economico, il costo dell'energia risparmiata (CER), che è dato dalla seguente formula:

$$CER = \frac{( \text{investimento iniziale} / \text{fattore di attualizzazione annuo} ) + \text{costo annuo di G\& M}}{\text{risparmio di energia annuo}}$$

L'investimento capitale iniziale può essere costituito dal costo pieno di una misura di risparmio o dal suo extracosto rispetto ad un dispositivo di efficienza standard.

Il fattore di recupero del capitale ripartisce l'investimento capitale iniziale in un numero di anni  $n$  pari al tempo di vita del dispositivo ad alta efficienza in questione, tenendo conto del tasso di interesse.

I costi annuali di G&M -*gestione e manutenzione*- (spese di personale, materiali, ecc.) generalmente cambiano con l'introduzione del dispositivo ad alta efficienza. In esse inseriremo anche le eventuali riduzioni di costi fissi relativi alla potenza impegnata nella fornitura elettrica: per es. una lampada fluorescente compatta (CFL) che sostituisce una lampada ad incandescenza comporta una riduzione sia dei costi di manutenzione (maggiore durata della lampada) sia della potenza (per cui l'installazione di CFL può comportare una riduzione della potenza impegnata, tipicamente per utenze del terziario). La somma delle spese annue di G&M e della quota annua di recupero del capitale costituisce la spesa totale annua. Dividendola per il risparmio di energia relativo ad un anno si ottiene il costo dell'unità di energia risparmiata.

L'indicatore costo dell'energia risparmiata è espresso nelle stesse unità di un prezzo o costo dell'energia (£/kWh). Nel seguito verrà espresso in Lire reali (si utilizza il tasso di sconto reale, depurato dell'inflazione).

Un CER inferiore al prezzo del kWh elettrico stabilisce la fattibilità dell'intervento di risparmio.

### 2.2 Illuminazione

#### 2.2.1 Illuminazione di interni

L'efficienza nell'illuminazione di interni può essere migliorata grazie a:

- incremento dell'efficienza luminosa delle sorgenti (includendo i sistemi di alimentazione della lampada) e dell'efficienza ottica degli apparecchi illuminanti
- progettazione dell'intero sistema di illuminazione considerando la possibilità di sfruttamento dell'illuminazione naturale (*daylighting*), le esigenze di comfort dell'utente, la possibilità di utilizzo di sistemi di controllo, automatici o meno, per regolare l'intensità di luce emessa dalle sorgenti in base eventualmente alla presenza delle persone nei locali.

<sup>2</sup> Da questo indicatore si passa al pay-back semplice dividendo il valore ottenuto per il numero di anni di vita della tecnologia.

Le soluzioni tecnologiche sono le seguenti:

**illuminazione fluorescente:**

- è la soluzione più confortevole in quanto consente l'illuminazione generale del locale, garantendo uniformità di illuminamento senza provocare problemi di abbagliamento (grazie ai nuovi apparecchi ad ottica speculare, con schermatura a griglia, ad elevato rendimento ottico); la resa cromatica delle fluorescenti è del resto ormai ottima, del tutto equivalente alle lampade ad incandescenza
- è disponibile anche in versione per apparecchi da tavolo;
- è la soluzione più efficiente ed economica: garantisce un risparmio dal 60% all'80% rispetto alle incandescenti/alogene e una durata di 8-10 volte rispetto a quella di una lampada ad incandescenza

**alimentazione elettronica (in alta frequenza):**

- aumenta il comfort (assenza di: ronzio, effetto stroboscopico, sfarfallii a fine vita della lampada)
- aumenta la durata della lampada (fino al 50% in più)
- riduce i consumi elettrici (fino al 25% in meno rispetto all'alimentazione convenzionale a 50 Hz)

**sistemi elettronici di controllo per illuminazione:**

- **sensori di presenza:**  
servono per accendere o spegnere le lampade a seconda se la stanza sia occupata oppure no e, se integrati con sistema di riconoscimento del livello di luce naturale accessibile nel locale, consentono di spegnere automaticamente le lampade quando c'è abbastanza luce nella stanza  
risparmio ottenibile: dal 20% al 50%
- **dimming** manuale o automatico (con fotocellula):  
serve per integrare la luce naturale (*daylighting*) con luce artificiale, regolando in base alla luce diurna il flusso luminoso emesso dalle lampade;  
risparmio ottenibile: dal 30% al 60%.

È consueto che gli impianti di illuminazione installati per le utenze del terziario non soddisfino i principi di efficienza energetica per ragioni di vetustà dell'impianto, di sovradimensionamento o di comportamenti disattenti degli utenti.

La tecnologia più efficiente attualmente disponibile sul mercato per l'illuminazione domestica è data dalle lampade fluorescenti compatte ad alimentazione elettronica (con attacco tipo Edison e potenze tali da riprodurre la gamma disponibile per le incandescenti standard e le alogene<sup>3</sup>), la cui diffusione non è tuttavia ancora massiccia (penetrazione italiana fra gli utenti ENEL nel 1995: il 10% ha una CFL e un altro 10% ne ha più di una) a causa del prezzo d'acquisto più elevato di una lampada ad incandescenza (sebbene il *payback time* sia abbondantemente inferiore alla vita della lampada stessa) e della ancora insufficiente informazione che viene fornita ai consumatori. Sembra tuttavia che i tempi siano maturi per una penetrazione capillare tra gli utenti domestici, sia per una generale riduzione dei prezzi (grazie alla produzione di massa nei Paesi asiatici<sup>4</sup> e le

---

<sup>3</sup> L'illuminazione alogena ha avuto un notevole incremento a partire dagli anni 80, dimostrando che non è affatto detto che il prezzo sia di per sé motivo di limitazione di diffusione di una certa tecnologia: nel caso delle alogene peraltro i prezzi elevati di lampade e apparecchi illuminanti sono accompagnati solo da un lieve incremento di efficienza energetica che fra l'altro viene del tutto perso nel momento in cui l'illuminazione alogena è adoperata per illuminazione indiretta (tanto che le potenze installate per lampade alogene superano di norma i 100 W). In effetti nel caso dell'illuminazione alogena si è assistito ad una grossa spinta da parte del mercato, con campagne pubblicitarie puntate molto sugli aspetti estetici invece che su quelli energetici dei sistemi di illuminazione.

<sup>4</sup> Alcuni grossi produttori giustificano i prezzi ancora alti dei loro prodotti criticando la qualità (sia in termini di durata, sia in termini di inquinamento da armoniche arrecato alla rete elettrica) delle lampade che giungono dai mercati asiatici. Tuttavia l'esperienza americana, dove i prezzi

scelte di mercato di alcuni distributori), che per una varietà dell'offerta (diverse tipologie di potenza, diverse caratteristiche di forma delle lampade). Rimane dunque da superare una lentezza dei consumatori ad acquisire la nuova tecnologia, per una semplice ragione di mancanza di informazione.

Nella tabella successiva riportiamo il confronto di prestazione fra lampade ad incandescenza e lampade fluorescenti compatte ad alimentazione elettronica.

<b>Confronto di prestazioni e prezzo tra lampade ad incandescenza e CFL con alimentazione elettronica</b>			
	Efficienza luminosa (lm/W)	Tempo di vita (ore)	Prezzo* (Lire)
Incandescente	5÷20	1.000	1.500÷13.000
Compatta Fluorescente (con reattore elettronico)	60÷70	10.000	10.000÷45.000

\* i prezzi sono valori minimi e massimi estratti dai listini prezzi dei produttori, applicando uno sconto del 30% (che è lo sconto normalmente offerto dal distributore)

<b>Confronto di prestazioni e prezzo tra una lampade ad incandescenza da 100 W e una CFL con alimentazione elettronica da 20 W</b>				
	Potenza assorbita (W)	Flusso luminoso (lm)	Tempo di vita (ore)	Prezzo* (Lire)
Incandescente	100	1.300	1.000	2.500
Compatta Fluorescente (con reattore elettronico)	20	1.200 **	10.000	25.000

\* si tratta di un prezzo medio dedotto dai listini prezzi dei produttori applicando uno sconto del 30%

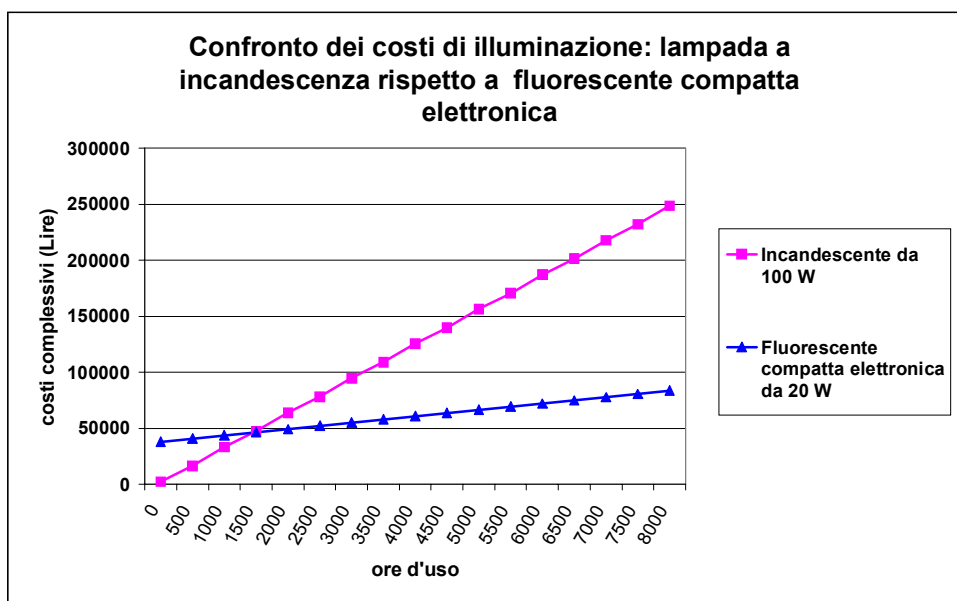
\*\* la CFL da 20 W equivale alla incandescente da 100 W giacché emette lo stesso flusso luminoso

L'investimento iniziale di una CFL elettronica viene ampiamente ripagato lungo il tempo di vita della lampada grazie al risparmio sui consumi. Il tempo di ritorno dell'investimento e la redditività dell'investimento dipendono in buona parte dal numero d'ore d'uso annuo della lampada e dal prezzo del kWh che si va a risparmiare, ma in media è intorno ad un anno (contro un uso che è in media di 5-6 anni). E' oramai conveniente anche la sostituzione con una CFL nel caso di un basso numero di ore d'uso annuo.

Nella figura successiva mostriamo la differenza dei costi totali (ovvero investimento iniziale e costi di gestione e manutenzione), in funzione del numero d'ore d'uso, di un sistema di illuminazione che fa uso di una lampada ad incandescenza da 100 W e di uno che fa uso di una lampada fluorescente compatta da 20 W ad alimentazione elettronica (equivalente per flusso luminoso alla lampada da 100 W incandescente). I costi tengono conto delle spese di acquisto delle lampade e di quelle di consumo energetico, assumendo un prezzo del kWh pari a 285 Lire (prezzo della terza fascia per utenti domestici residenti con potenza impegnata fino a 3 kW). Il numero d'ore d'uso totale (8000 ore) è pari alla durata garantita di una CFL (ogni 1.000 ore si aggiunge ai costi di gestione della incandescente l'acquisto di una nuova lampada).

---

sono scesi già da qualche anno, mostra che i prezzi elevati sono una pura scelta di mercato.



Dal grafico è immediatamente riconoscibile l'investimento iniziale per l'acquisto della CFL, il suo tempo di ritorno (ascissa dell'intersezione delle due linee) e il guadagno netto a fine vita della CFL (differenza delle ordinate dei punti delle due rette con ascissa pari a 8.000 ore), che supera le 160.000 Lire. Qualora il consumo dell'utente si collochi nella fascia dove si ha il recupero della prima fascia agevolata (tra 220 e 295 kWh/mese), il guadagno economico raggiungerebbe le 380.000 Lire a fine vita della lampada fluorescente compatta<sup>5</sup>.

Un aspetto che talvolta limita la diffusione dell'illuminazione a fluorescenti compatte è la scarsa disponibilità di apparecchi illuminanti adattabili alla geometria più ingombrante di tali lampade. Su questo aspetto, tuttavia, si stanno muovendo diversi produttori e l'UE ha persino indetto nel 1999 un concorso di design specifico per apparecchi illuminanti che allocano CFL. In generale, tuttavia, la sostituzione dell'apparecchio non è richiesta o indispensabile.

Sistemi di controllo (quali sensori di presenza o riduttori di flusso –dimmer<sup>6</sup>–) per illuminazione domestica sono disponibili, ma poco raccomandati, in quanto il loro costo iniziale rischia di non essere recuperato dai risparmi.

Va ricordato che dal 1998 è stata approvata dalla CE la Direttiva sull'etichettatura energetica delle sorgenti di luce artificiale. La Direttiva non è ancora stata implementata in Italia, sebbene parecchi produttori abbiano iniziato ad adottarla ugualmente.

## 2.2.2 Illuminazione stradale

Per quanto riguarda l'illuminazione stradale nella tabella seguente presentiamo il caso di sostituzione di una lampada da 250 W a vapori di mercurio con una al sodio da 150 W standard (o con una al sodio da 150 W, ma ad alta resa cromatica):

<sup>5</sup> In realtà la sostituzione è conveniente anche per chi ha consumi mensili che si collocano nella prima fascia (meno di 75 kWh/mese), con un guadagno a fine vita di 39.000 Lire e un pieno ritorno dell'investimento per l'acquisto di una CFL elettronica intorno alle 4000 ore d'uso.

<sup>6</sup> I dimmer richiedono l'utilizzo di CFL non integrate con alimentatore elettronico.

Confronto di prestazione e costo tra lampade a vapori di mercurio e lampade a vapori di sodio ad alta pressione

	Potenza assorbita (W)	Flusso luminoso (lm)	Efficienza luminosa (lm/W)	Indice resa cromatica (Ra)	Tempo di vita (ore)	Prezzo* (Lire)
Vapori mercurio alta pressione	250	14.000	56	50	16.000	24.000
Vapori sodio alta pressione standard	150	17.000	113	25	17.000	55.000
Vapori sodio alta pressione alta resa cromatica	150	12.000	80	65	12.000	60.000

\* prezzo ricavato dai prezzi di listino dei produttori considerando uno sconto del 30%<sup>7</sup>

Un intervento che consente ulteriori risparmi negli impianti di illuminazione pubblica è l'installazione di stabilizzatori/riduttori di flusso a monte dell'impianto di illuminazione: oltre ad aumentare la vita della lampada (grazie alla stabilizzazione della tensione), il dispositivo consente di regolare uniformemente il flusso luminoso delle lampade di uno stesso impianto (fino a ridurlo tipicamente a un massimo del 50% del flusso nominale) e di ridurre, quindi, i consumi del sistema, in particolare nelle ore ove ci sia minor flusso di traffico o non sia richiesta particolare visibilità.

### 2.2.3 Illuminazione industriale

Nel caso delle industrie è molto importante la progettazione illuminotecnica degli ambienti, in modo da evitare disequilibri delle luminanze o abbagliamenti (specie per lavori manuali, di precisione o lavori ove una visione difficoltosa possa comportare pericolo alla sicurezza della persona), garantendo il comfort, evitando l'affaticamento della vista e consentendo pertanto di lavorare in modo più efficiente.

Nella progettazione illuminotecnica vanno incluse misure per l'efficienza energetica che possono essere così riassunte:

- ottimizzare l'illuminazione naturale all'interno dell'edificio là dove sia possibile, eventualmente eseguendo retrofit dei tetti di edifici a piano unico (lucernari, atri)
- installare lampade più efficienti:
  - lampade a vapori di sodio ad alta pressione o ad alogenuri al posto di quelle a mercurio;
  - sostituzione delle lampade ad incandescenza con lampade fluorescenti
  - rimpiazzare i tubi fluorescenti da 38 mm con quelli più efficienti da 26 mm
- installare apparecchi illuminanti più efficienti
- installare alimentazione elettronica (reattori ad alta frequenza) per lampade fluorescenti
- installare sistemi di controllo (*dimmer* e sensori di occupazione)
- suddividere il sistema di illuminazione in più sottoimpianti che gestiscano specifiche aree di lavoro in modo da poterne decidere l'accensione o lo spegnimento, o regolarne l'intensità, separatamente
- localizzare gli interruttori vicino all'area da illuminare (non cioè centralizzati)
- eseguire manutenzione regolare degli impianti e pulizia delle lampade e degli apparecchi illuminanti.

<sup>7</sup> Il prezzo delle lampade acquistate dal gestore degli impianti è definito da gare di appalto: varia dunque a seconda dello stock acquistato, ma risulta di molto inferiore ai valori che qui riportiamo (tipicamente va considerato uno sconto tra il 50% e il 70% sui prezzi di listino dei produttori).

## 2.3 Apparecchiature elettroniche

La sensibilità verso i consumi elettrici delle apparecchiature elettroniche è abbastanza recente (fine anni '80) e non ancora pienamente sviluppata, tanto che i produttori non sono soliti fornire una chiara indicazione della potenza assorbita dall'apparecchio sull'etichetta o sui manuali di istruzioni d'uso (o sul manuale delle caratteristiche tecniche).

Gli inconvenienti prodotti dall'assenza di informazione corretta non sono trascurabili: molti impianti di ventilazione e condizionamento per grandi uffici sono stati realizzati sui valori nominali di potenza assorbita dagli apparecchi col risultato di sovradimensionare in partenza l'impianto.

La scarsa consapevolezza dei consumi da apparecchiature elettroniche è legata al fatto che per lo più si tratta di consumi "nascosti", che avvengono quando l'apparecchio è tenuto spento<sup>8</sup> oppure è in funzione ma non è utilizzato (è in "attesa" –standby-).

La riduzione dei consumi dei dispositivi elettronici richiede:

- educazione dell'utente nel porre attenzione alle modalità d'uso degli apparecchi
- apparecchiature a basso consumo e con gestione automatica dei consumi.

Lo *standby* è un'opzione a costo zero (per i PC è già una prestazione prevista ma spesso non attivata all'acquisto e l'utente non si preoccupa in seguito di provvedere personalmente).

Fino ad oggi molti sforzi da parte delle Agenzie nazionali di energia sono state dirette alla definizione e implementazione di valori massimi di potenza assorbita dalle apparecchiature elettroniche per ufficio in modalità di *standby* e/o di *off* (tramite accordi volontari con i produttori -ed etichettatura dei prodotti che soddisfano i valori target- o standard minimi di efficienza obbligatori). Lo scopo è stato quello di accelerare nel mercato la diffusione di prodotti energeticamente efficienti, già disponibili, a extracosto sostanzialmente nullo e non realizzati a causa di una politica di *laissez-faire*.

Potenza media di apparecchiature per ufficio		
Tipologia apparecchio	Potenza media assorbita in funzionamento (W)	Potenza media assorbita in <i>standby</i> (W)
Personal Computer (modello semplice) senza monitor	40	10
Personal Computer (modello potente) senza monitor	80	25
Personal Computer (portatile) senza monitor	15	9
Monitor a colori a 14 pollici	70	8
Monitor a colori a 16 pollici	90	10
Stampante a getto d'inchiostro	20	10
Stampante laser	400	100
Fotocopiatrice (modello potente)	1400	260
Fotocopiatrice (modello semplice)	600	60

Fonte: RAVEL ed elaborazioni di Ambiente Italia

L'EPA (*Environment Protection Agency*) ha lanciato negli USA nel giugno 1992 il programma *Energy Star* (ES). Sulla base di accordi volontari con i produttori, computer e stampanti possono ricevere l'etichetta *Energy Star* (al momento dell'accensione sui PC ne compare anche il logo) se si disattivano portandosi in uno stato di *stand-by* con potenza inferiore ai 30 W (45 W per

<sup>8</sup> Gli apparecchi elettronici (per via dei trasformatori e di alcune porzioni di circuiteria interna) di solito consumano un minimo anche se sono spenti (cioè anche se abbiamo azionato il tasto *power off*), per cui dovrebbero essere inseriti in quadri elettrici in cui esiste un interruttore generale che disinserisce tutte le prese: il disinserimento a fine giornata o nel weekend diventerà molto più semplice

stampanti con velocità di stampa superiore alle 15 pagine al minuto). Al momento sono in via di redazione analoghi livelli massimi di potenza assorbita per le fotocopiatrici. Negli standard EPA non si pone alcuna richiesta sui consumi in modalità *off*.

La NUTEK (Sweden Agency for Industrial and Technical Development) ha ideato nel 1992 un'etichetta per computer che in modo *stand-by* non superano i 30 W (15 W suggeriti) e in modo *off* non superano gli 8 W (3 W consigliati).

In Svizzera il programma *Energia 2000* avviato dall'Ufficio Federale Svizzero dell'Energia nel maggio 1991 ha definito in base a misure condotte sul campo, i valori target di potenza per i modi *standby* e *off* che non dovranno essere superati dalle apparecchiature per ufficio vendute oltre una data prestabilita per ogni tipo di apparecchiatura.

<b>Tetto massimo di potenza assorbita stabilito dagli Svizzeri per apparecchiature per ufficio</b>		
	Stand-by (W)	Off (W)
Computer senza monitor (da adottare entro fine 1997)	10	5
Monitor (da adottare entro fine 1997)	5	
Stampanti (da adottare entro fine 1996)	2	1
Fotocopiatrici (da adottare entro fine 1996)	$27+3.23 \cdot c^*$	1
Telefax (da adottare entro fine 1997)	2	

\*  $c$  è la velocità di stampa (numero di copie al minuto)

Risparmi consistenti derivano anche da accensioni/spegnimenti ragionati delle apparecchiature: è falsa l'idea che l'accensione/spegnimento ripetuto di un computer lo danneggi, per cui può essere spento anche solo per pause di un quarto d'ora; stampanti laser e fotocopiatrici consumano molto anche quando sono in *standby* (tra i 60 W e i 150 W), quindi andrebbero spente per pause prolungate. In tutti i casi, spegnere gli apparecchi significa meno calore, meno rumore, meno radiazioni (quindi meno ozono nel caso di stampanti laser e fotocopiatrici).

I consumi dovuti alle apparecchiature elettroniche sono consistenti anche negli usi residenziali e si stima una loro crescita associata alla diffusione di nuovi dispositivi (computer, sistemi di telecomunicazione digitali, ecc.). Come risulta dallo studio condotto per la UE<sup>9</sup> sulle perdite in *standby* per televisori e videoregistratori, si tratta di consumi per lo più nascosti, a cui non si bada perché le potenze assorbite non sono alte, ma che sono molto prolungati nel tempo, in quanto avvengono quando l'apparecchio è ritenuto dal senso comune essere "spento". L'uso in una casa di più televisori, videoregistratori (VCR), impianti stereo, insieme alla recente proliferazione di computer con relativi accessori (stampante, modem) e di mezzi di telecomunicazione (fax, segreterie telefoniche), comporta un consumo complessivo per nulla trascurabile. Il problema è dovuto al fatto che tali apparecchi o consumano perché lasciati in *standby* (televisore, videoregistratore, fax, segreteria telefonica) o consumano anche quando sono spenti perché comunque nei trasformatori di alimentazione avvengono dissipazioni (computer, hi-fi, modem). Nelle tabelle successive sono riportati i valori di potenza assorbita dagli apparecchi elettronici ad uso domestico secondo la classificazione adottata in AIRE. I valori di potenza per le classi di efficienza alta derivano dai valori target o di etichettatura definiti dai programmi di risparmio energetico sviluppati a livello internazionale (in particolar modo negli USA e in Svizzera).

<sup>9</sup> Study of Standby Losses and Energy Savings Potential for Television and Video Recorder Sets in Europe, Contract EC-DGXVII 4.1031/E/95-001, settembre 1995

<b>Classi di efficienza per apparecchiature elettroniche domestiche (AIRES)</b>			
<b>Apparecchio</b>	<b>Potenza assorbita in modalità on [W]</b>	<b>Potenza assorbita in modalità standby [W]</b>	<b>Potenza assorbita in modalità off [W]</b>
<b>TV</b>			
Bassa Efficienza	70	15	0
Media Efficienza	70	10	0
Alta efficienza	70	4	0
<b>VCR</b>			
Bassa Efficienza	20	15	0
Media Efficienza	20	10	0
Alta efficienza	20	5	0
<b>PC</b>			
Bassa Efficienza	90	non attiva	10
Media Efficienza	90	30	5
Alta efficienza	90	15	3

Attualmente non è stata predisposta a livello europeo o internazionale un'etichettatura delle apparecchiature elettroniche. Si sta procedendo piuttosto per accordi volontari con i produttori insieme ad alcune agenzie per l'energia nazionali, ma in Italia non si hanno indicazioni particolari. Ciò rende molto difficile per l'utente riconoscere e scegliere la tecnologia efficiente, pur essendo questa presente sul mercato.

A titolo esemplificativo di quali siano i limiti tecnologici attualmente raggiungibili riportiamo nella seguente tabella i valori target di potenza assorbita per modalità *off* e *standby* definiti dal programma Energia 2000 promosso dal governo svizzero (sono i valori più restrittivi fino ad oggi definiti in tutti i Paesi mondiali).

<b>Valori target per le modalità <i>standby</i> e <i>off</i> delle apparecchiature elettroniche secondo il Programma <i>Energia 2000</i> della Svizzera</b>		
<b>Apparecchio</b>	<b>Potenza assorbita in modalità standby [W]</b>	<b>Potenza assorbita in modalità off [W]</b>
TV	1	Non definita
VCR	1	Non definita
PC	15	5

Ciò si traduce in un risparmio del 31% per il televisore più efficiente, del 32% per il videoregistratore più efficiente e del 50% per il computer più efficiente.

Considerando le prescrizioni svizzere del Programma Energia 2000 affinché un apparecchio ottenga l'energy-efficiency label per il 1997 (meno restrittive dei valori target), si ha:

<b>Valori massimi di potenza assorbita per le modalità <i>standby</i> e <i>off</i> consentiti per le apparecchiature elettroniche per ottenere l'Energy Efficiency Label secondo il Programma <i>Energia 2000</i> della Svizzera</b>		
<b>Apparecchio</b>	<b>Potenza assorbita in modalità standby [W]</b>	<b>Potenza assorbita in modalità off [W]</b>
TV	4	0
VCR	5	0
PC	30	5

che corrisponde a un risparmio per il TV del 14%, quello per il VCR è del 16% e quello per il PC è del 48%.

Le tecnologie per apparecchiature elettroniche domestiche energeticamente più efficienti non comportano extracosti al momento dell'acquisto, eccetto il caso dello standby da 1 W per TV e



VCR, che costa circa 40.000 Lire in più ma in ogni caso ha un payback time medio inferiore ai 2 anni.

## 2.4 Condizionamento estivo

Interventi di risparmio nel condizionamento estivo riguardano da una lato interventi diretti sulla tecnologia degli impianti dall'altro interventi diretti alla riduzione dei carichi interni dell'edificio. Dal punto di vista tecnologico va considerata la sostituzione di impianti frigoriferi ad alimentazione elettrica con impianti ad assorbimento (funzionanti a gas). Dagli studi condotti fino ad oggi emerge che gli impianti ad assorbimento sono energeticamente ed ambientalmente efficaci se esiste la possibilità di allacciarsi alla rete di teleriscaldamento: in particolare lo studio condotto nell'ambito del Piano Energetico di Padova (Enea-Ambiente Italia, 1999) per il condizionamento ad assorbimento di alcuni alberghi ha messo in luce che in assenza di una rete di teleriscaldamento i vantaggi ambientali sono nulli, seppur si ottenga un risparmio economico in quanto si passa da elettricità a gas.

Una politica rivolta a un ridimensionamento degli impianti o soprattutto ad interventi sui carichi interni e sull'involucro degli edifici (con l'effetto di ridurre le esigenze di raffrescamento) si dimostra quindi particolarmente importante:

- riprogettazione degli impianti, evitando sovradimensionamenti e installando pompe di calore
- raffrescamento passivo (aumento dell'albedo o dell'ombreggiamento dell'edificio)
- isolamento dei muri esterni e del tetto dell'edificio
- serramenti a taglio termico, doppi vetri, vetri selettivi
- riduzione dei carichi termici interni (illuminazione e apparecchiature a basso consumo).

Gli interventi di risparmio nel condizionamento di ambienti industriali (adibiti ad uso ufficio o ad attività produttive) riguardano

- adeguamenti della tecnologia (eventuale sostituzione degli impianti a compressori elettrici con sistemi ad assorbimento a fluido caldo, in associazione con eventuali impianti di cogenerazione)
- ridimensionamento dei volumi da condizionare<sup>10</sup>
- ridimensionamento degli impianti,
- riduzione dei carichi termici interni degli edifici adibiti ad uso ufficio
- raffrescamento passivo (aumento dell'albedo o dell'ombreggiamento dell'edificio)
- riduzione delle dispersioni termiche degli edifici (isolamento dei muri esterni e delle coperture, serramenti e vetri a bassa trasmittanza)
- riutilizzo dell'eventuale calore di processo

---

<sup>10</sup> Spesso i volumi condizionati non sono limitati a quelli ove effettivamente si localizza il processo produttivo.

## 2.5 Apparecchi per la refrigerazione

La maggiore efficienza nella tecnologia del freddo si ottiene migliorando:

- l'efficienza del compressore,
- il COP dell'apparecchio<sup>11</sup>
- l'isolamento termico<sup>12</sup> dell'apparecchio

C'è da porre attenzione anche all'utilizzo di materiali che comportano un minor impatto ambientale rispetto ad apparecchi classici ancora in vendita:

- utilizzo degli idrocarburi come fluidi refrigeranti
- adozione di materiali riciclabili

Nel caso del settore terziario (frigoriferi ad uso commerciale) ulteriori accorgimenti riguardano:

- corretto uso e buona manutenzione
- misure relative al mobile frigorifero che o migliorano la circolazione dell'aria o riducono le perdite di aria fredda

Nel settore domestico l'implementazione dell'etichettatura energetica<sup>13</sup> consente di individuare in modo chiaro i dispositivi ad alta efficienza al momento dell'acquisto.

La Commissione Europea ha promosso dal 1997 l'implementazione di un sistema informatico europeo per l'informazione sugli elettrodomestici ad alta efficienza (ELDA). Nel corso del 1999-2000 il database e il software per la versione italiana sono stati approntati e verranno testati nel corso del 2000-2001.

Nella tabella successiva illustriamo per le diverse categorie di apparecchi refrigeranti le possibilità di risparmio e gli indicatori di convenienza economica nell'adozione di tecnologie efficienti.

---

<sup>11</sup> Per aumentare il COP (*Coefficient Of Performance*) del frigorifero possono essere aumentate le superfici dell'evaporatore e del condensatore e la loro capacità termica.

<sup>12</sup> L'isolamento termico riguarda sia le pareti che la porta dell'apparecchio. L'aumento dello spessore delle pareti (riempite di schiuma di poliuretano) ha un primo effetto positivo; recenti sviluppi tecnologici fanno ben sperare sull'utilizzo del vuoto "soft" o spinto (eventualmente alternato a strati di schiuma), che consentirebbe trasmissione di calore solo per irraggiamento, ulteriormente riducibile con l'accorgimento dell'inserimento di pareti interne riflettenti. Un altro aspetto è la manutenzione nel corso degli anni delle guarnizioni delle porte (il loro deterioramento porta a dispersioni termiche costanti che aumentano i consumi dell'apparecchio)

<sup>13</sup> Si veda in Appendice per l'illustrazione dell'etichettatura degli elettrodomestici.

Dispositivo	Volume equivalente tipico	Classe di efficienza energetica	Consumo annuo assoluto [kWh/a]	Risparmio energetico (%) rispetto al caso standard italiano	Risparmio energetico annuo [kWh/a]	Costo aggiuntivo rispetto al caso standard 14	Cost-benefit ratio* [Lire/kWh/anno]
Frigo-congelatori*							
	380	A	299	-47%	276	0-600.000	0-2172
	380	B	389	-32%	184	0-200.000	0-1086
	380	C	494	-13%	77	0	0
	380	D	568	0%	0	0	0
	380	E	628	11%	-61	0	0
	380	F	703	24%	-138	0	0
	380	G	793	39%	-230	0	0
Congelatori orizzontali							
	450	A	191	-52%	210	0-600.000	0-2298
	450	B	248	-38%	153	0-200.000	0-1053
	450	C	315	-21%	86	0	0
	450	D	363	-10%	38	0	0
	450	E	401	0%	0	0	0
	450	F	448	12%	-48	0	0
	450	G	506	26%	-105	0	0
Congelatori verticali							
	400	A	237	-52%	261	0-600.000	0-2858
	400	B	309	-38%	190	0-200.000	0-1310
	400	C	392	-21%	107	0	0
	400	D	451	-10%	47	0	0
	400	E	499	0%	0	0	0
	400	F	558	12%	-59	0	0
	400	G	629	26%	-131	0	0

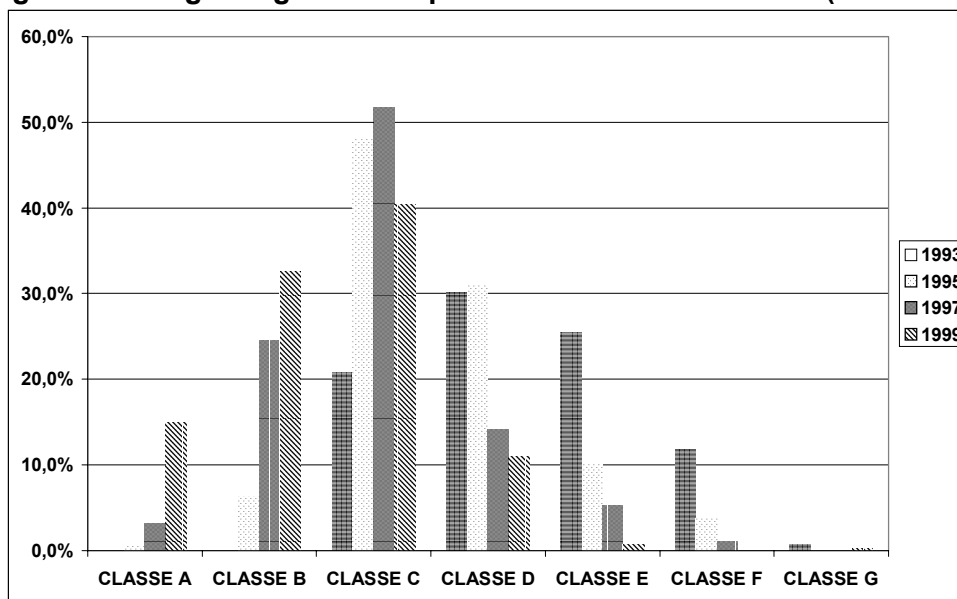
\* È dato dal rapporto tra l'investimento iniziale e il risparmio energetico annuale

\*\* Fanno parte di questa categoria i cosiddetti frigoriferi "combinati" e "doppia porta"

Nel grafico successivo illustriamo l'evoluzione del mercato italiano verso apparecchi di più alta efficienza nel caso dei frigocongelatori.

<sup>14</sup> Da analisi condotte per i grandi elettrodomestici sul mercato italiano (confrontate anche con alcune straniere) si deduce che non si verifica una netta correlazione fra prezzo ed efficienza energetica se non per gli apparecchi di altissima efficienza. In sostanza esistono in vendita prodotti anche ad alta efficienza che costano come (o addirittura meno di) analoghi prodotti poco efficienti. Per scelta delle case distributrici i prodotti ad altissima efficienza vengono frequentemente abbinati con un design di maggior costo ovvero il prodotto a più alte prestazioni viene già proposto dall'industria come un bene di lusso: questo genera confusione nel consumatore in quanto non riesce più a riconoscere un prodotto di buone prestazioni e basso costo (a causa della scarsa informazione e di una difficoltà a districarsi nell'ampio campo dell'offerta).

### Classe energetica dei frigocongelatori disponibili sul mercato italiano (1993-1999)



Fonte: ENEA (1993,1997), IFR Italia (1995) ed ELDA (1999)

Va notato che dal novembre 1999 è stata recepita in Italia la Direttiva europea sugli standard minimi di efficienza che vieta la produzione di apparecchi refrigeranti di classe energetica inferiore alla C (con deroga alla E per i congelatori). Questo implica che residui di magazzino presenti ancora nei punti vendita di classe energetica bassa vengano rapidamente smaltiti durante l'anno 2000.

Gli interventi di risparmio per apparecchiature refrigeranti ad uso terziario (attività commerciali) sono elencati nella tabella successiva.

Descrizione Intervento	Risparmio energetico (%) rispetto al caso standard <sup>15</sup>
Corretto uso e buona manutenzione	10%
Miglioramento della circolazione d'aria	16%
Riduzione perdite aria fredda	10-45%
Miglioramento rendimento del gruppo frigorifero	10-30%

## 2.6 Apparecchi per il lavaggio

Il consumo energetico delle apparecchiature per il lavaggio di biancheria o stoviglie è in massima parte legato alla fase di riscaldamento dell'acqua<sup>16</sup> e a inefficienze nel ciclo di lavaggio (non adattamento del ciclo rispetto alle reali esigenze di sporco).

Nel caso di apparecchiature ad uso terziario vi è in aggiunta il discorso di garantire anche l'igiene del lavaggio.

<sup>15</sup> I dati sono basati sul caso svizzero, di cui si possiedono informazioni ragionevolmente attendibili. Per riferimento si veda il manuale RAVEL per il risparmio energetico nell'elettricità elaborato nell'ambito del programma federale *Energia 2000*

<sup>16</sup> Il sistema di lavaggio "a secco" pur costituendo una voce non indifferente di consumo e di uso di prodotti inquinanti non viene qui considerato per assenza di dati disponibili

Di non minor rilievo è l'impatto ambientale legato all'uso dei detergenti.

Il miglioramento dell'efficienza energetica delle apparecchiature per il lavaggio riguarda (a parità di prestazioni di lavaggio):

- riduzione della quantità d'acqua calda adoperata nella fase di lavaggio
- riduzione della temperatura di lavaggio
- introduzione di acqua preriscaldata da fonte solare o gas (sistemi a doppia presa con valvola termostatica o anche a singola presa per lavastoviglie)
- pieno utilizzo del detergente (sistemi lavaggio a pioggia o jet-system)
- controllo del carico e/o dello sporco (capacità variabile di carico, controllo elettronico del livello di schiuma –fuzzy logic-)
- modifica della tecnologia di lavaggio (lavaggio a freddo).

Nel settore domestico l'implementazione dell'etichettatura energetica<sup>17</sup> consente di individuare in modo chiaro i dispositivi ad alta efficienza al momento dell'acquisto.

La Commissione Europea ha promosso dal 1997 l'implementazione di un sistema informatico europeo per l'informazione sugli elettrodomestici ad alta efficienza (ELDA). Nel corso del 1999-2000 il database e il software per la versione italiana sono stati approntati e verranno testati nel corso del 2000-2001.

Nella tabella successiva illustriamo per le diverse categorie di apparecchi le possibilità di risparmio e gli indicatori di convenienza economica nell'adozione di tecnologie efficienti.

Dispositivo	Capacità [kg, coperti]	Classe di efficienza energetica	Consumo annuo assoluto* [kWh/a]	Risparmio energetico (%) rispetto al caso standard italiano	Risparmio energetico annuo [kWh/a]	Costo aggiuntivo e rispetto al caso standard 18	Cost-benefit ratio** [Lire/kWh/anno]
Lavatrici							
	5	A	170	-32%	80	0-600.000	0-7500
	5	B	210	-16%	40	0-200.000	0-5000
	5	C	250	0%	0	0	0
	5	D	290	16%	-40	0	0
	5	E	330	32%	-80	0	0
	5	F	370	48%	-120	0	0
	5	G	410	64%	-160	0	0
Lavastoviglie							
	12	A	211	-29%	87	0-600.000	0-6900
	12	B	254	-15%	44	0-200.000	0-4600
	12	C	298	0%	0	0	0
	12	D	341	15%	-44	0	0
	12	E	385	29%	-87	0	0
	12	F	428	44%	-131	0	0
	12	G	472	59%	-174	0	0

\* Secondo la normativa UE il consumo annuo è dato da 200 lavaggi con ciclo cotone a 60°C per le lavatrici e da 220 lavaggi con ciclo normale a 55°C per le lavastoviglie

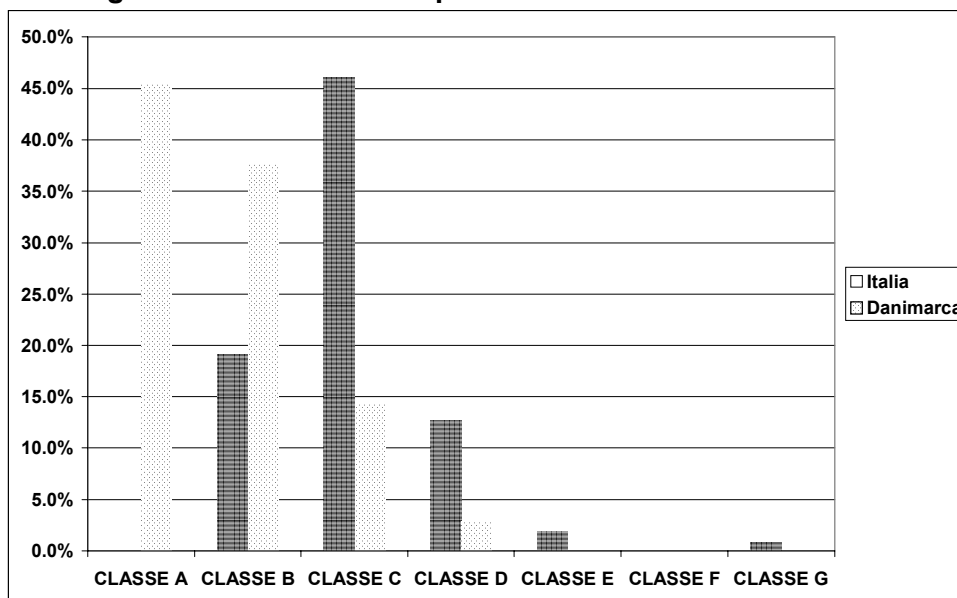
<sup>17</sup> Si veda in Appendice per l'illustrazione dell'etichettatura degli elettrodomestici.

<sup>18</sup> Da analisi condotte per i grandi elettrodomestici sul mercato italiano (confrontate anche con alcune straniere) si deduce che non si verifica una netta correlazione fra prezzo ed efficienza energetica se non per gli apparecchi di altissima efficienza. In sostanza esistono in vendita prodotti anche ad alta efficienza che costano come (o addirittura meno di) analoghi prodotti poco efficienti. Per scelta delle case distributrici i prodotti ad altissima efficienza vengono frequentemente abbinati con un design di maggior costo ovvero il prodotto a più alte prestazioni viene già proposto dall'industria come un bene di lusso: questo genera confusione nel consumatore in quanto non riesce più a riconoscere un prodotto di buone prestazioni e basso costo (a causa della scarsa informazione e di una difficoltà a districarsi nell'ampio campo dell'offerta).

**\*\* È dato dal rapporto tra l'investimento iniziale e il risparmio energetico annuale**

Nel grafico successivo illustriamo il confronto tra il mercato italiano e quello danese relativamente alla disponibilità di apparecchi per l'anno 1999, che mostra quanto la situazione italiana risenta di una certa lentezza all'evoluzione verso classi di efficienza più alta, nonostante l'accordo volontario dei produttori di lavatrici raggiunto con la Commissione Europea.

**Classe energetica delle lavatrici disponibili sui mercati italiano e danese (1999)**



Fonte: ELDA

Per il settore terziario non sono attualmente disponibili indicazioni sulle percentuali di risparmio in base al tipo di interventi proposti, tuttavia un elemento degno di nota è che le esigenze di velocità nel servizio di lavaggio spesso comportano elevate richieste di potenza (vedi le lavatrici automatiche che hanno un ciclo non superiore ai 45 minuti) o accensioni prolungate (vedi le lavastoviglie dei bar che mantengono l'acqua in temperatura per tutto l'orario di apertura). La possibilità di eliminare in tutti questi casi la fase di riscaldamento elettrico dell'acqua ridurrebbe i consumi di almeno il 50%.

## 2.7 Produzione di acqua calda sanitaria

I consumi elettrici associati alla produzione di acqua calda sanitaria sono in generale molto elevati per il singolo utente: per l'utente domestico rappresentano in media un terzo o un quarto dei consumi elettrici complessivi. Buona parte dei consumi è dovuta a un comportamento energeticamente poco oculato da parte dell'utente, che il più delle volte regola il termostato dell'apparecchio su temperature elevate e ritiene di consumare meno tenendo sempre acceso lo scaldabagno o preferisce tenerlo acceso per ragioni di comodità (per avere sempre disponibilità di acqua calda). In questo modo, però, gran parte dei consumi non è legata all'acqua calda effettivamente adoperata, ma alle perdite di calore attraverso le pareti dello scaldabagno (perdite che sono tanto più elevate quanto più si forza lo scaldabagno ad operare ad elevate temperature). Tra le possibilità immediate che si offrono quindi per ridurre i consumi elettrici nella produzione di ACS ci sono sostanzialmente quelle di

- passare a tecnologie efficienti (apparecchiature con buon isolamento termico),
- installare timer per la gestione dei carichi (che consentono tipicamente l'accensione programmata notturna, due o tre ore prima dell'utilizzo al mattino)
- attivare campagne di informazione sulla possibilità di ridurre i consumi grazie a una gestione corretta (manuale) delle accensioni e spegnimenti dell'apparecchio.

Tuttavia le soluzioni che risultano più efficaci in termini di riduzione dei consumi e delle emissioni sono quelle di sostituzione dello scaldabagno elettrico con uno scaldabagno a gas o uno alimentato da pannelli solari.

## 2.8 Sistemi azionati da motori elettrici

L'utilizzo di motori elettrici è usualmente inserito in un sistema che richiede l'utilizzo di lavoro meccanico per compiere una certa operazione (sollevamento di carichi, lavorazione di materiali, circolazione forzata di fluidi, ecc.).

L'efficienza energetica in sistemi azionati da motori elettrici può essere innanzitutto migliorata ragionando sul complesso delle operazioni eseguite dal sistema (perdite di trasmissione, sovradimensionamento del motore, lavoro non richiesto, ecc.). Le variazioni di efficienza dipenderanno ovviamente dalla situazione esistente.

Per quanto riguarda l'efficienza energetica del singolo motore, questa può essere migliorata attraverso

- l'utilizzo di motori ad alta efficienza
- l'utilizzo di unità motrici a velocità variabile, essenzialmente per usi ove sono richiesti flussi variabili di fluidi (compressori, ventilazione, pompe).

I motori elettrici standard vengono adoperati in processi produttivi ove è richiesta una determinata potenza meccanica, generalmente non variabile nel tempo (sebbene il motore possa trovarsi a lavorare a pieno carico o meno). Si tratta di motori a induzione asincroni, trifase, a basso voltaggio con rotore a gabbia di scoiattolo. Maggiore efficienza può essere ottenuta migliorando la qualità dei materiali adoperati e ottimizzando la resa dei componenti elettromagnetici: uso di lamierini d'acciaio a "bassa perdita" nel nucleo del motore; circuiti di raffreddamento più efficaci; cunei magnetici da cava in cave aperte dello statore; diminuzione delle perdite addizionali da carico; minori perdite da avvolgimenti in fili di rame (aumentando la sezione del conduttore); impiego di magneti permanenti nel rotore. La maggiore efficienza varia fra circa il 10% per potenze basse del motore (entro pochi kW) e pochi punti percentuali (1-2%) per potenze elevate (oltre i 100 kW). I risparmi energetici divengono allora consistenti per usi intensivi del motore (almeno 5.000 ore annue). I prezzi dei motori ad alta efficienza sono più elevati a causa della qualità dei componenti: risultano di un 20-25% più elevati per motori di potenze superiori agli 11 kW e di un 30-35% per quelli di potenze fino a 11 kW. Tempi di payback inferiori a 2 anni si ottengono per elevate potenze ed usi intensivi. L'offerta sul mercato europeo di motori ad alto rendimento è scarsa e soffre fra l'altro di una carenza di definizione e standardizzazione delle prestazioni, che comporta difficoltà di riconoscimento della qualità del prodotto tramite i valori di targa. Programmi di DSM per tali motori sono stati realizzati in USA, in Gran Bretagna e Danimarca, ottenendo un consistente afflusso di motori più efficienti sul mercato e risultati estremamente interessanti in termini di riduzione dei consumi.

La Commissione Europea ha promosso recentemente uno studio dei motori elettrici disponibili sul mercato per poter elaborare una etichetta energetica anche per questi dispositivi. La CE ha anche reso disponibile il software/database EURODEEM che consente di scegliere in modo ragionato soluzioni efficienti a partire da quanto già installato. Nel 1999 si è raggiunto un accordo volontario, da parte dei produttori, di etichettatura di efficienza energetica, secondo tre classi di efficienza: si veda l'Appendice per maggiori informazioni.

Gli ambiti in cui tuttavia il potenziale di risparmio è molto alto è quello dove è possibile adoperare motori a velocità variabile (ASD - *adjustable speed drive* -), ovvero in tutte le applicazioni ove è necessario fornire un'operazione meccanica di intensità variabile nel tempo (tipicamente quando si tratta di regolare moti di sostanze fluide -sistemi di pompaggio nei processi produttivi e sistemi per il condizionamento degli ambienti- o quando si ha un utilizzo del motore con cicli frequenti di attivazioni e disattivazioni -ascensori, montacarichi, presse, ecc.-). La possibilità di regolare l'operazione tramite riduzione o aumento del numero di giri del motore, invece che tramite altre operazioni meccaniche aggiuntive (come ad es., nel caso di regolazione di flussi di gas o liquidi, l'uso di valvole, che in realtà comportano solo la dissipazione di lavoro meccanico), porta a risparmi significativi attestantisi (a seconda delle applicazioni) da un 20% a un 70% con risparmi medi del 40-50%. I motori a velocità variabile sono motori in corrente alternata alimentati da convertitori digitali (alimentazione elettronica) che regolano la tensione di ingresso (modificando

pertanto la velocità di rotazione del motore). L'investimento aggiuntivo per l'acquisto di ASD è solitamente elevato. Tuttavia, per applicazioni ove le variazioni in intensità delle operazioni meccaniche siano frequenti e di entità consistente, i tempi di ritorno dell'investimento sono usualmente dell'ordine di 2 anni, con un intervallo di variabilità da pochi mesi a 3 anni. Il mercato europeo offre un'ampia varietà di ASD, per tutte le potenze, ma in particolare per basse e medie potenze (inferiori ai 100 kW). È anche possibile il rimodernamento di motori a velocità fissa già installati, grazie all'aggiunta di alimentatori elettronici, ma esso va considerato con cautela in quanto può talvolta comportare il problema di generazione sulla rete di armoniche indesiderate, maggiore rumorosità del motore, alterazione della resa del motore.

Accanto all'efficienza delle tecnologie va tenuta in conto, nel caso delle macchine elettriche, la migliore gestione dell'energia rispetto ai compiti da svolgere: il sovradimensionamento dei motori rispetto ai carichi (come già osservato i motori sono per abitudine sottoutilizzati) e l'alimentazione in corrente continua piuttosto che in alternata (i motori a induzione hanno un'efficienza maggiore dal 2% al 10% al decrescere della potenza del motore) sono due cause di cattiva gestione dell'energia per compiere un medesimo compito.

## 2.9 Alcuni casi concreti di interventi di DSM nel settore elettrico

Al fine di illustrare gli effetti sui consumi delle tecnologie ad alta efficienza, presentiamo nel seguito alcune situazioni concrete nei diversi macrosettori.

### 2.9.1 Consumi in un'abitazione

In questo paragrafo illustriamo in modo sintetico, attraverso le tabelle, le possibilità di risparmio di elettricità in una abitazione tipo (di 3-4 persone).

#### Risparmio di elettricità in una abitazione tipo per i diversi usi finali

Dispositivo	Caso attuale		Caso massima efficienza		Confronto tra i due casi		
	Classe di efficienza energetica	Consumo annuo assoluto [kWh/a]	Classe di efficienza energetica	Consumo annuo assoluto* [kWh/a]	Risparmio energetico (%) rispetto al caso attuale	Costo aggiuntivo e rispetto al caso standard	Risparmio economico annuo*
Illuminazione		410		75	82%	70.000	105.500
Frigorifero	D	570	A	299	47%	300.000	85.000
Lavatrice	D	290	A	170	41%	300.000	38.000
Lavastoviglie	D	340	A	211	38%	300.000	41.000
Scaldabagno		1300		650	50%	100.000	205.000
TV		220		160**	27%	50.000	19.000
VCR		100		30**	70%	50.000	22.000
PC		90		60	33%	0	9.500
Ferro da stiro		150		150	0%	0	0
Altro		100		100	0%	0	0
<b>Totale</b>		<b>3860</b>		<b>1905</b>	<b>51%</b>	<b>1.170.000</b>	<b>525.000</b>

\* basato su un prezzo medio del kWh per il bimestre gennaio-febbraio 2000 di 315 Lire

\*\* standby da 1 W



**Dettagli rispetto ai consumi di illuminazione**

Caso attuale		Sostituzione	
Dispositivo	Consumo [kWh/a]	Dispositivo	Consumo [kWh/a]
Alogena da 150 W (salotto), 2 ore al giorno di accensione inverno e 1 ora accensione estate	82	CFL 23 W	12,5
Incandescente da 100W (cucina), 5 ore al giorno autunno-inverno e 2 ore primavera-estate	128	CFL 20 W	25,5
3 incandescenti da 60 W (stanze da studio e da letto), 3 ore al giorno autunno-inverno e 1 ora primavera-estate	131	3 CFL 11 W	24
3 incandescenti da 60 W (bagni e corridoi), 1 ora al giorno tutte le stagioni	66	3 CFL 11 W	12

## 2.9.2 Consumi per illuminazione in un ufficio

Le due tabelle nel seguito mostrano il confronto del retrofit degli impianti di illuminazione degli uffici dell'ACEA di Roma rispetto alla situazione presente al 1996<sup>19</sup>. Si noti che il consumo si riduce oltre il 50% e l'intervento è economicamente redditizio (il CER è di 59 Lire contro le 250 Lire del prezzo medio del kWh elettrico per utenti del terziario).

<b>Confronto del nuovo e vecchio sistema di illuminazione fluorescente per una stanza d'ufficio tipo dell'edificio ACEA di Roma</b>		
	Situazione attuale	Sistema nuovo
Numero di lampade	12	8
Superficie (m <sup>2</sup> )	28	28
Potenza assorbita da singola lampada + reattore (W)	50,2	57
Potenza assorbita dal sistema di illuminazione (W)	602	228
Potenza installata (W/m <sup>2</sup> )	21,9	8,1
Ore d'uso	1.516	1.044
Consumi energetici annui (kWh/y)	<b>914</b>	<b>238</b>
Flusso luminoso della lampada (lumen)	2.000	5.000
Livello medio di illuminamento * (lux)	240	390
Prezzo della singola lampada** (Lire)	12.500	9.800
Prezzo del singolo apparecchio (incluso il ballast)*** (Lire)	101.000	267.000
Prezzo del sensore di presenza** (Lire)		320.000
Durata del sistema (anni)	28	28
Investimento totale**** (Lire)	544.000	1.465.000

\* Facendo riferimento al caso attuale è stato assunto un rendimento ottico dell'apparecchio del 40% e un fattore di mantenimento di 0,7

\*\* I prezzi sono ottenuti da quelli dichiarati dai produttori nel listino prezzi 1996 applicando uno sconto del 30%

\*\*\* Per quanto riguarda il caso attuale il prezzo dell'apparecchio tiene solo conto di una sua futura sostituzione tra 10 anni

\*\*\*\* L'investimento totale include i costi (attualizzati all'anno 1996 con il tasso di sconto dell'8%) di sostituzione delle lampade lungo il tempo di vita del sistema

<b>CER (nuovo impianto confrontato con quello attuale)</b>	
Extracosto (Lire)	920.000
Tasso di sconto reale	8%
Fattore di attualizzazione	0,09
CER (Lire/kWh)	59

<sup>19</sup> Vedi " Building Cooling - Technologies and Strategies to Reduce Energy and Power Demand", Ambiente Italia et al. (1996)

## Appendice: l'etichettatura energetica.

### A1 Etichettatura energetica degli elettrodomestici

L'Unione Europea con le Direttive Comunitarie 94/2/CE, 96/89/CE e 97/17/CE che implementano la Direttiva 92/75/EEC, impone l'obbligo dell'energy-labelling (etichettatura sulla qualità energetica) dei frigoriferi/congelatori<sup>20</sup> (in vigore dal 1° gennaio 1995), lavabiancheria (in vigore dal 1° aprile 1996) e asciugabiancheria (in vigore dal 30 settembre 1996) e delle lavastoviglie (in vigore dal 1° luglio 1999). La Direttiva impone che l'etichetta sia posta in modo ben visibile sull'apparecchio e deve contenere indicazioni sulle caratteristiche tecnico-energetiche del modello, oltre all'eventuale marchio di qualità ecologica - *ecolabel*- ed un indicatore sintetico dell'efficienza energetica del prodotto (e di efficacia di lavaggio e asciugatura per le lavabiancheria e le lavasciugatrici) denominato classe di efficienza.

Ogni Stato membro doveva impegnarsi a tradurre le Direttive CE in norme a livello nazionale. Dopo alcuni anni di attesa le Direttive per i frigoriferi e per le lavatrici sono state recepite anche in Italia<sup>21</sup> e quella sui frigoriferi è diventata operativa nel novembre '98, mentre per le lavatrici è obbligatoria dal giugno del 1999. La Direttiva sulle lavastoviglie è stata recepita in Italia da pochissimo tempo (novembre 1999) ed è divenuta operativa nel maggio 2000.

Nonostante la legge preveda sanzioni per chi non applica la direttiva, ad oggi non è raro trovare prodotti esposti nei negozi che non riportano l'etichetta energetica in posizione facilmente visibile. In ogni caso non esistono attualmente casi di punti vendita ove l'etichetta energetica sia stata spiegata e pubblicizzata<sup>22</sup>.

Per i frigoriferi/congelatori la Direttiva spiega negli allegati come debba essere strutturata l'etichetta: dall'alto verso il basso si hanno l'indicazione del costruttore e del modello, la categoria d'efficienza/consumi dell'apparecchio (sono definite sette classi indicate da lettere successive dell'alfabeto -dalla A alla G-, che individuano i bassi fino agli alti consumi), l'eventuale marchio di qualità ecologica (*eco-label*), l'indicazione del consumo annuo dell'apparecchio (in base a risultati di prove standard), l'indicazione dei volumi netti di refrigerazione (volume alimenti freschi) e di congelazione (volume alimenti congelati) o degli altri comparti eventualmente presenti, l'indicazione del numero di stelle del comparto più freddo, l'indicazione se l'apparecchio è "no-frost", l'indicazione della capacità di congelazione (kg di alimenti/24h), l'indicazione della rumorosità dell'apparecchio e infine la dicitura sulla possibilità di ulteriori informazioni sull'apparecchio in base agli opuscoli illustrativi del prodotto stesso.

Il criterio per definire la classe di efficienza energetica del prodotto è basato sull'indice *I* di efficienza energetica<sup>23</sup>, definito come rapporto tra il consumo annuo effettivo dell'apparecchio e un consumo standard.

Quest'ultimo è calcolato in funzione del volume aggiustato<sup>24</sup> ( $V_{adj}$ ) attraverso una relazione lineare i cui coefficienti sono definiti in base al tipo di frigorifero: ad esempio nel caso dei frigocongelatori si ha la retta  $303.0 + 0.777 \cdot V_{adj}$  proposta dal GEA (*Group for Efficient Appliances*), individuata per il parco frigoriferi europeo del 1992. Un frigorifero risulta di

classe A se	$I < 55$
classe B se	$55 \leq I < 75$
classe C se	$75 \leq I < 90$
classe D se	$90 \leq I < 100$
classe E se	$100 \leq I < 110$
classe F se	$110 \leq I < 125$
classe G se	$125 \leq I$

<sup>20</sup> O meglio, di tutte le apparecchiature domestiche destinate alla refrigerazione dei cibi, di qualunque genere, purché coinvolgano temperature inferiori a quella ambiente si va quindi dalla temperatura di cantina di +10°C alla congelazione a -18°C o a temperature inferiori.

<sup>21</sup> Nel maggio del 1998 per i frigoriferi/congelatori (DM 2 aprile 1998) e nell'ottobre del 1998 per le lavatrici (DM 7 ottobre 1998).

<sup>22</sup> L'etichetta trova spesso ampia descrizione essenzialmente sui cataloghi dei prodotti. Recentemente anche un grosso distributore di elettrodomestici a livello nazionale ha riportato la spiegazione dell'etichetta energetica in una propria brochure di promozione commerciale.

<sup>23</sup> I viene espresso in percentuale.

<sup>24</sup> È il volume di ciascuno scomparto, a temperatura caratteristica, dell'apparecchio frigorifero corretto per un opportuno fattore che tiene conto degli scambi termici dello scomparto con l'esterno.

Per le lavabiancheria e le lavastoviglie la definizione di un'etichetta energetica è stata più complessa in quanto le associazioni di produttori richiedevano giustamente che accanto alla classe di efficienza energetica fosse indicata la classe di efficienza di prestazione (qualità del lavaggio); quest'ultima ha richiesto pertanto un insieme di norme che chiariscono come misurare la prestazione in modo omogeneo per i vari apparecchi. Per le lavatrici la Commissione ha così definito un indice C di efficienza energetica pari al consumo di energia in kWh per kg lavato con ciclo normale cotone 60°C, e una lavatrice risulta di

classe A se	$C \leq 0,19$
classe B se	$0,19 < C \leq 0,23$
classe C se	$0,23 < C \leq 0,30$
classe D se	$0,30 < C \leq 0,34$
classe E se	$0,34 < C \leq 0,38$
classe F se	$0,38 < C \leq 0,42$
classe G se	$0,42 > C$

Per le lavastoviglie ad uso domestico il criterio per definire la classe di efficienza energetica del prodotto è basato sull'indice  $E_t$  definito come rapporto fra il consumo di energia standard (C) ed il "consumo di riferimento" ( $C_r$ ). Quest'ultimo è calcolato con una relazione lineare i cui coefficienti sono definiti in base al numero di coperti (S):

$$C_r = 1,35 + 0,025 * S \quad \text{se } S \geq 10$$

$$C_r = 0,45 + 0,09 * S \quad \text{se } S \leq 9$$

Una lavastoviglie risulta di

classe A se	$E_t \leq 0,64$
classe B se	$0,64 < E_t \leq 0,76$
classe C se	$0,76 < E_t \leq 0,88$
classe D se	$0,88 < E_t \leq 1,00$
classe E se	$1,00 < E_t \leq 1,12$
classe F se	$1,12 < E_t \leq 1,24$
classe G se	$E_t > 1,24$

## A2 Etichettatura energetica delle lampade per uso domestico

La Direttiva Comunitaria 98/11/CE impone, a partire dal 1° luglio 1999, l'obbligo dell'energy-labelling (etichettatura indicante l'efficienza energetica) delle lampade ad uso domestico. Le tipologie di lampade interessate sono: incandescenti, fluorescenti compatte integrate con alimentatore e fluorescenti (lineari e compatte non integrate). L'etichetta deve essere visibile sull'imballo della lampada e può essere in bianco e nero o a colori come nel caso dei grandi elettrodomestici.

Sull'etichetta sono riportati: i lumen, la potenza assorbita, la durata e la classe di efficienza energetica della lampada.

La classe di efficienza energetica è definita secondo le seguenti modalità.

Una lampada è di classe A se verifica le seguenti condizioni:

- per lampade fluorescenti senza alimentatore integrato:

$$W \leq 0,15 (\Phi)^{1/2} + 0,0097 \Phi$$

- per le altre lampade

$$W \leq 0,24 (\Phi)^{1/2} + 0,0103 \Phi$$

dove W è la potenza assorbita dalla lampada (espressa in watt)  $\Phi$  è il flusso luminoso (espresso in lumen).

Se la lampada non è di classe A si calcola l'indice di efficienza energetica  $E_i$

$$E_i = W/W_R$$

essendo  $W_R$  definito come segue

- se  $\Phi > 34$  lumen

$$W_R = 0,88 (\Phi)^{1/2} + 0,049 \Phi$$

- se  $\Phi \leq 34$  lumen

$$W_R = 0,2 \Phi;$$

dopodiché la classe di efficienza energetica è determinata secondo la seguente tabella:

Classe di efficienza energetica	Indice di efficienza energetica $E_i$
B	$E_i < 60\%$
C	$60\% \leq E_i < 80\%$
D	$80\% \leq E_i < 95\%$
E	$95\% \leq E_i < 110\%$
F	$110\% \leq E_i < 130\%$
G	$E_i \geq 130\%$

### A3 Etichettatura energetica dei motori elettrici trifase a induzione (motori standard)

La Commissione Europea ha raggiunto nel 1999 un accordo di programma con la CEMEP (*European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics*) per la definizione di un'etichetta energetica per i motori elettrici trifase a induzione a gabbia di scoiattolo (da 1,1 a 90 kW; a 2 o 4 poli; operanti con tensione a 400 V e frequenza della corrente pari a 50 Hz).

Sono state definite tre classi di efficienza (eff1, eff2, eff3) secondo il rendimento del motore rispetto alla potenza nominale (pensando di utilizzare il motore a pieno carico). I valori di efficienza sono indicati nelle tabelle successive.

#### Motori a 4 poli

kW	eff3 se $\eta_N$	eff2 se $\eta_N$	eff1 se $\eta_N$
1,1	< 76,2	$\geq 76,2$	$\geq 83,8$
1,5	< 78,5	$\geq 78,5$	$\geq 85,0$
2,2	< 81,0	$\geq 81,0$	$\geq 86,4$
3	< 82,6	$\geq 82,6$	$\geq 87,4$
4	< 84,2	$\geq 84,2$	$\geq 88,3$
5,5	< 85,7	$\geq 85,7$	$\geq 89,2$
7,5	< 87,0	$\geq 87,0$	$\geq 90,1$
11	< 88,4	$\geq 88,4$	$\geq 91,0$
15	< 89,4	$\geq 89,4$	$\geq 91,8$
18,5	< 90,0	$\geq 90,0$	$\geq 92,2$
22	< 90,5	$\geq 90,5$	$\geq 92,6$
30	< 91,4	$\geq 91,4$	$\geq 93,2$
37	< 92,0	$\geq 92,0$	$\geq 93,6$
45	< 92,5	$\geq 92,5$	$\geq 93,9$
55	< 93,0	$\geq 93,0$	$\geq 94,2$
75	< 93,6	$\geq 93,6$	$\geq 94,7$
90	< 93,9	$\geq 93,9$	$\geq 95,0$

**Motori a 2 poli**

<b>kW</b>	<b>eff3 se <math>\eta_N</math></b>	<b>eff2 se <math>\eta_N</math></b>	<b>eff1 se <math>\eta_N</math></b>
1,1	< 76,2	$\geq 76,2$	$\geq 82,8$
1,5	< 78,5	$\geq 78,5$	$\geq 84,1$
2,2	< 81,0	$\geq 81,0$	$\geq 85,6$
3	< 82,6	$\geq 82,6$	$\geq 86,7$
4	< 84,2	$\geq 84,2$	$\geq 87,6$
5,5	< 85,7	$\geq 85,7$	$\geq 88,6$
7,5	< 87,0	$\geq 87,0$	$\geq 89,5$
11	< 88,4	$\geq 88,4$	$\geq 90,5$
15	< 89,4	$\geq 89,4$	$\geq 91,3$
18,5	< 90,0	$\geq 90,0$	$\geq 91,8$
22	< 90,5	$\geq 90,5$	$\geq 92,2$
30	< 91,4	$\geq 91,4$	$\geq 92,9$
37	< 92,0	$\geq 92,0$	$\geq 93,3$
45	< 92,5	$\geq 92,5$	$\geq 93,7$
55	< 93,0	$\geq 93,0$	$\geq 94,0$
75	< 93,6	$\geq 93,6$	$\geq 94,6$
90	< 93,9	$\geq 93,9$	$\geq 95,0$

La CEMEP si è impegnata a promuovere la diffusione di motori di classi eff1 ed eff2.

**A4 Standard minimi di efficienza per gli elettrodomestici**

Insieme all'informazione fornita ai consumatori dall'etichetta energetica l'Unione Europea ha considerato utile forzare il mercato a rinnovarsi ed eliminare direttamente dal mercato prodotti di bassa efficienza, introducendo degli *standard minimi di efficienza*. A seguito di uno studio condotto dal GEA (Group for Efficient Appliances) nel 1993, nel settembre 1996 è stata adottata la Direttiva Europea (96/57/CE) per gli standard minimi di efficienza per le apparecchiature refrigeranti domestiche, che è divenuta effettiva nel settembre del 1999. La Direttiva impone l'eliminazione dalla produzione dei frigoriferi e congelatori a bassa efficienza (dalla classe G alla classe D –con deroga alla classe E nel caso dei congelatori-, a seconda della categoria dell'apparecchio), ma non elimina la presenza sul mercato di apparecchi inefficienti già precedentemente prodotti e non ancora venduti. In Italia la Direttiva è stata recepita nel novembre del 1999. L'effetto della Direttiva è di produrre un miglioramento del 15% dell'efficienza del parco frigoriferi disponibile attualmente sul mercato rispetto al parco disponibile nel corso del 1993.

Rispetto allo studio del GEA, lo standard assunto al 1999 è di portata ridotta. Il GEA proponeva come standard di minima efficienza a breve termine (entro il 1995) il valore di riduzione dei consumi del 10% o 15%. La configurazione di efficienza a lungo termine (pensata attuabile dal GEA per il 1999) avrebbe comportato un risparmio degli apparecchi attualmente venduti tra il 38% e il 55% (a seconda del modello di partenza). L'implementazione nei Paesi della UE dello standard del 10% nel 1995 e dello standard a lungo termine nel 1999 avrebbe consentito un risparmio (rispetto allo scenario di riferimento, ovvero l'assenza di standard) di 452 TWh e una riduzione di emissioni di CO<sub>2</sub> pari a 210 Megatonnellate.

**A5 Standard raccomandati di efficienza per l'illuminazione**

Nella tabella seguente sono indicati i valori raccomandati per i livelli di illuminamento e per le potenze specifiche installate (W/m<sup>2</sup>) relative ai sistemi di illuminazione di diversi ambienti, facendo riferimento alle norme UNI e a soluzioni tecnologicamente innovative ormai collaudate. Il confronto fra i dati in tabella e la situazione di un ambiente reale aiuta a capire dove intervenire per migliorare l'efficienza dell'impianto (sostituzione di apparecchi illuminanti scadenti, scelta di una sorgente luminosa più efficiente, dimensionamento corretto, disposizione più razionale degli apparecchi).

Standard raccomandati di efficienza energetica per sistemi di illuminazione (lampade e potenza specifica installata)				
Tipologia ambiente	Compito visivo o attività	Livello di illuminamento o raccomandato (lux) (1)	Tipologia di lampade (2)	Standard raccomandato di potenza specifica installata (W/m <sup>2</sup> ) (3)
Abitazioni e Alberghi	Cucina/Camere	300	FSH	6-12 (AI)
Scuole	Aule (lettura e scrittura)	500	FDH/FSH	8-14 (PP)
	Auditori/Sale riunioni	200	FDH/FSH	5-10 (PP)
	Corridoi/Scale	150	FDH/FSH	4-10 (PP)
Biblioteche	Scaffali verticali	200	FDH/FSH	4-8 (PP)
	Lettura	500	FDH/FSH	8-14 (PP)
Ospedali	Camere	300	FDH	6-10 (AI/PP)
	Corsie (illuminazione generale)	100	FDH	3-8 (AI/PP)
Uffici	Scrivania	300	FDH	6-10 (AI/PP)
	Lavoro con videotermini	200	FDH	4-8 (AI/PP)
Negozi e magazzini	Esposizione merci su banco/corsia	500	FDH	10-15 (AI/PP)
	Vetrina	750	FSH/M	15-22 (AI/PP)
Impianti sportivi	Palestre/Piscine	300	FDH/M	7-12 (AI)
Industrie	Aree magazzino	200	FDH/M/S	4-8 (AI/PP)
	Lavorazioni su macchine utensili o simili	500	FDH/M	6-15 (AI/PP)
	Lavorazioni pericolose o di alta precisione	750-1000	FDH/M	15-30 (AI/PP)
Illuminazione stradale (4)	Strade con traffico di veicoli e pedoni	25	SAP	1-5 (AI)

(1) livelli medi di illuminamento raccomandati dalla CIE

(2) Le sigle vanno interpretate secondo la codifica internazionale ILCOS:

**FDH:** lampada a fluorescenza lineare corredata di alimentazione elettronica

**FHS:** lampada a fluorescenza compatta integrata con alimentatore elettronico

**M:** lampada a ioduri metallici

**S:** lampada a vapori di sodio ad alta pressione

(3) I valori di potenza specifica sono ricavati facendo riferimento all'assenza completa del contributo di luce naturale. L'indicazione di un intervallo di valori ha lo scopo di tener conto di differenze di geometria degli edifici/loca, così come delle tecnologie adoperate nell'impianto finale. Si noti che i risparmi apportati dai *dimmer* non riguardano l'abbassamento della potenza installata, ma piuttosto la potenza di effettivo utilizzo o il numero d'ore d'uso del sistema illuminante.

Le sigle indicate tra parentesi accanto ai valori di potenza installata raccomandata corrispondono alla fonte dei valori e vanno interpretate nel modo seguente:

**AI:** elaborazioni condotte da Ambiente Italia Srl su dati dei produttori e verifiche di progettazione illuminotecnica

**PP:** misure ottenute in progetti pilota o interventi di *retrofit* già realizzati all'estero o in Italia

(4) Per l'illuminazione stradale si tiene conto di apparecchi disposti in modo che la luce emessa non venga ostacolata da alberi o opere murarie.

## 3. I trasporti

### 3.1 Carburanti alternativi<sup>25</sup>

#### 3.1.1 Metanolo - Etanolo

Sono caratterizzati da proprietà fisiche ed emissioni specifiche simili. Il metanolo ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) può essere prodotto da gas naturale, petrolio grezzo, carbone, biomassa vegetale (legna) o da residui organici. L'etanolo è simile al metanolo, ma considerevolmente più pulito, meno tossico e meno corrosivo. Può essere prodotto impiegando come materie prime il prodotto di alcune coltivazioni, quali la canna da zucchero e il mais. La produzione di etanolo è comunque più costosa e richiede ampie superfici colturali e notevoli quantità di energia, determinando l'insorgenza di ulteriori costi ambientali a cominciare dalla degradazione dei suoli. In considerazione dell'elevato numero di ottani, l'etanolo è stato impiegato inizialmente in miscela con la benzina, in particolare negli Stati Uniti e in Brasile. Le potenzialità in termini di riduzione delle emissioni sono state ridimensionate da quando si è scoperto che, se miscelato alla benzina, l'etanolo incrementa le emissioni evaporative da carburante. Le emissioni di  $\text{NO}_x$  sono più elevate di quelle attribuite al metanolo, ma comunque considerevolmente più basse di quelle di un motore diesel convenzionale. Inoltre, come nel caso dei motori a metanolo, le emissioni di particolato sono molto limitate.

Il Metanolo è un semplice composto, che non contiene né zolfo né molecole organiche complesse. L'uso del metanolo in alternativa alla benzina consente di ipotizzare due significativi vantaggi dal punto di vista della qualità dell'aria: un più basso potenziale di formazione di ozono e, se usato allo stato puro, non in miscela, una consistente riduzione delle emissioni di benzene e altri idrocarburi policiclici aromatici.

Con l'impiego di metanolo puro le emissioni di ossido di zolfo si limitano alle quantità derivanti dalla combustione dello zolfo contenuto nell'olio motore. La significatività della riduzione dell'ozono e delle emissioni di altri inquinanti dipende dal livello di ottimizzazione del motore per l'uso di tale carburante, e dallo sviluppo delle tecnologie di catalizzazione (come, ad esempio, i catalizzatori riscaldati). Ciò è vero in particolare per quanto concerne le emissioni di formaldeide ( $\text{HCHO}$ ) che rappresenta il principale prodotto di ossidazione del metanolo.

La formaldeide è un prodotto tossico e probabilmente cancerogeno, che in particolari situazioni (garage, tunnel stradali) può raggiungere concentrazioni pericolose per la salute umana. A scala urbana le concentrazioni di formaldeide dipendono sia dalle immissioni dirette che dalla formazione indiretta generata dalle reazioni di ossidazione di idrocarburi. In ogni caso, il ricorso al metanolo dovrebbe avere effetti limitati sulle concentrazioni ambientali di formaldeide, in ragione della scarsa reattività dei relativi prodotti di combustione. Il processo di conversione del gas naturale in metanolo comporta probabilmente meno emissioni di ossidi di zolfo, particolato e composti organici volatili per unità di *output* di energia rispetto a quelle derivanti dalla conversione di olio grezzo in benzina nelle raffinerie di petrolio, in quanto il gas naturale contiene meno zolfo, è più omogeneo del petrolio grezzo, ed il metanolo è meno volatile della benzina. Nel complesso, dunque, il ciclo di produzione del metanolo comporta emissioni evaporative molto più ridotte di quello della benzina.

<sup>25</sup> OCSE, *Choosing an Alternative Transportation Fuel*, Paris 1993



### 3.1.2 Olii vegetali ed esteri di olii vegetali

Gli olii vegetali possono essere prodotti da colza, girasole, noce di cocco o soia. Il loro impiego come carburanti per motori diesel viene proposto in considerazione delle loro buone qualità di combustione. Comunque, l'elevata viscosità, che si traduce in una limitata atomizzazione, nel rischio di blocco dell'iniettore e nella contaminazione dell'olio lubrificante, ne consigliano l'uso in miscela con almeno il 50% di gasolio; in questo caso, però, le emissioni di CO, idrocarburi e particolato risultano superiori a quelle derivanti dall'impiego di carburante diesel puro.

Da questo punto di vista, maggiore interesse riveste l'impiego di esteri di olii vegetali (ottenuti per reazione degli olii con alcool), che sono caratterizzati da una minore viscosità e da un più elevato numero di centano. La valutazione complessiva del ciclo di vita del cosiddetto biodiesel (RME, olii di colza o ravizzone esterificati con metanolo) appare incerta: un rapporto della Agenzia Federale dell'Ambiente tedesca<sup>26</sup>, analizzando i costi ambientali ed energetici imputabili all'impiego di RME e comparandoli con quelli associati all'impiego del gasolio per autotrazione, giunge alla conclusione che i benefici ambientali associati all'impiego di biodiesel sono assai limitati, essendo insignificante la riduzione delle emissioni di gas climalteranti (0,5 - 0,7% delle attuali emissioni del settore dei trasporti), a fronte un incremento delle emissioni di NO<sub>x</sub> e VOC, quale risultante delle diverse fasi del ciclo produttivo del biodiesel.

In ogni caso, il bilancio energetico è - secondo l'OCSE - più favorevole di quello della produzione di etanolo da cereali, grazie ad una minore domanda di energia di processo.

### 3.1.3 Gas naturale compresso

I veicoli alimentati a gas naturale compresso immettono in atmosfera meno CO rispetto a quelli alimentati a benzina e a metanolo, grazie alla migliore miscelazione carburante/comburente ed al minore arricchimento della miscela necessario all'avvio. D'altra parte, i veicoli a gas naturale immettono quantità di ossidi di azoto comparabili o forse superiori a quelle immesse dai veicoli a benzina e a metanolo; più ridotte, invece, le emissioni di idrocarburi non metanici (in quanto il gas naturale è composto principalmente da metano). Le emissioni di benzene, ossidi di zolfo e fumi dovrebbero essere virtualmente nulle, mentre quelle di formaldeide sono leggermente inferiori a quelle attribuite ai veicoli a benzina.

### 3.1.4 Idrogeno

La combustione dell'idrogeno, fatta eccezione per le emissioni di NO<sub>x</sub>, è virtualmente non inquinante: il principale prodotto di combustione è l'acqua. I veicoli a idrogeno non emettono CO e idrocarburi (a parte le limitatissime emissioni dovute alla combustione dell'olio lubrificante), né particolati, ossidi di zolfo, aldeidi, benzene, CO<sub>2</sub> e altri gas serra. I motori avanzati a combustione povera riducono inoltre al minimo anche le emissioni di NO<sub>x</sub>; in ogni caso, se l'idrogeno viene impiegato in celle a combustibile, anche le emissioni di ossidi di azoto si annullano.

### 3.1.5 Gecam

Il Gecam, detto "gasolio bianco" per la particolare colorazione, è una microemulsione di gasolio (88%), acqua (10,3%) e uno specifico additivo (1,7%). L'aggiunta di acqua per migliorare la combustione è una teoria nota da anni, che però ha trovato un vincolo di applicazione sul mercato a causa della limitata stabilità dell'emulsione. La tecnologia che produce il Gecam garantisce una

<sup>26</sup> Federal Environmental Agency, *Life Cycle Assessment of Rapeseed Oil or Rapeseed Oil Methyl Ester as Substitute for Diesel Fuel*, Berlin, 1993

stabilità accettabile del prodotto. La vaporizzazione immediata delle microcelle di acqua all'interno della camera di combustione favorisce la dispersione omogenea dell'idrocarburo, assicurando una combustione più completa che riduce il particolato e migliora il consumo specifico. Allo stesso tempo, l'acqua miscelata nel gasolio, evaporando, porta ad un abbassamento delle temperature e ad una riduzione della formazione degli ossidi di azoto. Da un punto di vista ambientale, le emulsioni hanno quindi un effetto positivo sulla riduzione delle emissioni di particolato, che costituiscono il problema principale delle emissioni dei motori diesel. Le sperimentazioni fino ad ora eseguite (il Gecam ha avuto l'autorizzazione, da parte del Ministero delle Finanze, alla commercializzazione il 9 marzo 1999) hanno dimostrato che l'emulsione riduce la quantità di particelle respirabili (frazione tra 0,5 e 5  $\mu\text{m}$ , che sono le più pericolose per la salute umana) di circa il 50%, con una riduzione del 70% della nocività delle emissioni totali di particolato. Ulteriori riduzioni sulle emissioni si sono riscontrate per gli ossidi di azoto, fino al 30% in meno, e per la  $\text{CO}_2$ , circa il 5%. Il prodotto garantisce un risparmio netto di carburante del 5% in meno. Con 1,05 litri di Gecam, di cui il 10% è composto di acqua, si ha, infatti, la stessa percorrenza di un litro di gasolio. Il punto di forza di questa nuova tecnologia è rappresentata dal fatto che, se utilizzato in alternativa al normale gasolio, non necessita di alcuna variazione ai motori o ai veicoli, né richiede l'aggiunta di accessori.

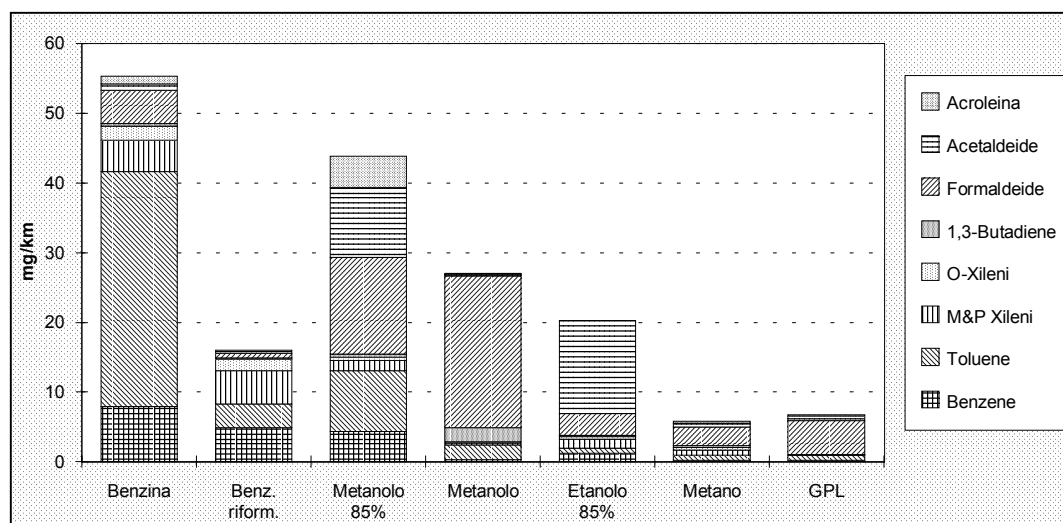
Il Gecam presenta anche alcuni inconvenienti, che sono:

- ❑ una perdita di potenza del motore, sebbene contenuta al 5%;
- ❑ la necessità di additivi antigelo, se le temperature esterne superano i 10 gradi sotto lo zero;
- ❑ un potere detergente superiore al gasolio, il che implica una maggiore manutenzione e pulizia delle cisterne.

Il Ministero dell'Ambiente e il Gruppo Pirelli hanno firmato un protocollo di intesa per una serie di iniziative congiunte di impegno a tutela dell'ambiente; in questo accordo il Ministero ha riconosciuto il valore ecologico del Gecam e si è impegnato a favorirne la penetrazione sul mercato. Attualmente il Gecam viene utilizzato in esperienze pilota dalle seguenti aziende di trasporto pubblico: Apt di Lecco, Co.Pi.T di Pistoia, SPT di Como, SAB di Bergamo, ATAP di Biella, ATINOM di Magenta (MI), ATM di Genova, ATM di Torino, ATAC di Roma, STIE di S. Vittore Olona (MI).

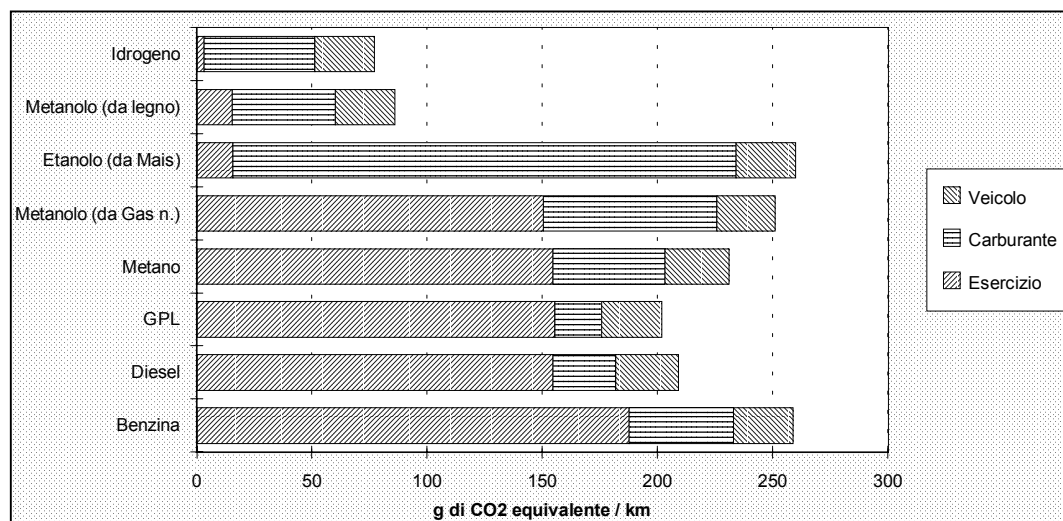
### 3.1.6 Comparazione dei diversi carburanti alternativi

In figura sono visualizzate le emissioni unitarie di inquinanti atmosferici tossici attribuibili all'impiego di benzina, benzina riformulata, miscele benzina-metanolo e etanolo, metanolo puro, metano e GPL<sup>27</sup>:



<sup>27</sup> Fonte: OCSE, **Motor Vehicle Pollution - Reduction Strategies beyond 2010**, OCSE, Paris 1995

La figura seguente<sup>28</sup> compara invece alcuni carburanti alternativi in ordine alle emissioni di CO<sub>2</sub> stimate con riferimento all'intero ciclo di vita ad esclusione della dismissione del veicolo, suddivise fra produzione del veicolo, produzione del carburante ed esercizio del veicolo; si è ipotizzata una percorrenza totale di 177.000km.



## 3.2 Gli autoveicoli alternativi

### 3.2.1 Autoveicoli elettrici

La propulsione elettrica viene da diversi anni proposta quale alternativa a basso impatto ambientale per il supporto della mobilità urbana. Diversi veicoli elettrici sono già oggi disponibili sul mercato nazionale ed internazionale, sia nell'ambito delle vetture per uso privato che nell'ambito dei mezzi di trasporto pubblico (nel periodo 1984-1989 l'ATAC di Roma ha impiegato - a fini sperimentali - otto minibus elettrici, mentre tre mezzi analoghi sono in servizio a Trento). Secondo uno studio condotto da OCSE<sup>29</sup> con riferimento a Canada, Francia, Germania, Italia, Giappone, Olanda, Svezia, Svizzera, Regno Unito ed USA, al 1993 si poteva stimare essere circolante in questi paesi una flotta di ca. 5000 veicoli elettrici su strada, oltre a diverse flotte di veicoli specializzati (come i 25000 veicoli per la distribuzione del latte operanti in Inghilterra o 500 veicoli impiegati in aree di svago in Svizzera).

Il ridotto impatto locale della propulsione elettrica (silenziosità, emissioni "zero" presso il sito di utenza) ne consiglierebbero in effetti un diffuso impiego in quelle aree urbane nelle quali il traffico motorizzato rappresenta una delle principali emergenze ambientali. Nondimeno, la maturità tecnologica e la definizione di un bilancio energetico ambientale che comprenda l'intero ciclo di vita del mezzo elettrico rappresentano ad oggi diversi elementi di incertezza.

La limitata penetrazione degli autoveicoli elettrici è attualmente spiegabile in termini di:

- elevati costi di acquisto;
- limitate prestazioni in termini di autonomia;
- limitate prestazioni cinematiche.

Più globalmente, sono comunque da approfondire gli aspetti relativi a:

- consumi energetici in fonti primarie;
- emissioni globali;
- eventuali fattori di impatto specifici;
- compatibilità della propulsione elettrica con il sistema di produzione e approvvigionamento dell'energia elettrica;

<sup>28</sup> International Energy Agency (IEA), **Cars and Climate Change**, OCSE, Paris 1993

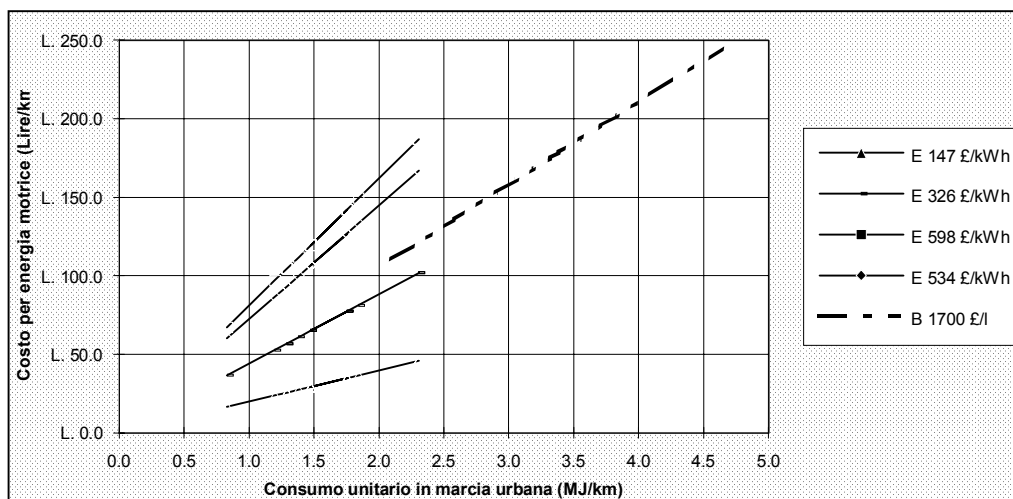
<sup>29</sup> Fonte: IEA, **Electric Vehicles: Technology, Performance and Potential**, OECD, 1993

- modello di penetrazione del veicolo elettrico in rapporto al trend di crescita della motorizzazione privata.

### Costi di acquisto e di esercizio

I costi di acquisto di un veicolo elettrico sono attualmente dell'ordine di 2 - 3 volte superiori a quelli di analoghi veicoli a combustione interna<sup>30</sup>; nondimeno, tale differenziale dovrà necessariamente ridursi nel momento in cui la domanda consentisse di passare a produzioni di grande scala; secondo alcune valutazioni, in presenza di una domanda sufficientemente consolidata il costo dei veicoli elettrici potrebbe rapidamente scendere fino ad 1.5 volte quello dei veicoli tradizionali.

Quanto ai costi di esercizio, questi dipendono, per quanto concerne il consumo di energia elettrica, dal tipo di contratto di fornitura. La forma più conveniente è quella che prevede la tariffa bioraria, attualmente praticata solamente su contratti per potenze superiori ai 6 kW<sup>31</sup>. Nella figura 9.3 si confronta il costo energetico chilometrico di autovetture a benzina (per consumi unitari, in marcia urbana, compresi fra 6.5 e 15 litri/100 chilometri) considerando un prezzo di vendita di 1700 Lire/litro, con il costo energetico chilometrico delle autovetture elettriche attualmente commercializzate (consumi medi dichiarati compresi fra 0.09 e 0.25 kWh/km, incrementati tenendo in considerazione un rendimento energetico medio delle batterie dell'80%), in funzione dei diversi scaglioni della tariffa elettrica domestica.



Ai costi di esercizio di un'autovettura elettrica concorre, inoltre, in termini significativi l'ammortamento delle batterie, la cui vita utile è generalmente inferiore a quella del veicolo.

Per quanto riguarda gli altri costi di esercizio, si deve infine considerare che:

- le autovetture elettriche sono esentate dal pagamento della tassa di possesso per un periodo di cinque anni dall'immatricolazione;
- i premi assicurativi per Responsabilità Civile adottati per i veicoli elettrici sono pari al 50% di quelli previsti per veicoli di categoria equivalente a motore endotermico.

### Limiti di prestazione e linee di sviluppo tecnologiche

I principali limiti di prestazione connessi ad una penetrazione delle autovetture elettriche (soprattutto se in sostituzione di autovetture a motore endotermico) riguardano l'autonomia e le prestazioni cinematiche. Quanto a queste ultime (velocità massime generalmente inferiori a 100

<sup>30</sup> Cfr. Commissione Italiana Veicoli Elettrici Stradali (CIVES), Regione Lombardia, **Annuario del Veicolo Elettrico Stradale**, Prima edizione, giugno 1994

<sup>31</sup> Questo problema non si pone nella misura in cui si ipotizzi uno sviluppo delle batterie Zinco-Aria (vedi oltre), in quanto il revamping degli elettrodi sarebbe effettuato presso centri specializzati, e quindi presumibilmente con contratti per potenze superiori ai 6 kW.

km/h, accelerazione da 0 a 50 km/h comprese fra 8 e 20 secondi), si tratta di limitazioni del tutto "teoriche", specialmente in ambito urbano dove, come noto, la velocità massima consentita è di 50 km/h. Per quanto concerne invece l'autonomia, la sua limitazione ad un range di 50 - 120 km a seconda del mezzo e del tipo di guida rappresenta per gran parte dei potenziali utenti un limite più significativo, anche se la stragrande maggioranza delle percorrenze giornaliere in ambito urbano si situa su valori generalmente inferiori ai 50 km.

L'*Institute of Applied Energy* del Giappone, ad esempio, assume quale condizione per una penetrazione sul mercato di autovetture elettriche la disponibilità di autonomia di viaggio di almeno 100 km (flotte aziendali e di enti, seconde auto private) e di 200 km (prima auto privata). Vi sono due possibili alternative per risolvere il problema dell'autonomia, a loro volta articolate in sei differenti approcci (OCSE 1993):

**a) Incremento dell'autonomia di viaggio**

- Batterie ad elevata densità energetica (alta energia specifica)
- Ridotto consumo energetico dei veicoli

**b) Ricarica rapida delle batterie**

- Quick charging
- Sostituzione delle batterie
- Batterie aria/alluminio
- Celle a combustibile

Le batterie attualmente disponibili su scala industriale sono quelle al piombo/acido e quelle al nichel/cadmio. Le batterie piombo-acido rappresentano la soluzione tecnologica più matura (e quindi affidabile) e sono attualmente impiegate dal 90% circa dei veicoli elettrici circolanti; possono immagazzinare al massimo 40 Wh di energia elettrica per kg di peso della batteria, corrispondente ad 1/300 dei circa 13.000 Wh/kg contenuti nella benzina. Considerando che l'efficienza di trasformazione del motore elettrico è di circa tre volte quella del motore a combustione, il rapporto effettivo fra le densità energetiche dei due vettori è dunque di 1:100.

Caricando un veicolo elettrico con un peso - in batterie - di circa 10 volte superiore a quello trasportato sotto forma di benzina da un veicolo tradizionale si può portare l'autonomia di marcia in un range compreso fra 1/4 e 1/10 di quella delle auto a benzina. Nel breve e medio termine (5-10 anni) è possibile ipotizzare un miglioramento della tecnologia degli accumulatori al piombo, che consenta di elevarne l'energia specifica a 50 - 55 kWh/kg, con una riduzione dei tempi di ricarica dalle attuali 6-7 ore a 5 ore.

Prestazioni più promettenti sono associate all'introduzione di accumulatori a media ed alta intensità energetica. Per quanto riguarda in particolare i primi (tipo nichel-cadmio), l'energia specifica è già oggi intorno a 60 kWh/kg, con prospettive di ulteriore miglioramento nei prossimi 5 - 10 anni (fino ad 80 - 90 kWh/kg); rispetto agli accumulatori al piombo, quelli al nichel prevedono inoltre più brevi tempi di ricarica (3-4 ore) ed una più lunga vita utile (1500 - 2000 cicli di vita nominali, contro i 600 delle batterie al piombo)<sup>32</sup>.

Una prospettiva di grande interesse per la penetrazione sul mercato di autoveicoli elettrici è infine legata allo sviluppo delle batterie Zinco-Aria (prototipi di autovetture dotate di tale tecnologia sono sperimentati in Italia da Edison e CESI), in quanto la logistica implicita in tale tecnologia (sostituzione degli elettrodi di zinco presso una qualunque stazione di servizio e successivo *revamping* presso impianti specializzati) ridurrebbe al minimo i tempi di ricarica per l'utenza, eliminando oltretutto la necessità di disporre di colonnine urbane per la ricarica degli accumulatori (*biberonnage*) e di locali attrezzati per la ricarica notturna.

Per quanto riguarda, invece, la riduzione dei consumi unitari dei veicoli elettrici che, a parità di energia specifica degli accumulatori, consente ovviamente di aumentare l'autonomia di viaggio, le grandi linee di ricerca finalizzate al conseguimento di tale obiettivo sono, secondo OCSE, le seguenti:

- motori ad induttore a corrente alternata, motori sincroni a corrente alternata;
- riduzione del peso del veicolo ed altre misure di riduzione delle resistenze all'avanzamento;

<sup>32</sup> Fonte: Previsione tecnologica relativa alle prestazioni degli accumulatori, in Regione Lombardia, Settore Ambiente ed Energia, **Diffusion Project regarding Urban Use of Electric Vehicles and Design of appropriate Battery-Recharge Infrastructure**, Annexes, May 1994.

- sistemi di trasmissione espressamente concepiti per i motori elettrici (coppia elevata a basse velocità, ampio spettro di variazione delle velocità, assenza del regime di folle a veicolo fermo), in luogo di quelli attualmente utilizzati, adattati da veicoli a motore endotermico;
- sviluppo del design per ulteriori riduzioni di peso del veicolo e maggiore compattezza nell'assemblaggio dei componenti.

D'altra parte, diversi prototipi e progetti di sviluppo di veicoli elettrici in corso consentono già oggi di prevedere un notevole incremento delle prestazioni, ottenuto sia mediante migliori tecnologie di accumulo che mediante il ricorso a tecnologie costruttive ad hoc (organi di propulsione integrati alle ruote, controllo elettronico, ecc.). Fra quelli sviluppati in ambito CEE si possono ad esempio citare il prototipo Fiat *Downtown* (velocità massima 100 km/h, autonomia 190-300 km) o la BMW *E1* (velocità massima 120 km/h, autonomia 150-260 km).

### *Consumi energetici degli autoveicoli disponibili sul mercato*

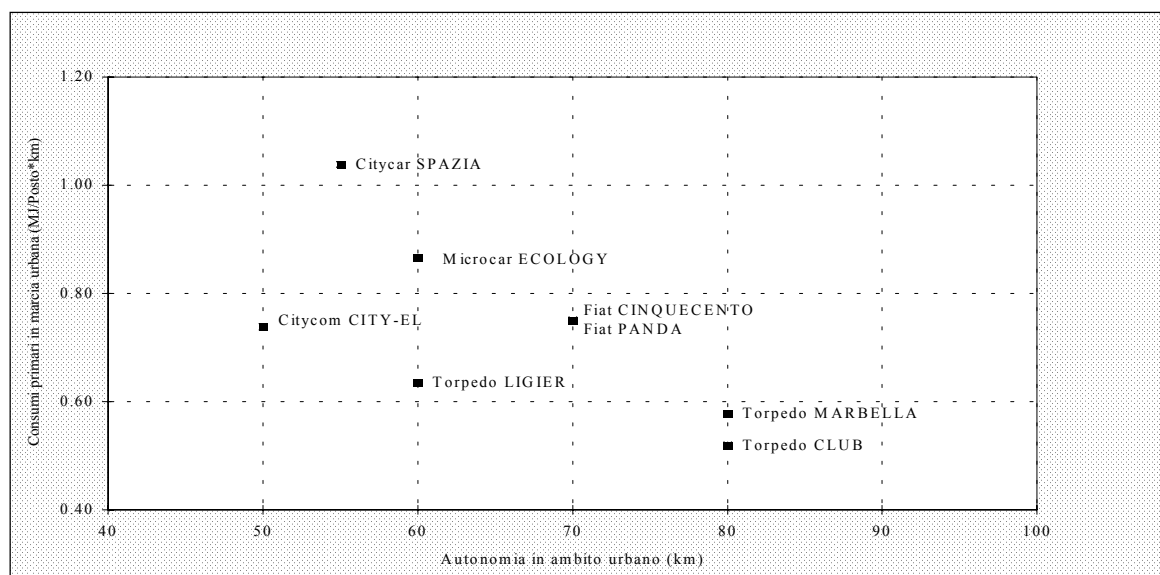
Per quanto concerne i veicoli elettrici attualmente disponibili sul mercato, la tabella successiva ne riporta alcuni dati caratteristici<sup>33</sup>. I consumi unitari sono quelli dichiarati dai costruttori e non tengono conto del rendimento energetico delle batterie.

Tipo	Costruttore	Modello	Posti	Carico utile kg	V max km/h	Pend. max %	Autonomia km		Consumo kWh/km	
							Urb	50 km/h	Urb	50 km/h
Auto	Citycar	Spazia	2	200	75	18	55	85	0.18	0.12
Auto	Citycom	City-El	1	110	50	16	50		0.064	
Auto	Fiat	Cinquecento elettra	2	150	80	25	70	100	0.13	0.09
Auto	Fiat	Panda elettra	2	150	70	25	70	90	0.13	0.07
Auto	Mazzieri	Micron PMCEP	4	300	70	18	45	75		
Auto	Microcar	Ecology	2	200	75	20	60	90	0.15	0.10
Auto	Torpedo	Club Elettrica	4	320	90	20	80	100	0.18	0.15
Auto	Torpedo	Marbella elettrica	3	250	90	25	80	110	0.15	
Auto	Torpedo	Ligier	2	390	65	20	60	80	0.11	
Minibus	Iveco	A49 elettrificato	20	1360	50	16	60	90	0.80	0.53
Minibus	Piaggio	Porter	5	390	50	16	70	80	0.21	0.19
Minibus	Tecnobus	Gulliver U500ES	27	1836	35	16	88	107	0.30	0.25
Merci	Boxel	Boxel T5	3	500	45	18	90	140	0.14	0.10
Merci	FAAM	Transporter C91	2	1080	53	16	70	90	0.25	0.20
Merci	Piaggio	Porter	2	470	50	16	70	80	0.21	0.19
Merci	Simai	Elevan	2	450	60	20	55	70	0.20	0.16

### *Dati caratteristici dei veicoli elettrici*

Un confronto con il consumo degli autoveicoli a motore endotermico viene quindi proposto a partire dai consumi unitari dichiarati, espressi al lordo del rendimento delle batterie (80%) e del rendimento medio di produzione dell'energia elettrica in Italia (assunto pari al 36%). Nella figura successiva si riportano gli indici di consumo primario per posto\*km, considerando il dato medio di 1.3 Pax/autovettura, in funzione dell'autonomia di viaggio in ambito urbano.

<sup>33</sup> Fonte: Commissione Italiana Veicoli Elettrici Stradali (CIVES) - Regione Lombardia, **Annuario del Veicolo Elettrico Stradale**, Prima edizione, Giugno 1994.



### Indici di consumo primario

Il consumo per posto\*km offerto varia fra 0.5 e 1.0 MJ; il consumo per passeggero\*km (nell'ipotesi di 1.3 Pax/auto) varia invece fra 0.7 e 1.6 MJ. Si noti che, nel caso delle autovetture elettriche, il consumo per posto\*km e per pax\*km non differiscono di molto in quanto i posti offerti sono generalmente due. L'eventuale sostituzione di autovetture a motore endotermico con autovetture elettriche porterebbe, quindi, ad un sensibile risparmio di energia qualora l'attuale coefficiente di occupazione delle auto private restasse sull'attuale limitato valore.

Sempre a titolo di confronto, si consideri il fatto che il consumo energetico delle autovetture a benzina in marcia urbana (dati 1993), secondo quanto dichiarato dai costruttori, varia fra 0.5 ed 1.2 MJ, in funzione della cilindrata; a tale dato corrisponde un consumo per Pax\*km (sempre nell'ipotesi di 1.3 Pax/auto) variabile fra 1.6 e 3.6 MJ. Assumendo, però, quale termine di paragone i consumi minimi in ambito urbano ad oggi ottenuti da autovetture a benzina (inferiori ai 4 litri/100 km) espressamente concepite per un uso urbano, gli indici unitari scendono rispettivamente a circa 0.3 MJ/Posto\*km e 1 MJ/Pax\*km, risultando dunque competitivi con gli attuali indici di prestazione delle autovetture elettriche.

Per quanto riguarda i minibus elettrici, i due dati disponibili con riferimento a mezzi capaci di trasportare almeno 20 passeggeri indicano un consumo per posto\*km offerto di 0.13 - 0.48 MJ, a fronte di un indice medio stimato con riferimento all'attuale servizio autobus di 0.22 MJ/posto\*km. Anche in questo caso, il consumo unitario rapportato al Pax\*km dipende dal coefficiente di occupazione adottato per il mezzo elettrico.

### Aspetti energetici legati ad una significativa penetrazione del veicolo elettrico

Per quanto riguarda gli aspetti più specificamente energetici, i termini della questione sono sintetizzabili nei seguenti punti:

- rispetto ai consumi unitari dei veicoli a motore endotermico attualmente circolanti, i veicoli elettrici presentano indici di consumo paragonabili a quelli delle autovetture di piccola cilindrata;
- rispetto all'attuale modello di impiego dell'automezzo privato (bassi coefficienti di occupazione) il minor consumo energetico appare assai più significativo e ciò in considerazione del limitato numero di posti offerti dalle autovetture elettriche;
- un più significativo vantaggio energetico è comunque ipotizzabile a fronte della progettazione di veicoli espressamente concepiti in funzione della motorizzazione elettrica (gran parte dei modelli attualmente disponibili sono in realtà autovetture a motore endotermico "riconvertite");

- d'altra parte è ipotizzabile che la realizzazione di veicoli a motore endotermico, soggetti a limitazioni operative e cinematiche comparabili con quelle degli attuali veicoli elettrici potrebbe conseguire elevate prestazioni energetiche;
- la diffusione dei veicoli elettrici in ambito urbano dovrebbe attentamente essere valutata anche in ordine alle conseguenze che potrebbero aversi, in termini di domanda di potenza, sulla rete di distribuzione, laddove la presumibile fascia oraria di ricarica dei veicoli, qualora non opportunamente regolamentata, potrebbe sovrapporsi al picco che caratterizza la richiesta di potenza elettrica nella fascia serale<sup>34</sup>
- per quanto concerne i benefici ambientali, questi sono evidenti a livello locale, dal momento che le emissioni sonore sono minime e le emissioni inquinanti atmosferiche sono virtualmente assenti<sup>35</sup>; a livello globale il bilancio delle emissioni, generalmente favorevole, è significativamente influenzato dalla composizione del parco di produzione elettrica di riferimento. In ogni caso è da considerare che il controllo dell'efficienza di combustione presso alcuni punti di produzione è comunque più agevole ed efficace del controllo diffuso dell'efficienza di combustione di milioni di autoveicoli a motore.

### 3.2.2 Autoveicoli ibridi

Una tecnologia «di transizione» fra motore endotermico e motore elettrico è rappresentata dai veicoli «ibridi», ovvero da quei veicoli nei quali la movimentazione è assicurata da un motore elettrico, alimentato da un motore endotermico installato a bordo.

I vantaggi conseguibili mediante tale soluzione sono diversi: quanto alle prestazioni, dal momento che la funzione degli accumulatori è limitata a fornire energia nelle fasi di richiesta di maggior potenza, esse sono comparabili a quelle di analoghi veicoli a trazione endotermica, soprattutto per quanto concerne l'autonomia di viaggio; quanto alle emissioni sonore ed atmosferiche, la presenza di un motore di limitata potenza che opera costantemente ad un regime di rotazione ottimizzato, garantisce un livello di impatto limitato.

Per quanto riguarda le applicazioni della tecnologia ibrida alle autovetture sono stati realizzati prototipi di modelli di piccola e media dimensione, come ad esempio la Seat Marbella e la Lancia Thema, ovvero microvetture espressamente progettate per una trazione non convenzionale, come la «Card car» BIGA, espressamente progettata per un uso "pubblico" con pagamento automatizzato<sup>36</sup>.

Per quanto riguarda invece gli autobus, diversi modelli sono attualmente proposti dalle case nazionali ed estere. Nel nostro paese, ad esempio, il progetto «Altrobus»<sup>37</sup>, sviluppato da IVECO in collaborazione con l'Azienda Municipalizzata Trasporti di Genova propone due modelli di mezzo pubblico urbano a trazione ibrida: un veicolo da 6 metri (20 posti) ed un veicolo da 12 metri che consente di trasportare 85 passeggeri (carico utile 6120 kg) ad una velocità massima di 60 km/h con autonomia di 200 km. Il motore diesel che aziona il generatore è in grado di erogare una potenza costante selezionabile fino a 35 kW, mentre la potenza aggiuntiva necessaria durante l'esercizio (il motore elettrico dispone di una potenza nominale di 120 kW) è assicurata da accumulatori al piombo. A titolo di confronto, si consideri che i motori diesel montati sugli autobus urbani attualmente commercializzati dispongono di una potenza di almeno 160 kW.

Anche nel campo dei veicoli ibridi, comunque, l'introduzione di tecnologie sviluppate *ad hoc* in luogo degli adattamenti delle tecnologie tradizionali, consente di ottenere significativi incrementi delle prestazioni operative ed energetiche.

<sup>34</sup> La citata ricerca della Regione Lombardia (**Diffusion Project regarding Urban Use of Electric Vehicles and Design of appropriate Battery-Recharge Infrastructure**, May 1994 ) ha quantificato la domanda di potenza sulla rete in corrispondenza della massima penetrazione di veicoli elettrici ipotizzata per la città di Milano un carico aggiuntivo di circa 370 MW max intorno alle ore 19:00, che configurerebbero un picco superiore del 40% circa all'attuale picco mattutino del diagramma di carico medio.

<sup>35</sup> Da questo punto di vista alcuni autori segnalano però il problema del rilascio in atmosfera di piombo con fattori unitari di circa 60 volte quelli determinati per autovetture alimentate a benzina con piombo, problema legato ovviamente alle batterie attualmente in uso, che potrebbe però permanere anche per quanto concerne le batterie nichel-cadmio, in considerazione della tossicità di tali elementi (cfr. ad esempio *Autoveicoli elettrici: il problema delle batterie*, in Caos n° 5, ottobre 1995).

<sup>36</sup> Fonte: Genesys, Genova New Electric System, materiale informativo.

<sup>37</sup> Fonte: CIVES - Regione Lombardia, **Annuario del Veicolo Elettrico Stradale**; Ansaldo ricerche, Genova Ricerche, IVECO: progetto Altrobus, materiale informativo.



Ad esempio, diversi modelli di bus ibrido recentemente proposti in Germania (MAN, Mercedes-Benz, Neoplan) montano il motore elettrico direttamente nelle ruote, semplificando ed alleggerendo gli organi della catena cinematica; inoltre il modello Neoplan "N4114" sostituisce completamente gli accumulatori con un innovativo sistema di recupero dell'energia (MSD - *Magnetic Dynamic Storage*), un volano magnetodinamico che lavora sottovuoto e su supporto giroscopico, con una capacità di immagazzinare e cedere energia recuperata in frenata che è di circa 5 volte superiore a quella consentita dalle normali batterie al piombo, con evidenti vantaggi dal punto di vista del peso e dell'ingombro, oltre che della facilità di gestione operativa del mezzo<sup>38</sup>.

---

<sup>38</sup> Fonte: Tuttotrasporti passeggeri, luglio-agosto 1995.