



POLITECNICO DI MILANO

Dipartimento di Energia

Relazione del progetto commissionato da Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas

**Analisi tecnico-economica delle modalità di gestione
dell'energia nei contesti urbani ed industriali**

Responsabile

Prof. Ernesto Pedrocchi

Gennaio 2009

Indice

Sintesi dello studio	1
1 Considerazioni generali	4
1.1 La situazione attuale	4
1.2 Gli obiettivi della ricerca	6
2 La caratterizzazione dell'utenza	13
3 La caratterizzazione dei sistemi produttivi	16
4 La metodologia di analisi	21
4.1 I parametri di merito della intera catena produzione-utilizzo	21
4.2 Il programma di calcolo	26
5 I risultati ottenuti dal modello di calcolo e la loro analisi	31
5.1 I parametri utilizzati nel modello di calcolo	31
5.2 Le deduzioni principali	35
5.3 Alcune considerazioni integrative su altre soluzioni possibili	39
5.4 Alcune considerazioni sul valore economico dell'energia elettrica	43
6 Il contesto industriale	48
Allegato al capitolo 2	50
Allegato al capitolo 3	57
Allegato al capitolo 4	69
Allegato al capitolo 5	76

Sintesi dello studio

Questo studio, tenuto conto della effettiva percorribilità delle varie tecnologie per il soddisfacimento dei fabbisogni energetici nei contesti urbani (illustrate nel rapporto di seguito), sostanzialmente analizza in termini comparativi tre diverse alternative:

1. soddisfacimento del fabbisogno elettrico tramite collegamento alla rete elettrica (generazione centralizzata) e soddisfacimento del fabbisogno termico con caldaie locali (generazione distribuita);
2. soddisfacimento sia del fabbisogno di energia elettrica che termica tramite un sistema cogenerativo, necessariamente integrato con il collegamento alla rete elettrica e con caldaie ausiliarie;
3. soddisfacimento tramite collegamento alla rete elettrica (generazione centralizzata) sia per il soddisfacimento del fabbisogno elettrico che per quello termico mediante l'uso di pompe di calore elettriche.

Per ognuna di queste alternative si analizzano le prestazioni (energetiche, ambientali ed economiche) per tipologie di utenza diversa, da quella monofamigliare fino a un complesso di quartiere.

Si sono valutati parametri di merito energetici, ambientali ed economici per diverse combinazioni di tecnologie ed utenze al variare delle zone climatiche tipiche italiane. Mentre i parametri energetici ed economici sono abbastanza facilmente determinabili, quelli ambientali sono di difficile valutazione. Infatti il parametro ambientale a scala locale, quella più importante per questo studio, dovrebbe essere l'incidenza delle emissioni dell'impianto sulla qualità dell'aria nel contesto urbano, ma il legame tra il primo ed il secondo è molto incerto. Per quanto riguarda invece le emissioni di CO_2 , che hanno effetto a scala globale, il confronto è facilmente operabile. Per le applicazioni industriali nelle quali la tipologia dei fabbisogni è molto varia non è possibile fare un'analisi sistematica, ci si è limitati a qualche considerazione generale.

Dall'analisi dei risultati ottenuti per i contesti urbani si possono trarre alcune conclusioni generali.

- La prima alternativa, soddisfacimento del fabbisogno elettrico tramite collegamento alla rete elettrica (generazione centralizzata) e soddisfacimento del

fabbisogno termico con caldaie (generazione distribuita) è quella tradizionale e si configura come la soluzione più economica, ma è poco valida sia sotto l'aspetto energetico e che per quello ambientale a causa delle emissioni delle caldaie in ambito urbano.

- La seconda alternativa, soddisfacimento sia del fabbisogno di energia elettrica che termica tramite un sistema cogenerativo, necessariamente integrato con il collegamento alla rete elettrica e con caldaie ausiliarie, è una soluzione costosa per impianti piccoli ($< 50 kW_{ee}$), interessante sotto l'aspetto energetico, ma ha il grosso svantaggio di produrre le emissioni in ambito urbano sia per l'energia termica prodotta che per quella elettrica. Risulta valida sotto l'aspetto economico solo nel caso di grossi complessi abitativi o di uffici in particolare se possono, almeno in parte, fruire istantaneamente dell'energia elettrica prodotta.
- La terza alternativa, soddisfacimento tramite collegamento alla rete elettrica (generazione centralizzata) sia per il soddisfacimento del fabbisogno elettrico che per quello termico mediante l'uso di pompe di calore elettriche, è ottima sia sotto l'aspetto energetico che ambientale, essendo le emissioni fuori dall'ambito urbano. Risulta però molto costosa a causa dell'elevato costo dell'energia elettrica in Italia. Inoltre essa richiede per dare buone prestazioni, che si realizzino alcune condizioni particolari:
 - La disponibilità di un pozzo freddo a temperatura non troppo bassa meglio se ad acqua (questo coincide con la locazione in un clima non troppo freddo, peraltro tipica di varie zone in Italia)
 - Una rete di riscaldamento nell'edificio che possa operare a bassa temperatura.

Questa soluzione è sicuramente vincente se è possibile utilizzare la macchina anche in modo inverso per produrre condizionamento estivo (se necessario). Infine tali sistemi sono ulteriormente valorizzati dai continui miglioramenti del parco elettrico nazionale, sia dal punto di vista energetico che ambientale.

1 Considerazioni generali

1.1 La situazione attuale

Il contesto urbano

Nel contesto urbano il soddisfacimento dei fabbisogni energetici, nell'ambito residenziale (abitazioni, uffici, negozi per commercio medio piccolo ed analoghi) è cresciuto nel tempo in Italia, in modo non dissimile da tutti i paesi industrializzati, secondo queste linee.

Il fabbisogno di energia elettrica veniva soddisfatto con allacciamento alla rete elettrica nazionale che era ed è alimentata in grandissima prevalenza da sistemi di produzione centralizzata. Sostanzialmente la modalità di gran lunga prevalente di fornitura dell'energia elettrica è con collegamento a una rete alimentata da generazione centralizzata.

Il fabbisogno di energia termica di tipo riscaldamento era ed è in maggior parte soddisfatto con generazione distribuita alimentata in generale con combustibili di origine fossile, gasolio e gas naturale (rari casi con biomasse legnose, comuni solo in alcuni piccoli paesi o isolati edifici di montagna); il fabbisogno di energia termica di tipo acqua sanitaria e servizi di cucina è anch'esso soddisfatto con generazione distribuita alimentata in generale da gas naturale (nelle città fino ad alcune decine di anni or sono con il cosiddetto "gas di città" prodotto con il carbone a cui si è poi progressivamente sostituito il gas naturale) o, in parte minoritaria, da energia elettrica. In questa modalità prevalente non rientrano i pochi contesti urbani che hanno avuto l'opportunità di sviluppare una rete di teleriscaldamento che può sopperire sia al fabbisogno di riscaldamento che al fabbisogno di acqua sanitaria, ma non può soddisfare gli usi (peraltro energeticamente poco rilevanti) di cucina a cui bisogna provvedere con altra modalità di solito o gas naturale o energia elettrica. Nel fabbisogno globale italiano di energia termica, per il riscaldamento, il teleriscaldamento contribuisce per meno del 20%.

Per quanto riguarda il fabbisogno di energia frigorifera per la conservazione degli alimenti e per il condizionamento estivo, fabbisogno ormai abbastanza importante, come si evince dal fatto che il picco di richiesta di energia elettrica estivo è non dissimile da quello invernale, la modalità di gran lunga prevalente per tale esigenza

è la produzione diffusa del freddo tramite macchine frigorifere ad alimentazione elettrica.

La specificità della situazione italiana per l'utilizzo in ambito residenziale

Il territorio italiano ha un notevole sviluppo lungo i paralleli, si passa da una latitudine di 36° a una di 47° con anche variazioni significative rispetto al livello del mare. Questo fa in modo che il clima è molto diverso da luogo a luogo, in particolare ci sono località con un clima piuttosto rigido che, in generale, necessitano di riscaldamento per più di mezzo anno (per alcune città si arriva a 3000°Cgiorno/anno) e località con un clima temperato che non necessitano di riscaldamento in nessun periodo dell'anno. Una considerazione analoga, spesso duale, vale anche per il condizionamento estivo. Questo giustifica come accanto allo sviluppo di una impostazione generale della ricerca, senza poter trarre delle conclusioni valide per ogni ambito, sarà poi necessario precisare le linee di condotta in relazione alla specificità del sito. Questa gioca un ruolo determinante anche in relazione alle diverse tecnologie che possono trovare vantaggi specifici in particolari ambiti (l'esempio classico è l'utilizzo delle pompe di calore per il riscaldamento ambientale che può risultare fortemente attraente e avvantaggiato in un clima temperato con disponibilità di un pozzo freddo ad acqua e con l'eventualità di un uso della stessa macchina per la climatizzazione estiva).

Il contesto industriale

Il contesto industriale, a differenza del contesto urbano, è così differenziato nelle sue esigenze energetiche che non è possibile farne una schematizzazione unificata. La tipologia delle realizzazioni in questo ambito è molto varia in relazione alle esigenze diversificate delle diverse industrie. Non è possibile individuare delle tipologie standard di fabbisogni energetici, né di impianti di produzione dell'energia.

La cogenerazione, dove economicamente di sicura convenienza, è già stata in generale applicata e comunque le industrie, almeno le più grandi, si possono permettere di fare un'analisi critica esauriente dei pro e dei contro della soluzione in relazione alle loro esigenze. Nel caso del contesto industriale i vincoli di tipo non tecnico e non economico sono in generale meno stringenti.

Nel contesto industriale si può far rientrare anche il caso dei grossi centri commer-

ciali, che presentano invece una tipologia abbastanza uniforme, ma non facilmente classificabile nel contesto urbano. Una considerazione analoga può valere per i grossi palazzi di uffici. Per tutti questi casi il progettista ha strumenti e competenze che gli permettono di valutare le varie opzioni senza la necessità di strumenti regolatori di indirizzo che invece sono importanti per gli interventi di minor rilevanza.

1.2 Gli obiettivi della ricerca

L'evoluzione verso nuovi assetti produttivi

Recentemente, nella fase convulsa di iniziative che coinvolge il settore energetico, si assiste a un proliferare di spinte, anche supportate a livello legislativo, per promuovere l'utilizzo di nuove soluzioni senza che ne sia stata fatta un'attenta valutazione tecnica per gli aspetti energetico-ambientali ed economica, tenendo conto di tutti i fattori che interferiscono colla nuova soluzione. E' presente dietro questa linea di intervento il pensiero che ogni innovazione sia sempre più valida di quanto va a sostituire indipendentemente da un'attenta analisi critica. Spesso si inquina l'analisi con l'appello, in ultima istanza, al fatto che l'innovazione crea maggiori opportunità di lavoro rispetto ad ogni altra soluzione. E' ovvio che l'evoluzione tecnica può di per sé forzare i tempi della sostituzione di apparecchiature che, a priori, potrebbero ancora ben funzionare per diversi anni. In ogni caso bisogna però fare un'attenta analisi dei costi che sappia conteggiare ogni voce.

Nel campo energetico si sta assistendo al sorgere di una serie di iniziative, anche di tipo legislativo. Da un lato si incentiva lo sviluppo della cogenerazione (anche di piccola taglia) e della conseguente generazione elettrica distribuita dando per scontato che questa sia sempre e comunque la soluzione tecnicamente (energeticamente e ambientalmente) più efficiente e più conveniente. D'altro lato si incentiva il tele riscaldamento, anch'esso giustificato come sempre più efficiente e più conveniente. Entrambe queste proposte si caratterizzano per la diversità rispetto alle soluzioni tradizionali più consolidate, ma in parte sono tra loro antitetiche perché la prima punta a una generazione sempre più distribuita, mentre la seconda punta a centralizzare anche la produzione di energia termica. In entrambi i casi si enfatizzano gli aspetti positivi, senza evidenziare quelli negativi che pure sono tanti e alcuni importanti.

L'introduzione di varie forme di incentivazione e di agevolazione fiscale esercita un ruolo determinante nell'indirizzare le scelte impiantistiche e può incidere gravemente nella strategia energetica del paese. Conseguentemente la politica delle incentivazioni va attentamente valutata in un contesto generale, tenendo conto di tutti i fattori coinvolti, per evitare di indirizzare le scelte su soluzioni che potrebbero risultare non vantaggiose né dal punto di vista tecnico (energetico e ambientale) né dal punto di vista economico. Ovviamente ogni forma di incentivazione va contro il libero mercato e rischia di non migliorare la situazione energetica del paese. A tal riguardo è molto importante evitare le pressioni che possono venire dalle lobby di produttori di particolari tecnologie o impianti, sempre pronti a forzare la mano ai decisori politici in favore dei loro prodotti solo su basi di informazioni parziali e non verificate a livello di contesto generale. L'ambito urbano è quello in cui è più importante l'intervento regolatorio a livello sia di singole unità abitative sia di condomini perché in tal caso l'interlocutore non sempre è in grado di effettuare un'attenta analisi critica delle diverse alternative.

Tenendo conto che in prospettiva di uno scenario futuro si deve fare riferimento ad edifici nuovi o significative ristrutturazioni, per quanto riguarda le utenze e i sistemi produttivi si sono considerate le soluzioni commerciali più avanzate.

Il contesto urbano e la gradualità degli interventi

L'Italia costituisce un paese a struttura abitativa consolidata con un tasso di nuove costruzioni e di ristrutturazioni non rilevante (circa 2-2,5% all'anno). E' chiaro che si tratta di studiare come si debba orientare l'evoluzione di questo ricambio in una prospettiva di graduale sostituzione delle modalità di soddisfacimento dei fabbisogni energetici. Non si tratta di studiare una specie di città ideale dal punto di vista energetico ambientale, ma di orientare le scelte per le modifiche graduali che un contesto urbano naturalmente richiede.

Gli interventi possono riguardare edifici o quartieri nuovi oppure opere di ristrutturazione di edifici o quartieri esistenti. Nel primo caso ci sono buone libertà di azione condizionate in modo prevalente da vincoli tecnico-economici abbastanza facilmente identificabili e quantificabili; nel secondo caso i vincoli devono tenere in conto anche di altri fattori difficilmente quantificabili in termini tecnico-economici. Si pensi ad esempio all'installazione di un sistema di teleriscaldamento: nel caso di

un quartiere nuovo questo intervento non richiede particolari attenzioni, nel caso si voglia introdurlo in un contesto urbano esistente oltre a fattori tecnici ed economici, già di per sé gravosi, bisogna attentamente considerare altri fattori quali ad esempio il disagio che un tale intervento comporta al traffico, il rischio di interferenza e di danni agli impianti già esistenti nel sottosuolo, il rischio sulla stabilità delle strutture. Questi fattori sono difficilmente quantificabili in termini economici e richiedono un'analisi attenta e problematica per valutare se il miglioramento conseguibile giustifica l'intervento.

Spesso si enfatizzano gli aspetti positivi di una tecnologia senza fare un'analisi completa della sua effettiva realizzabilità ingegneristica. In pratica non basta che un nuovo impianto risulti "sulla carta" valido, è anche necessario che tutta la sua realizzazione nel contesto considerato sia perseguibile senza costi insostenibili. In particolare quando si ha a che fare con nuove macchine con poca esperienza di funzionamento è opportuno essere molto cauti a prevederne un utilizzo massiccio. L'esempio classico è l'impianto a pompa di calore, termodinamicamente validissimo, ma che spesso deve fare i conti con vari ostacoli, tecnici ma anche burocratici, che ne rendono la realizzazione praticamente impossibile. Proprio l'analisi della ingegnerizzazione del sistema deve essere condotta con grande attenzione.

Individuazione della migliore configurazione impiantistica per le varie combinazioni produzione/utenza

Gli obiettivi che ci si deve proporre nell'orientare, con eventuali norme regolatorie, lo sviluppo dei contesti urbani e industriali dovrebbero essere:

1. il risparmio di energia primaria;
2. il contenimento dei costi totali dell'energia prodotta, comprensivi sia dei costi di installazione che di gestione totale del servizio;
3. la riduzione delle emissioni inquinanti specialmente in ambito urbano;
4. il contenimento, per quanto possibile, delle emissioni di gas potenzialmente climalteranti.

Il risparmio di energia primaria si può estrinsecare anche in una quota di contenimento dei costi, delle emissioni inquinanti e delle emissioni di gas potenzialmente climalteranti.

In quest'ottica un principio base di natura gestionale è fare in modo che i costi ricadano sul consumatore del servizio e non su una comunità. L'esempio classico è il caso del riscaldamento urbano con contabilizzazione al singolo utente o con ripartizione tra vari utenti, ad esempio di un condominio, in base a fattori generici, come possono essere le cubature riscaldate. Con la prima soluzione si responsabilizza il singolo consumatore, si tratta di un fattore gestionale e non tecnico, ma di grande rilevanza.

Le tipologie di utenza che si possono considerare sono:

1. L'utenza a conteggio separato dei consumi;
2. L'utenza condominiale indivisa;
3. L'utenza con tipologia specifica (ad esempio il centro commerciale).

Tutte le considerazioni che seguono verranno sviluppate sulla base dei costi effettivi, comprensivi delle accise, ma senza tener conto di eventuali incentivi.

L'utenza a conteggio separato dei consumi

Si suppone che la fornitura di energia elettrica è sempre conteggiata al singolo consumatore. Per quanto riguarda l'energia termica si considera prima il caso di un'utenza a conteggio separato dei consumi, ovvero un'utenza in cui il costo del consumo è a carico diretto di colui che la gestisce. E' il caso di villette singole o di edifici con più appartamenti ma con sistemi di riscaldamento autonomi, trattasi di una tipologia abbastanza rara nel parco edilizio urbano. A questa categoria di utenza si può anche associare il caso di edifici (condomini) con molte unità monofamigliari (appartamenti) e con sistemi di riscaldamento centralizzati, ma con modalità di rilevamento dei consumi sui singoli appartamenti. Questa è una tecnologia abbastanza diffusa nell'Europa centrosettentrionale, ma poco diffusa in Italia.

L'utenza a conteggio separato dei consumi è di solito caratterizzata:

1. da una richiesta di energia elettrica dell'ordine di poche migliaia di kWh annui con un diagramma di carico abbastanza irregolare, ma per gli usi abitativi

prevalentemente concentrato nelle ore serali e mattutine, mentre per gli usi più comuni commerciali e di servizi concentrata nelle ore centrali della giornata,

2. da una richiesta di energia termica per il riscaldamento ambientale molto variabile da regione a regione, nelle regioni del nord essa può risultare anche dell'ordine di 10.000 kWh annui per ogni utenza con un diagramma di carico abbastanza regolare, mentre nelle regioni del sud in zone non montagnose può scendere fino quasi ad annullarsi. Al fabbisogno termico per il riscaldamento ambientale si aggiungono i fabbisogni per cucinare e per l'acqua sanitaria di modesta rilevanza: qualche centinaia di kWh annui. A seconda della zona climatica alcune di queste utenze possono anche avere un sistema di condizionamento estivo autonomo per ogni unità abitativa.

Di norma questo tipo di utenza è soddisfatta tramite il collegamento alla rete elettrica nazionale per il fabbisogno elettrico e dalla produzione tramite una caldaia dell'energia termica, salvo il caso del condominio con contabilizzazione per ogni appartamento in cui l'energia termica è soddisfatta con una caldaia centrale di condominio. Se esiste un sistema di condizionamento questo è di norma di tipo ad alimentazione elettrica e il suo contributo rientra nel fabbisogno elettrico dell'utenza. La gestione autonoma, sia del fabbisogno di energia elettrica che del fabbisogno di riscaldamento ambientale, ne permette un utilizzo molto controllato e nel complesso questa è una soluzione molto valida non solo per l'aspetto economico, ma anche per l'aspetto energetico e per quello ambientale.

L'utenza condominiale senza possibilità di conteggio separato dei consumi

L'utenza condominiale tipica dei contesti urbani si configura in modo differente rispetto all'utenza a conteggio separato dei consumi di cui si è detto precedentemente. Più comunemente l'utenza condominiale, che può consistere sia in appartamenti ad uso residenziale, sia in locali commerciali o per uffici, è caratterizzata dal soddisfacimento della richiesta elettrica delle singole unità e delle parti comuni mediante collegamento a conteggio separato alla rete elettrica nazionale, mentre per il fabbisogno termico di riscaldamento si provvede, di norma, tramite una caldaia centralizzata di condominio. In questo caso la distribuzione dell'energia termica è realizzata mediante una rete centrale di condominio a "colonne montanti" che non può essere

parzializzata ad ogni unità abitativa. E' questa una tipologia ancora molto comune nel contesto edilizio urbano in Italia. Si stanno sempre più diffondendo dei sistemi (valvole termostatiche con dispositivi di valutazione dell'energia emessa da ogni corpo scaldante) che permettono di stimare il consumo e di addebitarlo ad ogni unità abitativa, innescando un processo virtuoso di attento controllo dei propri consumi da parte del gestore della singola unità. Questa potrebbe essere una procedura da incentivare.

L'utenza con tipologia specifica

In questa tipologia rientrano sia utenze industriali che utenze commerciali particolari quali i grossi centri commerciali.

Per le utenze industriali le tipologie di fabbisogni sono così variamente articolate che è necessaria un'analisi caso per caso. Per queste utenze è però probabile che soluzioni con impianti cogenerativi possano risultare particolarmente interessanti nel caso ci siano significative richieste di energia elettrica e termica concomitanti su un lungo periodo di tempo.

Per i grossi centri commerciali è invece possibile schematizzare un profilo di fabbisogni energetici elettrici e termici e individuare delle linee guida di validità comune. Queste utenze in generale sono site in ambiti prossimi alle città, ma fuori di esse e non rientrano in questo studio, per esse si farà solo un cenno. Per queste utenze non esiste una differenza sostanziale in relazione alla zona climatica e alla stagione, essendo i carichi termici e frigoriferi condizionati in modo non prevalente dal clima del sito.

L'utenza nell'ambito di un sistema di teleriscaldamento esistente

Nel caso di un contesto urbano in cui già esista un sistema di teleriscaldamento il fabbisogno di energia termica può essere soddisfatto in alternativa all'utilizzo di caldaie dal collegamento, tramite un idoneo scambiatore di calore, al sistema di teleriscaldamento stesso. In generale dove esiste il teleriscaldamento esiste anche la rete gas naturale e la distribuzione del gasolio, questo ha innescato un processo di concorrenza che ha portato, abbastanza naturalmente, a un costo per l'utente che si allaccia al teleriscaldamento comparabile o poco minore rispetto a quello delle altre alternative. Questo propende a far ritenere che dal punto di vista dell'utente, sia

essa un'unità monofamigliare che condominiale, il collegamento al teleriscaldamento si configura come equivalente alla generazione propria (di tipo distribuita). L'unico rischio è che l'allacciamento al teleriscaldamento sia difficilmente reversibile e metta l'utente in condizioni di dipendenza vincolata rispetto a chi fornisce il servizio.

Ovviamente esula da queste considerazioni l'analisi della opportunità di installare un sistema di teleriscaldamento e quali siano le tecnologie più idonee per alimentarlo.

2 La caratterizzazione dell'utenza

E' stata svolta un'analisi di dettaglio delle possibili utenze urbane, valutando i diversi consumi energetici, con particolare riferimento ai consumi di energia termica, che è stata riportata nell'allegato 2. A seguito dell'analisi svolta è stato necessario semplificare il panorama di utenze individuate, per permettere una suddivisione in poche ma significative categorie, che costituiscano il database di utenze per il metodo di calcolo sviluppato. Per caratterizzare il riscaldamento degli edifici sono quindi state definite due tipologie di diagrammi di carico giornalieri tipici rispettivamente di un'utenza residenziale e di servizi. L'anno tipo è dunque costruito considerando alcuni insiemi di diverse giornate tipo, in funzione della tipologia di utenza e della zona climatica.

Il consumo di acqua sanitaria è stato calcolato invece in funzione del numero di persone che abitano o frequentano l'edificio (50 litri al giorno nel caso residenziale, 5 litri al giorno per le utenze di servizi).

L'analisi ha permesso di semplificare il numero di utenze urbane da considerare, sono state individuate 4 utenze rappresentative: residenza monofamiliare, condominio, grande complesso e quartiere e 3 zone climatiche etichettate come nord, centro e sud: la prima relativa a un clima abbastanza rigido (corrispondente a circa $2400^{\circ}\text{Cgiorno/anno}$, rappresentativo di molte città del nord Italia), la seconda relativa a un clima temperato (corrispondente a circa $1400^{\circ}\text{Cgiorno/anno}$, rappresentativo di molte città del centro Italia) e infine la terza relativa a un clima mite (corrispondente a circa $600^{\circ}\text{Cgiorno/anno}$, rappresentativo di molte città costiere del sud Italia).

L'indagine ha inoltre indicato che le utenze commerciali e di servizi non si discostano in modo sostanziale da utenze residenziali, pertanto, al fine di non appesantire eccessivamente l'analisi, le due sole utenze intermedie, corrispondenti ai casi condominio e grande complesso sono state analizzate anche per l'ipotesi che siano interamente destinate ad uso di uffici. Sono state chiamate rispettivamente "palazzo di uffici" e "grande complesso di uffici".

La residenza monofamiliare ha una superficie di circa 120 m^2 , è abitata da 4 persone e richiede un sistema per la produzione di energia termica con una potenza massima di 25 kW . La richiesta annua di energia termica per l'acqua sanitaria,

considerato un consumo pro-capite di 50 litri al giorno, è di circa 3500 *kWh*. La richiesta annua di energia termica per il riscaldamento dipende invece dalla zona climatica: nel nord Italia circa 6000 *kWh* ovvero 50 *kWh/(m²anno)*, al centro 3500 *kWh* ovvero 25 *kWh/(m²anno)*, al sud 2000 *kWh* ovvero 10 *kWh/(m²anno)* (valori tratti dal D.l. 192/2005 per nuove costruzioni con rapporti S/V compresi fra 0.2 e 0.25 *m⁻¹*, pertanto indicativi di costruzioni a basso consumo energetico).

Il condominio residenziale ha una superficie di circa 3'500 *m²*, è abitato da 120 persone e necessita di un sistema per la produzione di energia termica con una potenza massima di 200 *kW*. La richiesta annua di energia termica per l'acqua sanitaria, considerato un consumo pro-capite di 50 litri al giorno, è di circa 100 *MWh*. La richiesta annua di energia termica per il riscaldamento dipende invece dalla zona climatica, analogamente a quanto visto per l'utenza monofamiliare: nel nord Italia circa 180 *MWh*, al centro 100 *MWh*, al sud 60 *MWh*.

Il grande complesso residenziale ha una superficie di circa 12'000 *m²*, è abitato da 400 persone e necessita di un sistema per la produzione di energia termica con una potenza massima di 600 *kW*. La richiesta annua di energia termica per l'acqua sanitaria è di circa 350 *MWh*. La richiesta annua di energia termica per il riscaldamento risulta essere: nel nord circa 600 *MWh*, al centro 320 *MWh*, al sud 190 *MWh*.

Il quartiere residenziale ha una superficie di circa 65'000 *m²*, è abitato da 2'200 persone e necessita di un sistema per la produzione di energia termica con una potenza massima di 3 *MW*. La richiesta annua di energia termica per l'acqua sanitaria è di circa 1'900 *MWh*. La richiesta annua di energia termica per il riscaldamento risulta essere: nel nord circa 3'300 *MWh*, al centro 1'700 *MWh*, al sud 1'000 *MWh*.

Il palazzo di uffici ha una superficie di circa 3'500 *m²*, è frequentato da 240 persone e necessita di un sistema per la produzione di energia termica con una potenza massima di 200 *kW*. La richiesta annua di energia termica per l'acqua sanitaria, considerato un consumo pro-capite di 5 litri al giorno, è di circa 20 *MWh*. La richiesta annua di energia termica per il riscaldamento dipende invece dalla zona climatica, analogamente a quanto visto per l'utenza monofamiliare: nel nord Italia circa 200 *MWh*, al centro 120 *MWh*, al sud 80 *MWh*.

Il grande complesso di uffici ha una superficie di circa 12'000 *m²*, è frequentato da 800 persone e necessita di un sistema per la produzione di energia termica con

una potenza massima di 600 kW. La richiesta annua di energia termica per l'acqua sanitaria è di circa 70 MWh. La richiesta annua di energia termica per il riscaldamento risulta essere: nel nord circa 620 MWh, al centro 340 MWh, al sud 220 MWh.

Nel caso di un edificio ad uso abitativo residenziale di nuova costruzione o ristrutturato, quindi ben isolato, il fabbisogno di acqua sanitaria, anche in un clima piuttosto rigido, incide significativamente sul fabbisogno totale di energia termica, dell'ordine del 36%, questo valore aumenta significativamente nel caso di un clima mite, arrivando all'ordine del 65%. Questo comporta una riduzione della differenza tra le zone climatiche per il fabbisogno di energia termica.

Una sintesi è riportata nella seguente tabella, per la distribuzione oraria dei fabbisogni si faccia riferimento all'allegato 2.

	P max	Clima	ACS	Riscald.	Totale	Ore piene
	<i>kW_{th}</i>	-	<i>MWh/anno</i>	<i>MWh/anno</i>	<i>MWh/anno</i>	<i>h/anno</i>
Utenza mono-familiare	25	nord	3,5	6	9,5	380
		centro		3,5	7	280
		sud		2	5,5	220
Condominio residenziale	200	nord	100	180	280	1400
		centro		100	200	1000
		sud		60	160	800
Grande complesso residenziale	600	nord	350	600	950	1583
		centro		320	670	1117
		sud		190	540	900
Quartiere	3000	nord	1900	3300	5200	1733
		centro		1700	3600	1200
		sud		1000	2900	967
Palazzo di uffici	200	nord	20	200	220	1080
		centro		120	140	710
		sud		85	105	520
Grande complesso di uffici	600	nord	60	620	680	1135
		centro		390	450	750
		sud		270	330	550

Tabella 1. Sintesi delle caratteristiche delle utenze (con "ore piene" si intende il tempo necessario per produrre il fabbisogno di energia alla potenza nominale).

3 La caratterizzazione dei sistemi produttivi

Per analizzare le diverse modalità di fornitura dei servizi di energia elettrica ed energia termica è necessario disporre dei parametri di prestazioni energetiche, ambientali e di costo dei sistemi produttivi da considerare. E' stata svolta un'analisi delle tecnologie disponibili per la produzione di energia elettrica e termica sia centralizzata che distribuita.

Per la produzione di energia elettrica si sono considerate due alternative di produzione centralizzata e due alternative di produzione distribuita. Per la produzione centralizzata di energia elettrica si è fatto riferimento sia al caso di prelievo dalla rete nazionale con riferimento ai parametri che la caratterizzano, alternativa BAU (Business As Usual), sia al caso di ipotizzare una produzione marginale con riferimento alla miglior tecnologia oggi esistente, alternativa BAT (Best Available Technology). Per la produzione distribuita si è fatto riferimento a priori sia alla produzione con i sistemi cogenerativi, che alla produzione con i sistemi fotovoltaici. Per i sistemi cogenerativi si sono considerati sia impianti di microgenerazione, $<50 kW$, fino a impianti di grandi dimensioni, $10 MW$, vedi allegato del capitolo 3. L'alternativa della produzione di energia elettrica con i pannelli fotovoltaici, non è stata poi considerata perché in assenza di incentivi è del tutto improponibile sotto l'aspetto economico (vedi capitolo 5). Per la produzione centralizzata di energia termica si è fatto riferimento ai sistemi di teleriscaldamento, che se alimentati da un impianto cogenerativo, sono anche produttori di energia elettrica che viene però, date le dimensioni, riversata sulla rete e pertanto non si differenzia dalla soluzione BAU (vedi allegato del cap. 3). Per la produzione distribuita di energia termica si è fatto riferimento a caldaie di varie dimensioni, partendo da quelle di $20 kW$ fino a quelle di $1000 kW$. Per la produzione distribuita si è anche fatto riferimento alla soluzione a pompa di calore elettrica alimentata sia nell'alternativa BAU che in quella BAT. La soluzione di alimentazione tramite un sistema di teleriscaldamento per utenze piccole e medie in realtà non costituisce un'alternativa perché è raro che ci sia disponibile un tale tipo di alimentazione, pertanto per essa si sono fatte alcune considerazioni generali, ma non si è introdotta come alternativa percorribile. Si è invece considerata l'alternativa di un grosso quartiere autonomo con alimentazione anche con rete di teleriscaldamento. Anche la soluzione di copertura dell'energia

termica con i pannelli solari non è stata considerata come soluzione routinaria perché, come spiegato al cap. 5, essa risulta poco percorribile in ambito urbano salvo in alcuni casi particolari. Tale indagine ha permesso di caratterizzare le tecnologie che possono essere utilizzate per la produzione di energia termica ed elettrica in ambito urbano e di produrre una suddivisione sintetica, ma significativa in diverse categorie. Questa è stata utilizzata per il metodo di calcolo, che è di seguito riportato.

In sintesi i sistemi produttivi, che sono stati presi in considerazione, possono essere suddivisi in tre categorie: caldaie, cogeneratori e pompe di calore. Le diverse tecnologie sono state caratterizzate in termini energetici, considerando i parametri più opportuni (rendimento termico, rendimento elettrico, coefficiente di prestazione -COP-) al variare della taglia del sistema e considerando l'effetto dell'esercizio ai carichi parziali, descritto nel dettaglio nell'allegato del cap. 3. Per le caldaie ed i cogeneratori sono indicate inoltre le emissioni di CO e NO_x per unità di energia termica prodotta, mentre l'utilizzo delle pompe di calore non comporta emissioni in modo diretto ma indirettamente tramite la produzione di energia elettrica centralizzata. La produzione di CO_2 è valutata nel metodo di calcolo, attraverso l'effettivo consumo di combustibile e quindi dipendente dalle condizioni di esercizio. La valutazione del costo dell'energia prodotta è effettuato, per non complicare eccessivamente il metodo di calcolo, considerando i costi di investimento e di manutenzione, la vita utile dei sistemi e il consumo ed il costo del combustibile, sono trascurati gli effetti dovuti all'inflazione, alla remunerazione del capitale, alla variazione dei prezzi di energia elettrica.

Le caldaie considerate sono tutte alimentate a gas naturale e sono di tre tipologie: tradizionale, a condensazione, a condensazione a bassa temperatura. Inoltre per definirne in modo appropriato le caratteristiche sono state suddivise ulteriormente in due categorie, relative alla potenza termica erogata: piccola dimensione, con potenza termica compresa fra 20 kW e 100 kW , e grande dimensione, con potenza termica maggiore di 100 kW .

Una sintesi delle caratteristiche delle 6 tipologie di caldaie risultanti è riportata nella seguente tabella. Si ricorda che i rendimenti sono definiti considerando il potere calorico inferiore del combustibile, pertanto il rendimento termico delle caldaie a condensazione può essere maggiore del 100%.

I cogeneratori valutati sono costituiti da motori a combustione interna alimentati

	Potenza termica	Rend. a 100%	Rend. a 30%	Emissioni NOx	Emissioni CO	Costo invest.	Costo O & M	Vita utile
	<i>kW</i>	-	-	<i>mg/kWh_{th}</i>	<i>mg/kWh_{th}</i>	<i>€/kW</i>	<i>c€/kWh_{th}</i>	<i>anni</i>
Piccola	20-100	0.92	0.87	200	40	60	0.3	15
Piccola a cond.	20-100	0.94	1.07	80	20	70	0.3	15
Piccola a cond. bassa T	20-100	1.03	1.07	80	20	70	0.3	15
Grande	>100	0.91	0.94	130	40	40	0.4	20
Grande a cond.	>100	0.99	0.97	80	20	50	0.4	20
Grande a cond. bassa T	>100	1.06	1.07	80	20	50	0.4	20

Tabella 3.1. Le caratteristiche delle caldaie

a gas naturale, provvisti dove possibile di un sistema per l'abbattimento delle emissioni. Nella seguente tabella sono riportate le caratteristiche principali suddividendo i cogeneratori in 4 taglie, relative alle potenze termiche erogate [Fonti: E. Macchi, S. Campanari, P.Silva "La microcogenerazione a gas naturale" e dati tecnici dei produttori di generatori].

	Potenza termica	Rend. El 100%	Rend. Th 100%	Rend. El 50%	Rend. Th 50%	Emissioni NOx	Emissioni CO	Costo invest.	Costo O & M	Vita utile
	<i>kW</i>	-	-	-	-	<i>mg/kWh_{th}</i>	<i>mg/kWh_{th}</i>	<i>€/kW</i>	<i>c€/kWh_{th}</i>	<i>anni</i>
Micro	1-5	25	63	22	65	218	44	3000	1.8	15
Mini	5-50	30	59	26	62	74	53	1200	1.5	15
Piccolo	50-1000	35	55	31	58	80	57	1000	1	20
Grande	>1000	42	48	37	52	88	70	800	0.8	20

Tabella 3.2. Le caratteristiche dei cogeneratori

Nelle seguenti elaborazioni i sistemi cogenerativi prevedono un dimensionamento della potenza termica nominale pari a circa il 30% del picco di potenza termica richiesto dall'utenza e l'installazione di una caldaia ausiliaria di potenza termica paria al 70% del picco di potenza termica richiesto. Tali valori sono il risultato di

un'analisi svolta con il metodo di calcolo elaborato per differenti utenze e per sistemi di diverse dimensioni, al fine di minimizzare il costo dell'energia termica prodotta, si veda l'allegato del capitolo 4. Quest'analisi ha trascurato l'eventuale utilizzo estivo dell'energia termica a fini trigenerativi.

Sono state infine considerate due tipologie di pompe di calore: piccole dimensioni che preleva calore dall'aria ambiente, grandi dimensioni che preleva calore dall'acqua di falda o altra fonte disponibile. Entrambe le macchine producono acqua calda a bassa temperatura, circa 45°C, quindi risultano compatibili esclusivamente con sistemi di riscaldamento a bassa temperatura, ad esempio a pannelli radianti, ma comunque idonee alla produzione di acqua calda sanitaria. Le caratteristiche delle pompe di calore sono riportate nella tabella sottostante, si noti che i valori elevati del COP per le grandi pompe di calore sono giustificati dall'ipotesi di poter disporre di un pozzo freddo ad acqua. Nella seguente analisi si considerano i casi in cui i costi di realizzazione del pozzo e del sistema di pompaggio siano contenuti, circa 100 *euro/kW*¹. Questi valori sono anche di massima congruenti con quelli indicati dal Dm 7/04/08.

	Potenza termica	Rend. a 100%	Rend. a 30%	Costo invest.	Costo O & M	Vita utile
	<i>kW</i>	-	-	<i>€/kW</i>	<i>c€/kWh_{th}</i>	<i>anni</i>
P.d.C. Piccola ad aria	<100	2.2	2.7	120	4.5	15
P.d.C. Grande ad acqua	> 100	4	4.4	160	4.5	20

Tabella 3.3 Caratteristiche delle pompe di calore

Si noti che le caldaie, ad eccezione della piccola non a condensazione, e le pompe di calore prevedono un incremento delle prestazioni se operano a potenza ridotta, a differenza dei sistemi cogenerativo. Si noti che nel metodo di calcolo descritto nel capitolo 4, tale rendimento o COP risulta appunto dipendente dalla potenza termica richiesta, limitandone la variabilità fra il 30% ed il 100%. Per approfondimenti si rimanda all'allegato del cap. 3, dove sono riportati alcune analisi riguardanti: il

¹Il costo della realizzazione del pozzo e del sistema di pompaggio può essere molto variabile, compreso fra 60-250 *euro/kW*, l'effetto di tale variazione sul costo dell'energia prodotta è piuttosto contenuto, si veda l'allegato al cap. 4.

funzionamento ai carichi parziali, il teleriscaldamento e la generazione distribuita di sola energia elettrica.

4 La metodologia di analisi

Nei capitoli precedenti è stata riportata una sintesi della caratterizzazione delle utenze e delle tecnologie, la cui combinazione definisce le diverse alternative possibili per soddisfare i fabbisogni energetici in ambito urbano. Al fine di analizzare l'efficacia di queste soluzioni è stato messo a punto un programma di calcolo, che utilizzando le caratteristiche delle utenze e dei sistemi di produzione permettesse di valutare i parametri di merito relativi a:

1. le prestazioni energetiche
2. l'impatto ambientale
3. i costi dell'energia prodotta

4.1 I parametri di merito della intera catena produzione-utilizzo

Per analizzare la validità delle prestazioni delle possibili diverse catene (produzione-utilizzo) è necessario individuare dei parametri di merito sia dal punto di vista energetico, sia da quello ambientale, sia da quello economico.

I parametri energetici

In sistemi complessi come possono essere le catene produzione-utilizzo dedicate al soddisfacimento dei fabbisogni energetici delle utenze urbane o industriali (si pensi ad esempio ai sistemi trigenerativi) è indubbio che la strada corretta per la valutazione energetica dovrebbe essere quella dell'analisi exergetica e del conseguente rendimento exergetico. Questa è la soluzione scientificamente corretta che non ammette equivoci, essa può presentare una qualche aleatorietà legata alla scelta del livello di temperatura dell'energia termica prodotta, ma un'analisi attenta permette di superare questo problema. Inoltre questo parametro permette di confrontare tra loro ogni tipo di sistema, dalle semplici caldaie, ai più complessi sistemi trigenerativi. Purtroppo questa procedura non è ancora entrata nella prassi progettuale degli impianti energetici, è poco nota e il suo uso può disorientare chi non la conosce. E' pertanto opportuno fare riferimento a parametri più consolidati.

Il rendimento, chiamato di primo principio, valido essenzialmente solo nel caso di produzione di energia termica o elettro-meccanica partendo da combustibile, è un parametro di dubbio valore e fonte di equivoci. Nel caso si vogliano confrontare tra loro solo apparecchi termici (caldaie) o solo sistemi di generazione di energia elettrica questo parametro può avere valore, ma già nel caso di un sistema cogenerativo è molto ingannevole (una moderna centrale termoelettrica con un rendimento di primo principio dell'ordine del 50% è certamente meglio di una centrale cogenerativa con rilevante produzione di energia termica a temperatura inferiore ai 100°C e con un rendimento di primo principio dell'ordine del 80%).

In questo lavoro si assumerà come parametro di merito energetico per il confronto delle diverse alternative il consumo annuo di energia primaria complessivo, che tenga conto di tutti i consumi sia diretti che indiretti. Sono spesso usati dei parametri di merito dei sistemi energetici che confrontano le prestazioni del sistema in analisi con i così detti "sistemi tradizionali" a pari produzione delle stesse quantità di energia. Sono questi parametri molto usati a livello economico, ma presentano l'inconveniente della aleatorietà del sistema tradizionale assunto come riferimento. Questi parametri sono peraltro molto usati e sono previsti anche dalla regolamentazione vigente in materia di cogenerazione (vedi delibera AEEG N° 42/02). Tra questi quello più usato è l' IRE_g (Indice di Risparmio Energetico Generalizzato) definito come:

$$IRE_g = (Er - E)/Er$$

Dove: Er è l'energia necessaria a sopperire ai fabbisogni con un sistema tradizionale di riferimento; E è l'energia necessaria nel caso in esame.

Per il sistema tradizionale di riferimento si sono considerate due alternative, in accordo a quanto descritto nel cap. 3: la prima con riferimento al livello medio raggiunto in Italia per la produzione di energia elettrica e termica (denominato BAU, Business As Usual), la seconda con riferimento ad una soluzione avanzata (denominata BAT, Best Available Technology). Si sono assunti i seguenti valori di riferimento rispettivamente:

- BAU $\eta_{ee}^* = 0.40$ (con le perdite di rete), $\eta_{th}^* = 0.80$;
- BAT $\eta_{ee}^* = 0.49$ (con le perdite di rete), $\eta_{th}^* = 0.90$.

La differenza $Er - E$ costituisce il PES (Primari Energy Saving).

Per poter arrivare a questo parametro è necessario disporre di parametri di merito intermedi che permettano la caratterizzazione dei sistemi produttivi (cap. 3):

- caldaie;
- centrali elettriche alimentate sia da combustibili fossili che da fonti rinnovabili;
- sistemi cogenerativi;
- pompe di calore.

Queste caratterizzazioni devono tener conto del reale funzionamento dell'impianto sia per quanto riguarda il carico durante l'intera annata, sia per quanto riguarda il tempo di funzionamento, quindi è necessario disporre della caratterizzazione delle utenze.

Nel caso in cui l'utenza è alimentata da diversi sistemi di produzione dell'energia elettrica e di quella termica, al fine di valutarli correttamente dal punto di vista energetico è stato introdotto un nuovo indice IRE integrato. Esso permette di valutare il risparmio energetico rispetto una soluzione di riferimento di un sistema di produzione di energia termica composto da un sistema principale, che può essere cogenerativo, ed un sistema integrativo, come accennato in precedenza.

Le grandezze energetiche, caratterizzanti il sistema energetico, sono così definite:

- Ep_{prin} : energia primaria impianto principale
- Ep_{int} : energia primaria impianto integrativo
- Ee_{prin} : energia elettrica prodotta dall'impianto principale, se cogenerativo
- Et_{prin} : energia termica prodotta dall'impianto principale
- Et_{int} : energia termica prodotta dall'impianto integrativo
- Et_{utenza} : fabbisogno di energia termica dell'utenza
- η_{ee}^* : rendimento elettrico di riferimento
- η_{th}^* : rendimento termico di riferimento
- η_{ee}^{prin} : rendimento elettrico dell'impianto principale

- η_{th}^{prin} : rendimento termico dell'impianto principale
- η_{th}^{int} : rendimento termico dell'impianto integrativo

Il sistema energetico è definito come l'insieme degli impianti principale ed integrativo e dell'utenza, dove il fabbisogno dell'utenza coincide, per ipotesi semplificativa, con la somma delle produzioni dei due impianti:

$$Et_{prin} + Et_{int} = Et_{utenza}.$$

Si definisce pertanto il nuovo indice IRE integrato come:

$$IRE_{IN} = 1 - \frac{Ep_{prin} + Ep_{int}}{\frac{Ee_{prin}}{\eta_{ee}^*} + \frac{Et_{prin} + Et_{int}}{\eta_{th}^*}}$$

dove valgono le seguenti equazioni:

$$Ep_{prin} = \frac{Et_{prin}}{\eta_{th}^{prin}} = \frac{Ee_{prin}}{\eta_{ee}^{prin}}$$

$$Ep_{int} = \frac{Et_{int}}{\eta_{th}^{int}}$$

Nel caso degli impianti di cogenerazione e trigenerazione distribuita, o per gli impianti di teleriscaldamento, si terrà conto del consumo complessivo del sistema, compresi i consumi delle caldaie integrative, e delle dissipazioni termiche della rete di distribuzione del calore.

I parametri ambientali

Il parametro più immediato a livello ambientale è l'insieme delle emissioni di inquinanti conseguenti la produzione dell'energia. Si valutano dunque emissioni di:

1. ossidi di zolfo;
2. ossidi di azoto;
3. monossido di carbonio;
4. idrocarburi incombusti;

5. particolato sottile ($d < 10\mu m$).

Questi sono poi precursori di inquinanti secondari, ma è molto difficile il collegamento tra gli uni e gli altri. Non sempre è possibile reperire per i sistemi produttivi i dati di emissione per tutti gli inquinanti prima elencati. E' anche molto difficile comparare gli effetti dei diversi inquinanti, sarà quindi necessario tenerne conto separatamente. Inoltre i dati di emissione hanno valore nel confrontare sistemi posti nel medesimo contesto territoriale, ma possono essere di significato irrilevante e fuorviante quando si confrontano sistemi posti in siti diversi. Si pensi ad esempio al confronto tra le emissioni di un sistema di piccola cogenerazione posto in un'area urbana e quello di un sistema centralizzato posto fuori e relativamente lontano dall'area stessa. L'incidenza sulla qualità dell'aria nell'area urbana, che potrebbe costituire un valido parametro di merito ambientale, a pari emissioni specifiche può essere molto diversa, ma è molto difficile da valutare.

Oltre alle emissioni inquinanti a livello locale potranno essere comparati anche i parametri di emissione di gas ipoteticamente clima-alteranti. In questo caso sono stati anche messi a punto dei parametri complessivi che tengono conto, con opportune pesature, dei diversi gas (la CO_2 equivalente e il parametro TEWI, Total Effect Warming Index). Un parametro indicativo abbastanza semplice potrebbe essere l'emissione di CO_2 equivalente, ma bisognerebbe tener conto di tutto il ciclo di vita dell'impianto e non solo della parte relativa alla produzione del servizio e purtroppo questo parametro non è facilmente disponibile.

I parametri economici

Per ogni soluzione della catena produzione-utenze si possono valutare i costi specifici all'energia prodotta, tenendo conto sia dei costi di impianto, sia dei costi di gestione, sia dei costi della fonte primaria utilizzata. La valutazione dei costi delle fonti primarie utilizzate (in particolare gas e energia elettrica) è molto problematica perché i costi, comprensivi delle imposte, variano significativamente sia in relazione alla tipologia dell'utenza che alla zona considerata.

Inoltre questa analisi degli investimenti che si proietta in un futuro lontano (qualche decina d'anni) presenta non poche difficoltà: sia per il fatto che i sistemi che si devono confrontare possono avere durate diverse, sia perché ci possono essere nel periodo di analisi variazioni comparate non irrilevanti dei vari fattori che interven-

gono nella valutazione del costo dell'energia prodotta, in particolare il costo della fonte primaria. Oltre ai costi finora citati, che possiamo chiamare evidenti, potrebbero aggiungersi dei possibili costi occulti di difficile valutazione, inoltre un ruolo importante lo potrebbero giocare eventuali possibili forme di incentivazione e eventuali penalizzazioni che potrebbero intervenire nella vita dell'impianto (ad esempio carbon tax). Nella valutazione economica volutamente non si sono considerati gli incentivi, fatta eccezione per i certificati bianchi e la defiscalizzazione del gas.

L'analisi di tutti questi parametri dovrà essere fatta tenendo conto della possibile variazione che essi potranno subire durante la vita dell'impianto anche in relazione alla garanzia di una corretta manutenzione dei sistemi produttivi, specialmente per quelli di piccola potenza.

4.2 Il programma di calcolo

Il programma utilizza un database comprendente le utenze, le zone climatiche e le tecnologie definiti nei capitoli 2 e 3, di cui segue una sintesi. Si sono considerate come rappresentative 6 utenze, come descritto nel capitolo 2: residenza monofamiliare, condominio, grande complesso, quartiere, palazzo di uffici, grande complesso di uffici. Sono state definite tre zone climatiche rappresentative delle situazioni medie italiane: nord Italia ($2400^{\circ}\text{Cgiorno/anno}$), centro Italia ($1400^{\circ}\text{Cgiorno/anno}$), sud Italia ($600^{\circ}\text{Cgiorno/anno}$).

Ogni utenza si è supposto che abbia un fabbisogno di energia annua ben definito in relazione alla categoria dell'edificio e alla zona climatica (18 casi in totale). Per ognuna di queste utenze si sono considerati i sistemi di produzione di energia con essa compatibili, descritti nel capitolo 3 (12 categorie), le cui prestazioni energetiche si ricordano essere dipendenti dall'effettivo carico richiesto. Per tutte le utenze si sono considerati dei sistemi a sola caldaia (6 categorie), dei sistemi cogenerativi con integrazione (4 categorie) e dei sistemi a pompa di calore (2 categorie) e si sono calcolati parametri di merito energetici, economici ed ambientali. Nel caso dei sistemi cogenerativi, questi prevedono sempre un sistema integrativo per ovvie ragioni economiche, l'impianto cogenerativo è di norma progettato per una potenza termica pari al 30% della potenza termica massima, questo comporta, tenuto conto della caratterizzazione dell'utenza, che il fabbisogno energetico annuo è però coperto dal sistema cogenerativo per circa il 70% al nord Italia e al 50% al sud Italia. Si veda

l'allegato 4 per un'analisi dettagliata dell'effetto del dimensionamento sui parametri energetici ed economici.

La caratterizzazione delle prestazioni energetiche

Le prestazioni energetiche, sono state caratterizzate tramite il calcolo dei seguenti parametri:

- l'energia primaria totale consumata nell'anno (nel caso dei sistemi cogenerativi essa comprende anche la quantità necessaria alla produzione dell'energia elettrica ed è inoltre data anche la frazione di energia termica coperta con i sistemi integrativi);
- l'energia termica prodotta (nel caso di sistema cogenerativo è data anche la parte prodotta dal sistema integrativo);
- l'energia elettrica prodotta dal sistema cogenerativo;
- il rendimento exergetico, calcolato con una temperatura media dell'energia termica prodotta di 55°C e con una temperatura ambiente pari a 5°C al nord Italia, 7°C al centro e 10°C al sud;
- l'energia primaria risparmiata rispetto al caso di riferimento (PES);
- l'indice IRE integrato, precedentemente definito.

La caratterizzazione delle prestazioni economiche

Le prestazioni in termini economici sono fornite mediante i costi specifici al kWh_{th} prodotto, questo calcolo ha richiesto la valutazione di tutte le voci di costo e la definizione della durata di vita dell'impianto. In questo calcolo ci sono indubbiamente delle valutazioni molto incerte specialmente in relazione al prezzo della fonte primaria (nel caso specifico gas naturale ed energia elettrica). Per quanto attiene i sistemi cogenerativi c'è anche il problema della valutazione (valorizzazione) dell'energia elettrica prodotta in eccesso rispetto al fabbisogno proprio. Il programma di calcolo permette la parametrizzazione delle diverse voci di costo che incidono sul costo del kWh_{th} . Si è scelta la strada di considerare i costi effettivi che vanno a carico dell'utilizzatore del servizio, quindi comprensivi di tutte le tasse che gravano

sul gas naturale e sull'energia elettrica. Queste tasse non sono eguali in tutte le regioni italiane, pertanto sarebbe necessaria un'analisi differenziata, inoltre le tariffe variano anche in relazione al profilo dell'utente, in particolare alle classi di consumo. Per semplificare l'analisi e per non disperdere in un'infinità di casi i risultati, è stato necessario definire alcuni parametri medi significativi.

La valorizzazione dell'energia elettrica prodotta dai sistemi cogenerativi è differenziata a seconda dell'utenza, considerando le disposizioni entrate in vigore recentemente, riguardanti lo scambio sul posto per sistemi cogenerativi fino a 200 kW. Si è assunto che le utenze residenziali, fatta eccezione per quella monofamiliare, non possano prevedere l'autoconsumo elettrico, se non in frazione trascurabile, poiché costituite da diversi clienti finali. Pertanto il prezzo a cui viene valorizzata l'energia elettrica sarà indicativamente quello di borsa (circa 0.08 €/kWh).

Si è ipotizzato invece che il palazzo di uffici, il complesso di uffici e l'utenza monofamiliare possano consumare una quota anche rivelante dell'energia elettrica prodotta. Si può quindi ipotizzare un valore medio di valorizzazione dell'energia elettrica prodotta, supponendo che metà sia autoconsumata istantaneamente, quindi valorizzata al costo evitato di acquisto dell'energia elettrica (circa 0.18 €/kWh) e l'altra metà sia valorizzata al prezzo corrisposto dal GSE per lo scambio sul posto (circa 0.10 €/kWh). Ne risulta una valorizzazione media pari a 0.14 €/kWh. Un'analisi di dettaglio è riportata in allegato. In sintesi la valutazione del costo dell'energia prodotta è effettuata, per non complicare eccessivamente il metodo di calcolo, considerando i costi di investimento e di manutenzione, la vita utile dei sistemi e il consumo ed il costo del combustibile, non sono invece considerati gli effetti dovuti all'inflazione, alla remunerazione del capitale, alla variazione dei prezzi di energia elettrica e combustibili.

Si è inoltre assunto che:

- il costo del gas naturale sia pari a 0.06 €/kWh;
- il costo dell'energia elettrica sia pari a 0.18 €/kWh;
- il prezzo di vendita dell'energia elettrica prodotta per le utenze residenziali, esclusa quella monofamiliare, sia pari a 0.08 €/kWh;
- il prezzo di vendita dell'energia elettrica prodotta per le utenze di uffici e monofamiliare, sia pari a 0.14 €/kWh.

Si ipotizza inoltre la presenza delle seguenti incentivi economici:

- i certificati di efficienza energetica per tutta l'energia primaria risparmiata, valorizzata a 70 €/tep (valore commerciale inferiore al valore massimo teorico di 100 €/tep);
- la defiscalizzazione dell'aliquota sul gas naturale (0.17 €/Nm³, valida per utenze residenziali oltre 250 Nm³/anno, edifici pubblici e commerciali) per una quota pari a 0.237 Nm³/kWh (0.25 Sm³/kWh) di energia elettrica prodotta da sistemi cogenerativi.

La caratterizzazione delle prestazioni ambientali

Per quanto attiene l'impatto ambientale gli unici dati reperibili riguardano le emissioni di CO e di NO_x . La valutazione dell'impatto ambientale è molto complessa, non solo perché non è facile reperire i dati di effettiva emissione degli impianti considerati, ma essenzialmente perché la trasposizione tra emissioni e l'effetto sulla qualità dell'aria è estremamente difficile. I sistemi di generazione distribuita se installati in città contribuiscono in modo abbastanza diretto alla concentrazione in termini di qualità dell'aria nell'area urbana, mentre i sistemi di generazione centralizzata (in particolare quella elettrica, posti in generale fuori dagli ambiti urbani), hanno un effetto diluito sulla qualità dell'aria nelle aree urbane.

Risulta quindi estremamente difficile trarre una sintesi quantitativa relativa a questo aspetto. Pertanto l'analisi quantitativa è limitata all'emissioni, mentre le valutazioni rispetto all'effetto sulla qualità dell'aria saranno solo qualitative (cap. 5). Il metodo prevede il calcolo delle emissioni di NO_x e CO per unità di energia termica prodotta a partire dai parametri definiti nel capitolo. Le emissioni di CO_2 sono invece calcolate in funzione dell'effettivo consumo di combustibile. Le emissioni dei sistemi cogenerativi di NO_x , CO e CO_2 sono calcolate sottraendo la quota di emissioni che sarebbe stata prodotta per generare l'energia elettrica tramite il parco nazionale BAU o BAT.

I sistemi di riferimento

I rendimenti elettrici utilizzati per la valutazione delle prestazioni energetiche fanno riferimento a due diverse alternative: la prima relativa al valore medio del parco

termoelettrico nazionale (BAU), assunto pari a 0.43, la seconda relativa alla best available technology (BAT), assunto pari a 0.53; per entrambe si è assunta una perdita complessiva per trasporto e distribuzione pari al 7%.

I rendimenti di produzione su tutta la stagione dell'energia termica sono stati assunti pari a 0.8 per la versione BAU e 0.90 per la versione BAT. Risultano quindi i seguenti valori di riferimento rispettivamente:

- BAU $\eta_{ee}^* = 0.40$ (considerando l'effetto delle perdite di rete), $\eta_{th}^* = 0.80$;
- BAT $\eta_{ee}^* = 0.49$ (considerando l'effetto delle perdite di rete), $\eta_{th}^* = 0.90$.

Per quanto riguarda invece l'impatto ambientale il parco elettrico nazionale (BAU) prevede come emissioni 650 mg/kWh_{ee} di NO_x , 100 mg/kWh_{ee} di CO e 740 g/kWh_{ee} di CO_2 . Mentre la BAT emette 90 mg/kWh_{ee} di NO_x , 20 mg/kWh_{ee} di CO e 410 g/kWh_{ee} di CO_2 .

Il programma ha permesso quindi di valutare le prestazioni energetiche, economiche ed ambientali di 144 possibili scenari definiti da 18 tipologie di utenze, accoppiate a 12 tecnologie, confrontate con 2 differenti scenari di riferimento.

In allegato sono riportati alcuni esempi di valutazioni energetiche di sistemi cogenerativi al variare del dimensionamento dell'impianto.

5 I risultati ottenuti dal modello di calcolo e la loro analisi

5.1 I parametri utilizzati nel modello di calcolo

In accordo a quanto già detto ai cap. 1 e 3 i rendimenti elettrici utilizzati per la valutazione delle prestazioni energetiche fanno riferimento a due diverse alternative: la prima relativa al valore medio del parco termoelettrico nazionale (BAU), assunto pari a 0.43, la seconda relativa alla best available technology (BAT), assunto pari a 0.53; per entrambe si è assunta una perdita complessiva per trasporto e distribuzione pari al 7%. Questo porta a un rendimento complessivo, incluse le perdite di rete, pari rispettivamente a 0.40 e 0.49. I rendimenti di produzione su tutta la stagione dell'energia termica sono stati assunti pari a 0.80 per la versione BAU e 0.90 per la versione BAT.

Per il calcolo del rendimento exergetico, tenuto conto del fatto che un'analisi di dettaglio richiederebbe la precisazione dei livelli termici necessari ad ogni utenza di calore, si sono fatte le seguenti semplificate assunzioni: la temperatura ambiente è stata assunta pari a 5°C per il nord e 10°C per il sud e la temperatura di fornitura dell'energia termica pari a 55°C, è questo un valore medio tra sistemi di distribuzione ad alta temperatura e a bassa temperatura. Ovviamente queste semplificazioni piuttosto drastiche riducono l'attendibilità dei risultati dell'analisi exergetica, che può solo fornire indicazioni generali.

Si sono considerate, per le utenze assunte come rappresentative del parco medio nazionale (vedi cap. 2), le seguenti modalità di fornitura del fabbisogno termico:

1. Utenza monofamigliare, per questo caso si sono confrontati i casi di fornitura del servizio con:
 - (a) tre diverse soluzioni con sola caldaia: una di tipo tradizionale, una a condensazione che opera però ad alta T e una a condensazione che opera a bassa T
 - (b) un sistema cogenerativo con motore a combustione interna integrato con caldaia ausiliaria
 - (c) un sistema a pompa di calore ad aria

2. Utenza condominiale piccola, anche per questo caso si sono confrontati i casi di fornitura del servizio con
 - (a) tre diverse soluzioni di sola caldaia: una di tipo tradizionale, una a condensazione che opera però ad alta T e una a condensazione che opera a bassa T
 - (b) un sistema cogenerativo con motore a combustione interna, integrato con caldaia ausiliaria
 - (c) un sistema a pompa di calore ad acqua

Per questa utenza si sono considerati due casi di diagramma di carico: il primo relativo a un condominio di sole abitazioni, il secondo un condominio di soli uffici. Nel cap. 2 sono precisate le differenze tra questi due tipi di utenza.

3. Utenza condominiale media-grande, per questo caso si sono confrontati i casi di fornitura del servizio con
 - (a) sola caldaia a condensazione che opera ad alta T
 - (b) un sistema cogenerativo con motore a combustione interna , integrato con caldaia ausiliaria a condensazione
 - (c) un sistema a pompa di calore ad acqua

Anche per questa utenza si sono considerati due casi di diagramma di carico: il primo relativo a un condominio di sole abitazioni, il secondo un condominio di soli uffici.

4. Utenza di quartiere teleriscaldato, per questo caso si sono confrontati i casi di fornitura del servizio con
 - (a) sola caldaia a condensazione che opera però ad alta T
 - (b) un sistema cogenerativo con motore a combustione interna integrato con caldaia ausiliaria a condensazione
 - (c) un sistema a pompa di calore ad acqua

Per l'analisi dei costi si è assunto il costo del gas naturale, considerato come il combustibile comune a tutti i sistemi, pari a 0.06 €/kWh e si è assunto un costo

dell'energia elettrica pari a 0.18 €/kWh (vedi cap 4). Questi costi sono comprensivi delle imposte e sono valori medi che possono risultare un poco variati a seconda delle classi di consumo e delle zone geografiche. Il ricavo della vendita dell'energia elettrica prodotta dai sistemi cogenerativi è fatto come spiegato nel cap. 4 e in sintesi risulta:

- il valore dell'energia elettrica prodotta per le utenze residenziali, esclusa quella monofamiliare, è pari a 0.08 €/kWh.
- il valore dell'energia elettrica prodotta per le utenze di uffici e monofamiliare, è pari a 0.14 €/kWh.

I risultati ottenuti sono presentati nelle seguenti tabelle, di cui le versioni più estese sono riportate nell'allegato del capitolo 5.

NORD BAU		P max	ET tot	IRE in	η ex	PES	Costo netto	NOx	CO	CO ₂
		kWth	MWh/anno	-	-	MWh/anno	euro/kwh th	mg/kwh	mg/kwh	g/kwh
UTENZA MONOFAMIL. P MAX 25 KWth	Caldaia Piccola	25	9.6	0.079	13.2%	0.9	0.083	200	40	237
	MCI micro + Cald. Piccola	25	9.6	0.227	25.6%	3.7	0.230	138	28	276
	Cal. Picc. Cond. AT	25	9.6	0.230	15.8%	2.7	0.073	130	40	199
	Cal. Picc. Cond. BT	25	9.6	0.250	16.3%	3.0	0.072	80	20	193
	PdC Piccola aria BT	25	9.6	0.304	17.5%	3.6	0.128	744	114	180
UTENZA CONDOMINI O P MAX 200 KWth	Caldaia Grande	200	284.3	0.096	13.5%	34.0	0.073	80	20	233
	MCIp + Cald. Grande	200	284.3	0.283	30.3%	153.8	0.091	49	36	283
	Cald. G. Cond. AT	200	284.3	0.219	15.6%	77.9	0.064	80	20	201
	Cald. G. Cond. BT	200	284.3	0.271	16.7%	96.2	0.060	80	20	188
	PdC Grande acqua BT	200	284.3	0.564	27.9%	200.2	0.090	409	63	113
GRANDE COMPLESSO P MAX 600 kWth	Cald. G. Cond. AT	600	951.8	0.219	15.6%	260.9	0.064	80	20	201
	MCIIm + Cald. G. Cond. AT	600	951.8	0.307	33.6%	610.8	0.079	52	36	299
	PdC Grande acqua BT	600	951.8	0.564	27.9%	670.4	0.089	409	63	113
QUARTIERE TELERISC. P MAX 3 MWth	Caldaia Grande	3000	5193.0	0.096	13.5%	620.3	0.073	80	20	233
	MCIg + Cald. Grande	3000	5193.0	0.316	37.5%	4016.1	0.077	59	46	345
	PdC Grande acqua BT	3000	5193.0	0.564	27.9%	3657.5	0.089	409	63	113
UTENZA CONDOMINI O UFFICI P MAX 200 KWth	Caldaia Grande	200	216.3	0.096	13.5%	25.8	0.074	80	20	233
	MCIp + Cald. Grande	200	216.3	0.293	31.9%	127.1	0.079	53	39	293
	Cald. G. Cond. AT	200	216.3	0.219	15.6%	59.3	0.065	80	20	201
	Cald. G. Cond. BT	200	216.3	0.271	16.7%	73.2	0.061	80	20	188
	PdC Grande acqua BT	200	216.3	0.564	27.9%	152.3	0.091	409	63	113
COMPLESSO SERVIZI P MAX 600 kWth	Cald. G. Cond. AT	600	680.7	0.219	15.6%	186.6	0.065	80	20	201
	MCIIm + Cald. G. Cond. AT	600	680.7	0.317	35.2%	474.2	0.060	56	39	309
	PdC Grande acqua BT	600	680.7	0.564	27.9%	479.5	0.091	409	63	113

Tabella 5.1. Nord Italia con riferimento BAU ($\eta_e^* = 0.40$, $\eta_{th}^* = 0.80$).

NORD BAT		P max	ET tot	IRE in	η ex	PES	Costo netto	NOx	CO	CO ₂
		kWth	MWh/anno	-	-	MWh/anno	euro/kWh	mg/kWh	mg/kWh	g/kWh
UTENZA MONOFAMIL. PMAX 25 KWth	Caldaia Piccola	25	9.6	-0.036	13.2%	-0.4	0.083	200	40	237
	MCI micro + Cald. Piccola	25	9.6	0.109	25.6%	1.6	0.230	138	28	276
	Cal. Picc. Cond. AT	25	9.6	0.134	15.8%	1.4	0.073	130	40	199
	Cal. Picc. Cond. BT	25	9.6	0.156	16.3%	1.7	0.072	80	20	193
	PdC Piccola aria BT	25	9.6	0.361	21.5%	3.8	0.128	84	19	146
UTENZA CONDOMINI O PMAX 200 KWth	Caldaia Grande	200	284.3	-0.018	13.5%	-5.5	0.073	80	20	233
	MCIp + Cald. Grande	200	284.3	0.169	30.3%	79.5	0.091	49	36	283
	Cald. G. Cond. AT	200	284.3	0.122	15.6%	38.4	0.064	80	20	201
	Cald. G. Cond. BT	200	284.3	0.180	16.7%	56.7	0.060	80	20	188
	PdC Grande acqua BT	200	284.3	0.600	34.3%	189.4	0.090	46	10	92
GRANDE COMPLESSO PMAX 600 kWth	Cald. G. Cond. AT	600	951.8	0.122	15.6%	128.7	0.064	80	20	201
	MCIp + Cald. G. Cond. AT	600	951.8	0.193	33.6%	330.7	0.079	52	36	299
	PdC Grande acqua BT	600	951.8	0.600	34.3%	634.2	0.089	46	10	92
QUARTIERE TELERISC. PMAX 3 MWth	Caldaia Grande	3000	5193.0	-0.018	13.5%	-101.0	0.073	80	20	233
	MCIg + Cald. Grande	3000	5193.0	0.198	37.5%	2147.5	0.077	59	46	345
	PdC Grande acqua BT	3000	5193.0	0.600	34.3%	3459.9	0.089	46	10	92
UTENZA CONDOMINI O UFFICI PMAX 200 KWth	Caldaia Grande	200	216.3	-0.018	13.5%	-4.2	0.074	80	20	233
	MCIp + Cald. Grande	200	216.3	0.179	31.9%	66.8	0.079	53	39	293
	Cald. G. Cond. AT	200	216.3	0.122	15.6%	29.2	0.065	80	20	201
	Cald. G. Cond. BT	200	216.3	0.180	16.7%	43.2	0.061	80	20	188
	PdC Grande acqua BT	200	216.3	0.600	34.3%	144.1	0.091	46	10	92
COMPLESSO SERVIZI PMAX 600 kWth	Cald. G. Cond. AT	600	680.7	0.122	15.6%	92.0	0.065	80	20	201
	MCIp + Cald. G. Cond. AT	600	680.7	0.203	35.2%	260.6	0.060	56	39	309
	PdC Grande acqua BT	600	680.7	0.600	34.3%	453.6	0.091	46	10	92

Tabella 5.2. Nord Italia con riferimento BAT ($\eta_e^* = 0.49$, $\eta_{th}^* = 0.90$).

5.2 Le deduzioni principali

Dall'analisi dei risultati dei calcoli fatti si possono trarre alcune considerazioni generali. Data la semplificazione introdotta nei calcoli non ha significato l'analisi di dettaglio, mentre le deduzioni generali possono essere di buon aiuto nel delineare una strategia di intervento a livello regolatorio.

I parametri energetici

Si sono considerati come prioritari due parametri energetici l'indice IRE e il PES (Primary Energy Saving), pur con i limiti conseguenti alla modalità di valutazione anche il rendimento exergetico fornisce alcune valide informazioni. In base all'indice IRE la soluzione migliore corrisponde sempre al caso della pompa di calore, questo è vero anche per il parametro PES nel caso BAT, mentre nel caso BAU questo è vero salvo i casi della utenza monofamiliare e della grande utenza tipo teleriscaldamento di quartiere in cui risulta migliore il sistema cogenerativo, che recupera sulla produzione di energia elettrica. Questa considerazione vale sia per la zona clima-

CENTRO BAU		P max	ET tot	IRE in	η ex	PES	Costo netto	NOx	CO	CO ₂
		kWth	MWh/anno	-	-	MWh/anno	euro/kwh th	mg/kwh	mg/kwh	g/kwh
UTENZA MONOFAMIL. P MAX 25 KWth	Caldaia Piccola	25	6.8	0.079	12.7%	0.7	0.087	200	40	237
	MCI micro + Cald. Piccola	25	6.8	0.222	24.2%	2.5	0.296	124	25	269
	Cal. Picc. Cond. AT	25	6.8	0.230	15.2%	2.0	0.078	130	40	199
	Cal. Picc. Cond. BT	25	6.8	0.250	15.6%	2.1	0.076	80	20	193
	PdC Piccola aria BT	25	6.8	0.304	16.8%	2.6	0.137	744	115	180
UTENZA CONDOMINI O P MAX 200 KWth	Caldaia Grande	200	197.9	0.096	12.9%	23.6	0.074	80	20	233
	MCIp + Cald. Grande	200	197.9	0.272	27.9%	97.2	0.098	43	31	271
	Cald. G. Cond. AT	200	197.9	0.219	15.0%	54.2	0.065	80	20	201
	Cald. G. Cond. BT	200	197.9	0.271	16.1%	67.0	0.061	80	20	188
	PdC Grande acqua BT	200	197.9	0.564	26.8%	139.4	0.092	409	63	113
GRANDE COMPLESSO P MAX 600 kWth	Cald. G. Cond. AT	600	667.0	0.219	15.0%	182.8	0.065	80	20	201
	MCIIm + Cald. G. Cond. AT	600	667.0	0.292	30.8%	379.8	0.083	46	32	285
	PdC Grande acqua BT	600	667.0	0.564	26.8%	469.8	0.091	409	63	113
QUARTIERE TELERISC. P MAX 3 MWth	Caldaia Grande	3000	3633.0	0.096	12.9%	433.9	0.074	80	20	233
	MCIg + Cald. Grande	3000	3633.0	0.294	34.4%	2420.3	0.081	54	42	329
	PdC Grande acqua BT	3000	3633.0	0.564	26.8%	2558.8	0.091	409	63	113
UTENZA CONDOMINI O UFFICI P MAX 200 KWth	Caldaia Grande	200	142.0	0.096	12.9%	17.0	0.075	80	20	233
	MCIp + Cald. Grande	200	142.0	0.286	30.4%	79.0	0.093	53	39	287
	Cald. G. Cond. AT	200	142.0	0.219	15.0%	38.9	0.066	80	20	201
	Cald. G. Cond. BT	200	142.0	0.271	16.1%	48.1	0.062	80	20	188
	PdC Grande acqua BT	200	142.0	0.564	26.8%	100.0	0.095	409	63	113
COMPLESSO SERVIZI P MAX 600 kWth	Cald. G. Cond. AT	600	450.2	0.219	15.0%	123.4	0.066	80	20	201
	MCIIm + Cald. G. Cond. AT	600	450.2	0.308	33.6%	294.8	0.070	56	39	304
	PdC Grande acqua BT	600	450.2	0.564	26.8%	317.1	0.095	409	63	113

Tabella 5.3. Centro Italia con riferimento BAU ($\eta_e^* = 0.40$, $\eta_{th}^* = 0.80$).

tica tipo nord che per quella tipo sud, questo a causa del fatto, già segnalato, che risulta rilevante l'incidenza del fabbisogno termico per la fornitura di acqua sanitaria rispetto al totale. Anche il rendimento exergetico conferma di massima questa deduzione, nel caso BAU il rendimento exergetico vede prevalere, seppur di poco, i sistemi cogenerativi sulle pompe di calore. Mentre nel caso BAT le due tecnologie risultano competitive.

I parametri economici

Dal punto di vista economico la soluzione migliore risulta sempre quella della caldaia a condensazione per la zona climatica "sud", mentre per la zona "nord" la caldaia a condensazione è sempre la miglior soluzione salvo il caso dell'utenza complesso servizi in cui risulta migliore, seppur di poco, il sistema cogenerativo. Le soluzioni meno attraenti sono nel caso di utenze di potenza piccola i sistemi cogenerativi e negli altri casi le pompe di calore. In particolare nel caso di utenze monofamiliari e della utenza condominiale (piccola) il sistema cogenerativo risulta nettamente più costoso di tutti altri. Le pompe di calore, che come visto sono la miglior soluzione

CENTRO BAT		P max	ET tot	IRE in	η ex	PES	Costo netto	NOx	CO	CO ₂
		kWth	MWh/anno	-	-	MWh/anno	euro/kwh th	mg/kwh	mg/kwh	g/kwh
UTENZA MONOFAMIL. P MAX 25 KWth	Caldaia Piccola	25	6.8	-0.036	12.7%	-0.3	0.087	200	40	237
	MCI micro + Cald. Piccola	25	6.8	0.106	24.2%	1.1	0.296	124	25	269
	Cal. Picc. Cond. AT	25	6.8	0.134	15.2%	1.0	0.078	130	40	199
	Cal. Picc. Cond. BT	25	6.8	0.156	15.6%	1.2	0.076	80	20	193
	PdC Piccola aria BT	25	6.8	0.361	20.6%	2.7	0.137	84	19	146
UTENZA CONDOMINI O P MAX 200 KWth	Caldaia Grande	200	197.9	-0.018	12.9%	-3.8	0.074	80	20	233
	MCIp + Cald. Grande	200	197.9	0.160	27.9%	49.4	0.098	43	31	271
	Cald. G. Cond. AT	200	197.9	0.122	15.0%	26.7	0.065	80	20	201
	Cald. G. Cond. BT	200	197.9	0.180	16.1%	39.5	0.061	80	20	188
	PdC Grande acqua BT	200	197.9	0.600	32.9%	131.8	0.092	46	10	92
GRANDE COMPLESSO P MAX 600 kWth	Cald. G. Cond. AT	600	667.0	0.122	15.0%	90.2	0.065	80	20	201
	MCIIm + Cald. G. Cond. AT	600	667.0	0.179	30.8%	200.5	0.083	46	32	285
	PdC Grande acqua BT	600	667.0	0.600	32.9%	444.4	0.091	46	10	92
QUARTIERE TELERISC. P MAX 3 MWth	Caldaia Grande	3000	3633.0	-0.018	12.9%	-70.6	0.074	80	20	233
	MCIg + Cald. Grande	3000	3633.0	0.176	34.4%	1235.3	0.081	54	42	329
	PdC Grande acqua BT	3000	3633.0	0.600	32.9%	2420.6	0.091	46	10	92
UTENZA CONDOMINI O UFFICI P MAX 200 KWth	Caldaia Grande	200	142.0	-0.018	12.9%	-2.8	0.075	80	20	233
	MCIp + Cald. Grande	200	142.0	0.172	30.4%	41.0	0.093	53	39	287
	Cald. G. Cond. AT	200	142.0	0.122	15.0%	19.2	0.066	80	20	201
	Cald. G. Cond. BT	200	142.0	0.180	16.1%	28.3	0.062	80	20	188
	PdC Grande acqua BT	200	142.0	0.600	32.9%	94.6	0.095	46	10	92
COMPLESSO SERVIZI P MAX 600 kWth	Cald. G. Cond. AT	600	450.2	0.122	15.0%	60.8	0.066	80	20	201
	MCIIm + Cald. G. Cond. AT	600	450.2	0.194	33.6%	159.3	0.070	56	39	304
	PdC Grande acqua BT	600	450.2	0.600	32.9%	299.9	0.095	46	10	92

Tabella 5.4. Centro Italia con riferimento BAT ($\eta_e^* = 0.49$, $\eta_{th}^* = 0.90$).

dal punto di vista energetico, sono però fortemente svantaggiate dal costo elevato dell'energia elettrica in Italia. E' chiaro che la possibilità di utilizzare la stessa apparecchiatura per produrre il freddo, ai fini del condizionamento estivo, potrebbe avvantaggiare molto questa tecnologia, anche se non si sono fatte delle valutazioni economiche specifiche a questo caso.

I parametri ambientali

Rispetto ai parametri ambientali, come già detto, il confronto è estremamente problematico e non si può fare sui semplici parametri di emissione. E' indubbio che tutti i sistemi che fanno la produzione di energia termica o termica ed elettrica nel luogo di utilizzo dell'energia termica, se questo è un ambito cittadino, hanno il grosso svantaggio di incidere direttamente sulla qualità dell'aria locale. L'unico sistema che si differenzia nettamente è la pompa di calore alimentata con energia elettrica prelevata dalla rete nazionale e alimentata essenzialmente solo da sistemi centralizzati extraurbani, questi possono avere emissioni elevate in rapporto all'energia termica prodotta per il riscaldamento nel caso della soluzione BAU, nettamente minori nel

SUD BAU		P max	ET tot	IRE in	η ex	PES	Costo netto	NOx	CO	CO ₂
		kWth	MWh/anno	-	-	MWh/anno	euro/kwh th	mg/kwh	mg/kwh	g/kwh
UTENZA MONOFAMIL. P MAX 25 KWth	Caldaia Piccola	25	5.6	0.079	11.9%	0.6	0.090	200	40	237
	MCI micro + Cald. Piccola	25	5.6	0.213	22.6%	2.0	0.347	112	23	266
	Cal. Picc. Cond. AT	25	5.6	0.230	14.3%	1.6	0.082	130	40	199
	Cal. Picc. Cond. BT	25	5.6	0.250	14.6%	1.7	0.080	80	20	193
	PdC Piccola aria BT	25	5.6	0.304	15.8%	2.1	0.143	744	115	180
UTENZA CONDOMINI O P MAX 200 KWth	Caldaia Grande	200	159.8	0.096	12.1%	19.1	0.074	80	20	233
	MCIp + Cald. Grande	200	159.8	0.263	25.9%	73.1	0.103	38	28	264
	Cald. G. Cond. AT	200	159.8	0.219	14.1%	43.8	0.066	80	20	201
	Cald. G. Cond. BT	200	159.8	0.271	15.1%	54.1	0.062	80	20	188
	PdC Grande acqua BT	200	159.8	0.564	25.1%	112.5	0.094	409	63	113
GRANDE COMPLESSO P MAX 600 kWth	Cald. G. Cond. AT	600	536.9	0.219	14.1%	147.1	0.065	80	20	201
	MCIIm + Cald. G. Cond. AT	600	536.9	0.283	28.6%	284.1	0.087	41	28	277
	PdC Grande acqua BT	600	536.9	0.564	25.1%	378.1	0.093	409	63	113
QUARTIERE TELERISC. P MAX 3 MWth	Caldaia Grande	3000	2887.0	0.096	12.1%	344.8	0.074	80	20	233
	MCIg + Cald. Grande	3000	2887.0	0.283	32.0%	1753.5	0.084	48	38	318
	PdC Grande acqua BT	3000	2887.0	0.564	25.1%	2033.4	0.092	409	63	113
UTENZA CONDOMINI O UFFICI P MAX 200 KWth	Caldaia Grande	200	104.1	0.096	12.1%	12.4	0.076	80	20	233
	MCIp + Cald. Grande	200	104.1	0.280	29.1%	55.8	0.107	51	38	284
	Cald. G. Cond. AT	200	104.1	0.219	14.1%	28.5	0.067	80	20	201
	Cald. G. Cond. BT	200	104.1	0.271	15.1%	35.2	0.064	80	20	188
	PdC Grande acqua BT	200	104.1	0.564	25.1%	73.3	0.099	409	63	113
COMPLESSO SERVIZI P MAX 600 kWth	Cald. G. Cond. AT	600	330.9	0.219	14.1%	90.7	0.067	80	20	201
	MCIIm + Cald. G. Cond. AT	600	330.9	0.301	32.1%	207.4	0.080	55	38	300
	PdC Grande acqua BT	600	330.9	0.564	25.1%	233.0	0.099	409	63	113

Tabella 5.5. Sud Italia con riferimento BAU ($\eta_e^* = 0.40$, $\eta_{th}^* = 0.80$).

caso della soluzione BAT. Questo sistema però nella zona di utilizzo dell'energia termica o frigorifera non comporta alcun carico locale d'inquinanti. Una riflessione diversa va invece fatta per le emissioni di CO_2 . In questo caso il sito di emissione è irrilevante in quanto il fenomeno è a scala globale. Anche per questo parametro le pompe di calore risultano sempre le migliori, ovvero quelle a cui è associata la minor emissione di CO_2 per unità di energia termica prodotta nel caso BAT, mentre nel caso BAU la cogenerazione risulta in generale migliore, qualche volta ancora prevalgono le pompe di calore.

Nell'ambito del confronto tra le diverse alternative i tre parametri considerati hanno valenza molto diversa: i parametri energetici sono indubabilmente quelli di maggior valore perché sono poco influenzati da fattori esterni; i parametri economici sono fortemente dipendenti dalle tariffe delle fonti in ingresso ai sistemi e dalla valorizzazione dell'energia elettrica prodotta dai sistemi cogenerativi; come già sottolineato, i parametri ambientali di emissione di inquinanti sono diversamente influenti sulla qualità dell'aria negli ambiti urbani a seconda del sito di emissione,

SUD BAT		P max	ET tot	IRE in	η ex	PES	Costo netto	NOx	CO	CO ₂
		kWth	MWh/anno	-	-	MWh/anno	euro/kWh	mg/kWh	mg/kWh	g/kWh
UTENZA MONOFAMIL. PMAX 25 KWth	Caldaia Piccola	25	5.6	-0.036	11.9%	-0.2	0.090	200	40	237
	MCIp micro + Cald. Piccola	25	5.6	0.096	22.6%	0.8	0.347	112	23	266
	Cal. Picc. Cond. AT	25	5.6	0.134	14.3%	0.8	0.082	130	40	199
	Cal. Picc. Cond. BT	25	5.6	0.156	14.6%	1.0	0.080	80	20	193
	PdC Piccola aria BT	25	5.6	0.361	19.3%	2.2	0.143	84	19	146
UTENZA CONDOMINI O PMAX 200 KWth	Caldaia Grande	200	159.8	-0.018	12.1%	-3.1	0.074	80	20	233
	MCIp + Cald. Grande	200	159.8	0.151	25.9%	36.4	0.103	38	28	264
	Cald. G. Cond. AT	200	159.8	0.122	14.1%	21.6	0.066	80	20	201
	Cald. G. Cond. BT	200	159.8	0.180	15.1%	31.9	0.062	80	20	188
	PdC Grande acqua BT	200	159.8	0.600	30.8%	106.4	0.094	46	10	92
GRANDE COMPLESSO PMAX 600 kWth	Cald. G. Cond. AT	600	536.9	0.122	14.1%	72.6	0.065	80	20	201
	MCIp + Cald. G. Cond. AT	600	536.9	0.170	28.6%	147.7	0.087	41	28	277
	PdC Grande acqua BT	600	536.9	0.600	30.8%	357.7	0.093	46	10	92
QUARTIERE TELERISC. PMAX 3 MWth	Caldaia Grande	3000	2887.0	-0.018	12.1%	-56.1	0.074	80	20	233
	MCIg + Cald. Grande	3000	2887.0	0.164	32.0%	873.9	0.084	48	38	318
	PdC Grande acqua BT	3000	2887.0	0.600	30.8%	1923.5	0.092	46	10	92
UTENZA CONDOMINI O UFFICI PMAX 200 KWth	Caldaia Grande	200	104.1	-0.018	12.1%	-2.0	0.076	80	20	233
	MCIp + Cald. Grande	200	104.1	0.166	29.1%	28.6	0.107	51	38	284
	Cald. G. Cond. AT	200	104.1	0.122	14.1%	14.1	0.067	80	20	201
	Cald. G. Cond. BT	200	104.1	0.180	15.1%	20.8	0.064	80	20	188
	PdC Grande acqua BT	200	104.1	0.600	30.8%	69.3	0.099	46	10	92
COMPLESSO SERVIZI PMAX 600 kWth	Cald. G. Cond. AT	600	330.9	0.122	14.1%	44.7	0.067	80	20	201
	MCIp + Cald. G. Cond. AT	600	330.9	0.187	32.1%	110.5	0.080	55	38	300
	PdC Grande acqua BT	600	330.9	0.600	30.8%	220.4	0.099	46	10	92

Tabella 5.6. Sud Italia con riferimento BAT ($\eta_e^* = 0.49$, $\eta_{th}^* = 0.90$).

inoltre i dati di emissione sono spesso poco noti. Si ricordi pure che, per le alternative qui considerate, le emissioni di CO_2 sono strettamente correlate ai parametri energetici, come già segnalato. Questo fa propendere a pensare che il maggior rilievo in questo studio debba essere dato ai parametri energetici.

5.3 Alcune considerazioni integrative su altre soluzioni possibili

Pannelli solari termici

Nel caso l'utenza fosse in una zona ben soleggiata e l'edificio disponesse di un'ampia superficie ben esposta al sole un contributo valido al soddisfacimento del fabbisogno termico potrebbe venire dall'utilizzo di energia solare, questa soluzione può essere facile da perseguire in ambito extra urbano, ma difficile in un contesto urbano ad alta intensità abitativa. Inoltre questa soluzione può risultare particolarmente interessante nel caso di residenza monofamiliare, ma problematica nel caso dell'utenza condominiale per due ragioni: l'utenza condominiale presenta in generale uno

sviluppo verticale maggiore rispetto a quello orizzontale, le superfici utili si riducono rispetto al volume da servire; inoltre un sistema di questo tipo richiede una manutenzione per la pulizia dei pannelli semplice ma sistematica, facile nel caso di una struttura monofamigliare, difficile e costosa da perseguire in un complesso condominiale.

Con queste premesse questa opportunità sarebbe certamente valida sia sotto l'aspetto energetico e ambientale, sia in generale sotto l'aspetto economico, per quest'ultimo deve essere fatta una verificata in relazione allo specifico progetto, tenendo conto della necessità di installare anche una caldaia ausiliaria per il fabbisogno termico. L'imposizione fatta con il Dl 192/05 e relative integrazioni di soddisfare la metà del fabbisogno di acqua sanitaria con l'energia solare è un esempio di un provvedimento preso su una spinta emotiva senza un'attenta analisi, ne è prova il fatto che ha dato luogo a tantissime richieste di eccezione perché è impossibile rispettarlo.

Pannelli solari fotovoltaici

Con le stesse ipotesi di insolazione del punto precedente, un contributo al fabbisogno di energia elettrica potrebbe venire dall'installazione di pannelli fotovoltaici con l'ipotesi di interscambio colla rete. Questa soluzione potrebbe risultare valida sotto l'aspetto energetico e ambientale, ma è sicuramente improponibile sotto l'aspetto economico; infatti si è ora perseguita la strada di una forte incentivazione che ha portato a una grave distorsione del meccanismo con lo sviluppo di sistemi fotovoltaici non finalizzati alla copertura del proprio fabbisogno energetico, ma allo sfruttamento del forte incentivo a solo scopo speculativo. Anche per questa finalità questa soluzione può risultare particolarmente interessante nel caso di residenza monofamigliare, ma problematica nel caso dell'utenza condominiale per due ragioni: l'utenza condominiale presenta in generale uno sviluppo verticale maggiore rispetto a quello orizzontale, le superfici utili si riducono rispetto al volume da servire; inoltre un sistema di questo tipo richiede una manutenzione per la pulizia dei pannelli semplice ma sistematica, facile nel caso di una struttura monofamigliare difficile e costosa da perseguire in un complesso condominiale. L'imposizione fatta con il Dl 192/05 ed integrazioni di installare 1 kW per ogni unità abitativa è un esempio di un provvedimento preso su una spinta emotiva senza un'attenta analisi, ne è prova il fatto che ha dato luogo a tantissime richieste di eccezione perché è impossibile

rispettarlo. E' invece questa una soluzione valida per applicazioni di nicchia nei siti ove non esiste la rete elettrica.

Le soluzioni che prevedono l'utilizzo dell'energia solare sia con pannelli termici che con pannelli fotovoltaici non sono state considerate nell'analisi generale perché costituiscono un'alternativa particolare non sempre disponibile e molto legata alla tipologia dell'edificio e alla zona climatica.

Sistemi di microgenerazione (< 50kWe) o di piccola cogenerazione (<1 MWe)

Come visto i sistemi cogenerativi, anche con i meccanismi di valorizzazione dell'energia elettrica prodotta previsti per il nuovo anno (2009), non risultano attraenti nel caso di piccole e medie utenze, mentre lo possono essere per le grosse utenze con fabbisogni di potenza termica dell'ordine dei MW. Ipotizzare un sistema di microcogenerazione a livello di singolo appartamento in condominio o di piccola struttura monofamigliare, è ora impensabile date le dimensioni minime dei sistemi di generazione tipo turbine a gas o motori a combustione interna. Questi sistemi cogenerativi hanno diversi problemi: lavorano per un numero ridotto di ore all'anno, comportano un maggior costo di installazione rispetto a un sistema a sola caldaia e un maggior costo di gestione. Inoltre il sistema cogenerativo deve in ogni caso prevedere una caldaia ausiliaria sia per il caso di carichi molto ridotti, sia per il caso di carichi elevati eccedenti la potenza termica nominale del cogeneratore che è opportuno non sia progettato per il carico massimo. Nel caso di un edificio di maggiori dimensioni, la soluzione cogenerativa non risulta valida ne dal punto di vista energetico (le pompe di calore risultano nettamente migliori), ne da quello dei costi (le caldaie risultano nettamente migliori), essa potrebbe risultare perseguibile solo a condizione che l'energia elettrica prodotta fosse ben valorizzata. L'unico caso in cui il sistema cogenerativo può risultare vincente è quello in cui una frazione molto elevata dell'energia elettrica prodotta potesse essere utilizzata istantaneamente in proprio, perché in tal caso la valorizzazione sarebbe eguale al costo evitato. La competizione con le pompe di calore è ovviamente condizionata dalla effettiva disponibilità di questa alternativa (vedi nota seguente). Non rientra in questa analisi, ma va segnalato che la diffusione della generazione elettrica distribuita potrebbe creare non pochi problemi alla gestione della rete elettrica.

Le pompe di calore

Si è visto che le pompe di calore presentano indubbi vantaggi energetici e ambientali, ma sono fortemente penalizzate sotto l'aspetto economico a causa dell'elevato costo dell'energia elettrica in Italia. L'installazione di una pompa di calore è una soluzione che in particolari condizioni potrebbe risultare interessante. Le condizioni che la possono rendere vantaggiosa sono:

1. la disponibilità di un pozzo freddo a temperatura non troppo bassa meglio se ad acqua (questo coincide con la locazione in un clima non troppo freddo, tipica di varie zone in Italia)
2. una rete di riscaldamento nell'edificio che possa operare a bassa temperatura. In generale si pensa ai sistemi di riscaldamento a pannelli incorporati nel pavimento che hanno notevoli inerzie e sono poco adatti a utilizzi saltuari, ma se la pompa di calore può funzionare con produzione di acqua calda tra 40 e 50°C, ovvero con una temperatura media di 45°C, in realtà può bastare un raddoppio della superficie dei corpi scaldanti rispetto alla progettazione tradizionale per garantire la copertura del fabbisogno. Questo livello termico è anche compatibile con la fornitura dell'acqua sanitaria.

Le due condizioni suddette sono essenziali perché la pompa di calore possa operare con una buona performance termodinamica. Nei calcoli fatti si è assunto un valore del COP indipendente dai livelli termici tra cui la pompa di calore effettivamente lavora, un'analisi più di dettaglio dovrebbe invece tener conto del vantaggio che la pompa di calore matura nel caso i due livelli termici si avvicinino, in particolare per innalzamento del livello del pozzo freddo.

Sono inoltre condizioni avvantaggianti:

3. poter disporre di energia elettrica a basso costo;
4. poter utilizzare la macchina anche in modo inverso per produrre raffrescamento estivo (se necessario). La scarsa diffusione delle pompe di calore in Italia rispetto, ad esempio, a Francia e Svizzera è indubbiamente legata al maggior costo dell'energia elettrica.

L'inserimento di una pompa di calore in un complesso condominiale esistente è problematico ed è interessante prevalentemente nel caso che l'edificio abbia un sistema di riscaldamento a bassa temperatura tipo pannelli a pavimento o soffitto. Può invece risultare molto interessante per una nuova costruzione, la dove si possono realizzare le condizioni precedentemente elencate. Va inoltre segnalato che le pompe di calore, proprio perché utilizzano energia elettrica prelevata dalla rete, possono beneficiare dei miglioramenti che la produzione di energia elettrica progressivamente maturerà.

Per un'utenza in ambito urbano, la soluzione di fruire dell'energia elettrica prodotta a livello centralizzato con centrali ad alto rendimento (cicli combinati con rendimenti superiori al 50%) e di produrre l'energia termica con pompe di calore elettriche, con sistemi con un buon COP, è certamente una buona soluzione globale sia sotto l'aspetto energetico che ambientale (tutte le emissioni sono nel sito di produzione dell'energia elettrica e, data la tecnologia considerata, sono abbastanza contenute).

Questa soluzione può avere lo svantaggio di essere più costosa di altre a causa del costo dell'energia elettrica, ma potrebbe trarre notevole vantaggio dalla possibilità di utilizzare la pompa di calore in funzionamento frigorifero in estate. In prospettiva di disporre di energia elettrica senza emissioni di inquinanti e meno costosa (ad esempio da fonte nucleare) il vantaggio sotto tutti gli aspetti sarebbe importante.

5.4 Alcune considerazioni sul valore economico dell'energia elettrica

Il valore dell'energia elettrica ha una considerevole influenza sul costo finale dell'energia termica prodotta sia con sistemi cogenerativi che a pompa di calore. Nella precedente analisi i valori dell'energia elettrica, sia per la vendita che per l'acquisto, sono stati stabiliti secondo le ipotesi riportate a pag. 28, ma essi possono variare a seconda di incentivi e della normativa. Al fine di valutarne gli effetti sui parametri economici è stata svolta un'analisi, di cui una sintesi per il nord Italia è riportata nelle seguenti figure, si veda invece l'allegato per le altre zone climatiche.

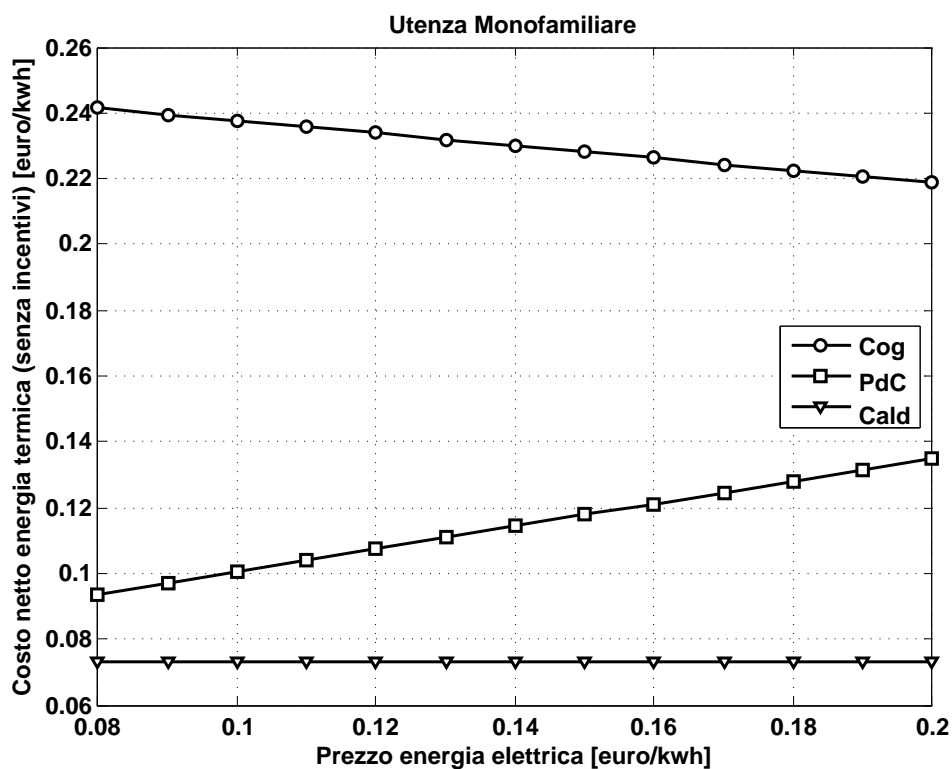


Figura 5.1. Utenza monofamiliare Nord Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

Si può notare che all'aumentare del valore dell'energia elettrica la pompa di calore vede aumentare il costo dell'energia termica prodotta, mentre per il sistema cogenerativo avviene il contrario grazie alla miglior valorizzazione dell'energia elettrica generata. Non è detto che il valore dell'energia elettrica debba essere uguale per i sistemi cogenerativi e a pompa di calore, anzi in generale i due valori saranno diversi, perchè in un caso si tratta di energia elettrica da vendere e nell'altro di energia elettrica da acquisire. I diagrammi con parametrizzazione riportati permettono però di fare ogni confronto.

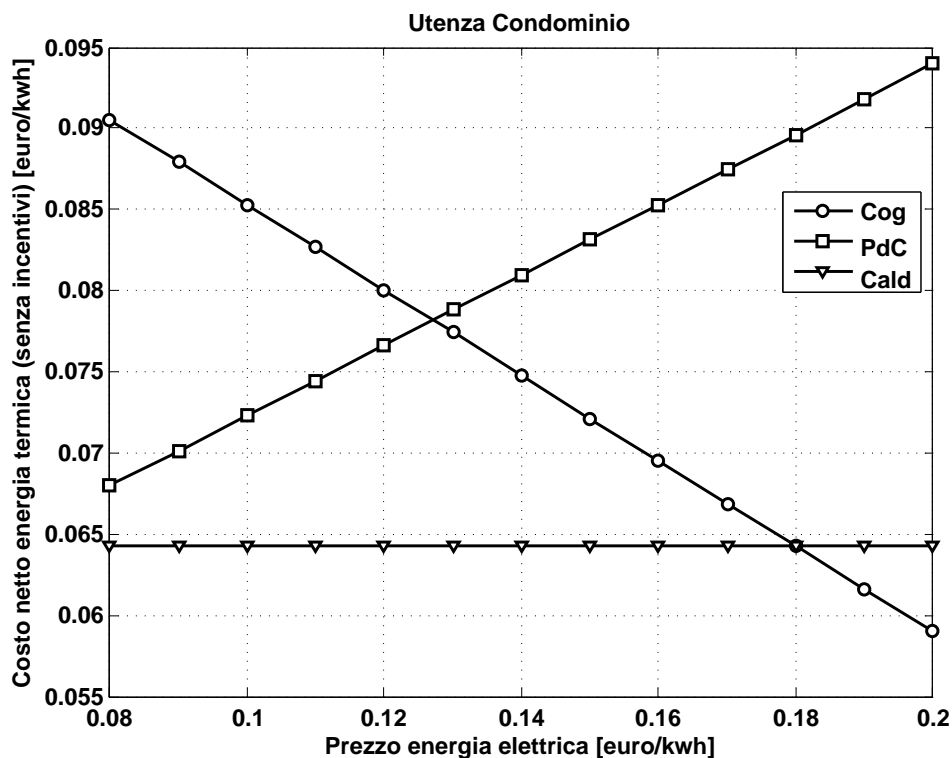


Figura 5.2. Utenza condominio del Nord Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

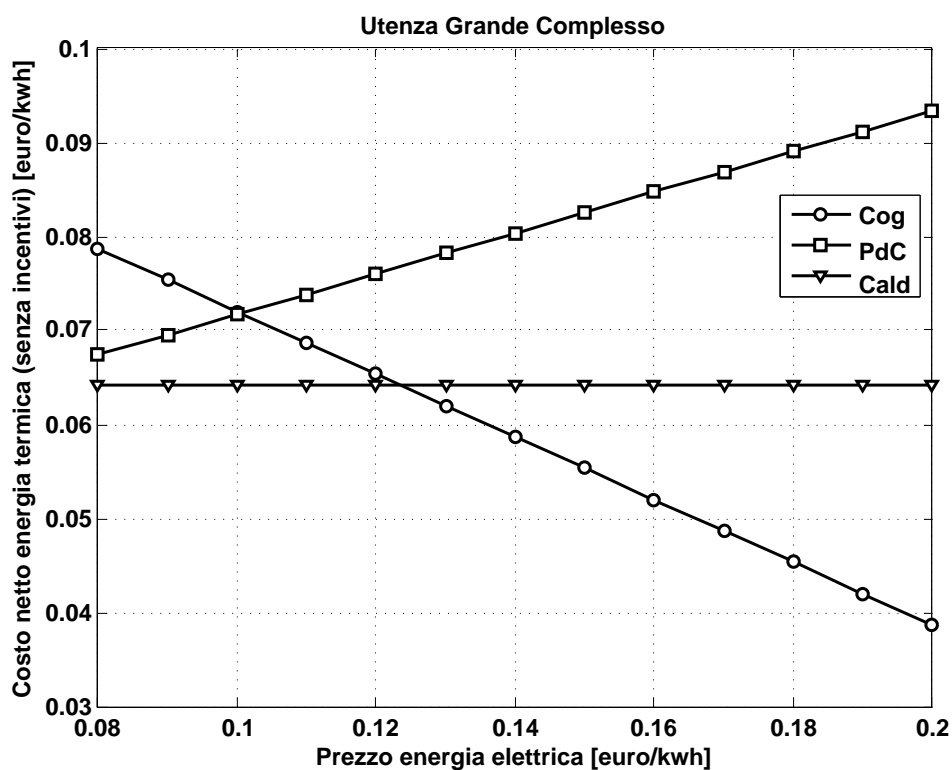


Figura 5.3. Utenza grande complesso del Nord Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

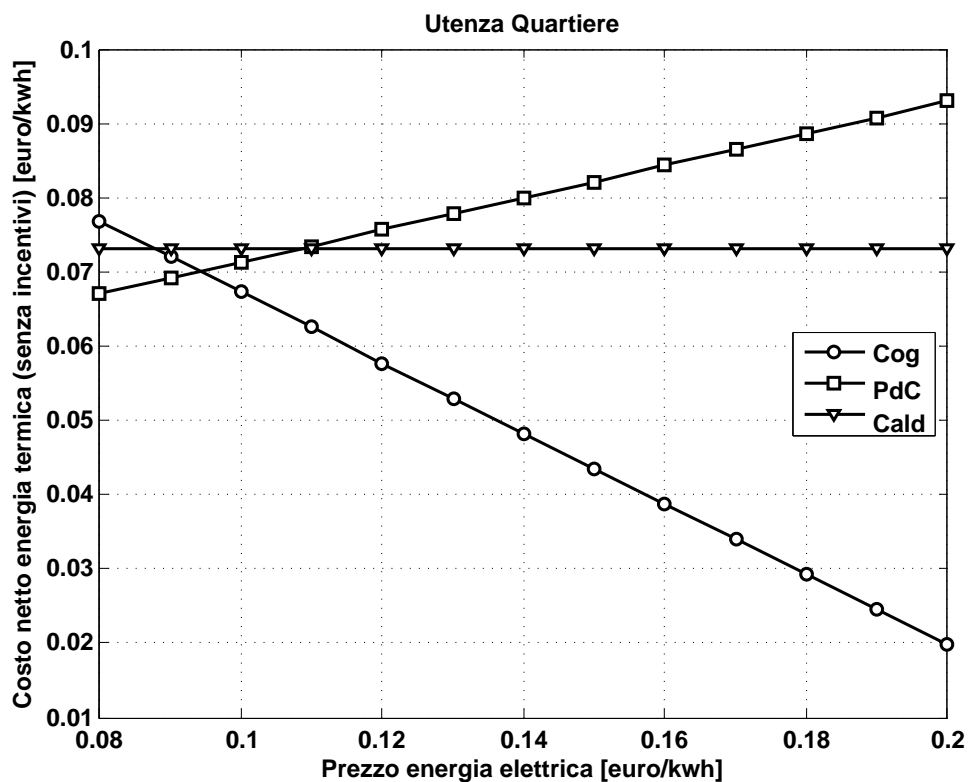


Figura 5.4. Utenza quartiere del Nord Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

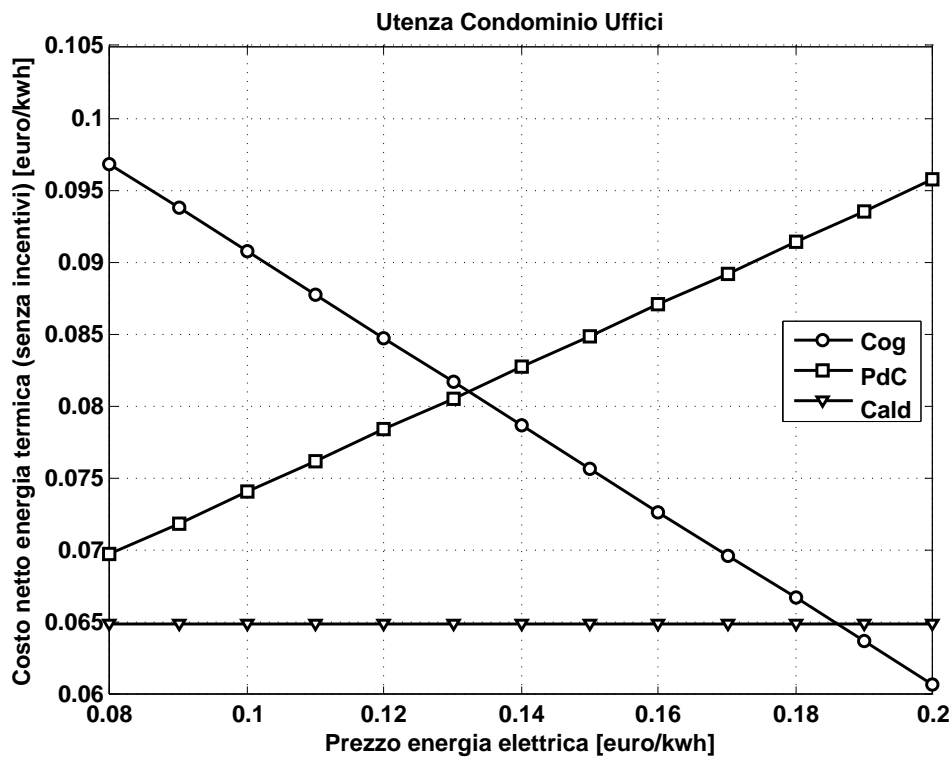


Figura 5.5. Utenza condominio uffici del Nord Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

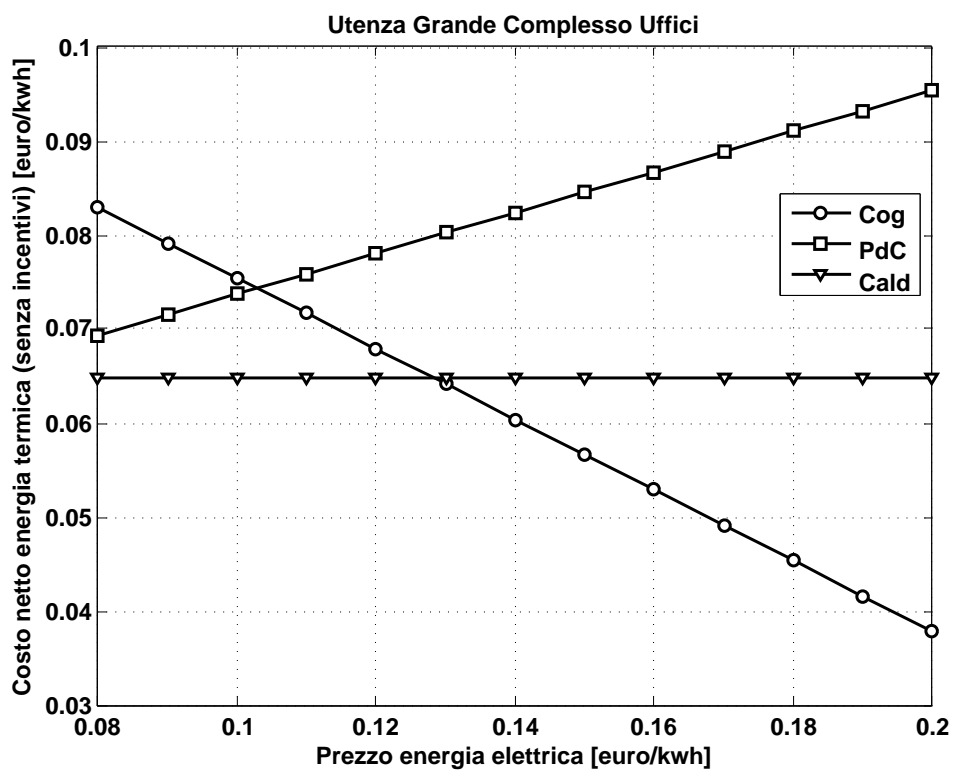


Figura 5.6. Utenza grande complesso di uffici del Nord Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

6 Il contesto industriale

Come già detto il contesto industriale, a differenza del contesto urbano, è così differenziato nelle sue esigenze energetiche che non è possibile farne una schematizzazione unificata. La tipologia delle realizzazioni in questo ambito è molto varia in relazione alle esigenze diversificate delle diverse industrie. Non è possibile individuare delle tipologie standard di fabbisogni energetici, né di impianti di produzione dell'energia.

Dove ci sono carichi elettrici e termici concomitanti e abbastanza regolari e costanti su tutto l'anno la cogenerazione può essere di buon interesse, nel caso invece i carichi termici ed elettrici siano sbilanciati e in particolare l'utenza termica non sia regolare e costante possono realizzarsi condizioni non idonee per la cogenerazione. Gli impianti disponibili per i sistemi cogenerativi possono essere di vario tipo: cicli combinati, motori a combustione interna e cicli a vapore. Specialmente i cicli combinati sono molto versatili e permettono di ottenere non solo buoni rendimenti di primo principio, ma anche buoni rendimenti elettrici. La cogenerazione, dove economicamente di sicura convenienza, è già stata in generale applicata e comunque le industrie, almeno le più grandi, si possono permettere di fare un'analisi critica esauriente dei pro e dei contro della soluzione in relazione alle loro esigenze. Particolarmente efficienti si sono dimostrati i sistemi cogenerativi applicati alle cartiere e agli impianti petrolchimici.

Anche le pompe di calore possono avere interessanti applicazioni a livello industriale, in particolare quando serve calore a bassa temperatura, quando c'è disponibilità di cascami termici e quando c'è concomitanza di richiesta di caldo e freddo (utilizzo di sistemi total energy). Le pompe di calore non risultano particolarmente versatili e non è facile trovare pompe di calore adattabili a situazioni particolari di livello termico. Inoltre in Italia, per l'elevato costo dell'energia elettrica, esse sono molto meno diffuse dei sistemi cogenerativi, ma in particolari settori, come quello alimentare e per i grandi centri commerciali, potrebbero trovare interessanti campi di applicazione con prestazioni energetiche superiori ai sistemi cogenerativi. Nei casi di sola richiesta di energia termica ad alta temperatura le caldaie ad alto rendimento potrebbero risultare particolarmente interessanti.

Per il caso dei grandi centri commerciali è possibile schematizzare un profilo di fabbisogni energetici elettrici e termici e individuare delle linee guida di validità

comune. In tutti gli altri casi, anche se si tratta di piccole strutture, non è possibile dare delle linee generali di orientamento va analizzato il singolo caso e il progettista deve avere strumenti e competenze che gli permettano di valutare le varie opzioni sulla base dei parametri energetici, ambientali e di costo.

Il meccanismo regolatorio proposto per il contesto urbano con le penalizzazioni in relazione alle emissioni e alla loro localizzazione può risultare valido anche per il contesto industriale, ma va segnalato che in generale le installazioni industriali, specialmente le più grosse sono fuori dagli ambiti urbani. Questo può rivalutare i sistemi cogenerativi.

Allegato al capitolo 2

La caratterizzazione dell'utenza

La caratterizzazione dell'utenza è stata condotta con l'obiettivo di definire qualitativamente e quantitativamente le modalità con cui ciascuna utenza o insieme di utenze si interfacciano con i sistemi di distribuzione di energia e di fonti primarie. Al fine di valutare la validità delle diverse tecnologie di produzione di energia termica in ambito urbano è stata svolta un'analisi di dettaglio del fabbisogno termico delle possibili utenze presenti in ambito urbano. Le utenze residenziali sono state suddivise in diverse categorie in funzione delle dimensioni, (utenze monofamiliare, condomini piccoli, medi e grandi), analoghe categorie sono state definite per palazzi di uffici e attività commerciali, (negozi e uffici piccoli, medi e grandi). Inoltre tutte le suddette utenze sono state caratterizzate al variare della zona climatica, in riferimento alla locazione nel nord, centro o sud Italia. Tutte le utenze considerate si riferiscono ad edifici di nuova costruzione, con tecnologie e caratteristiche ormai comuni e largamente diffuse, pertanto i consumi specifici di energia termica risultano coerenti con quanto riportato nel D.l. n. 192 del 19 agosto 2005.

Si riportano, a titolo di esempio, alcuni diagrammi di carico medio giornaliero, sia per la stagione estiva che per quella invernale, per tipiche utenze di contesto urbano in un clima tipo Italia del nord.

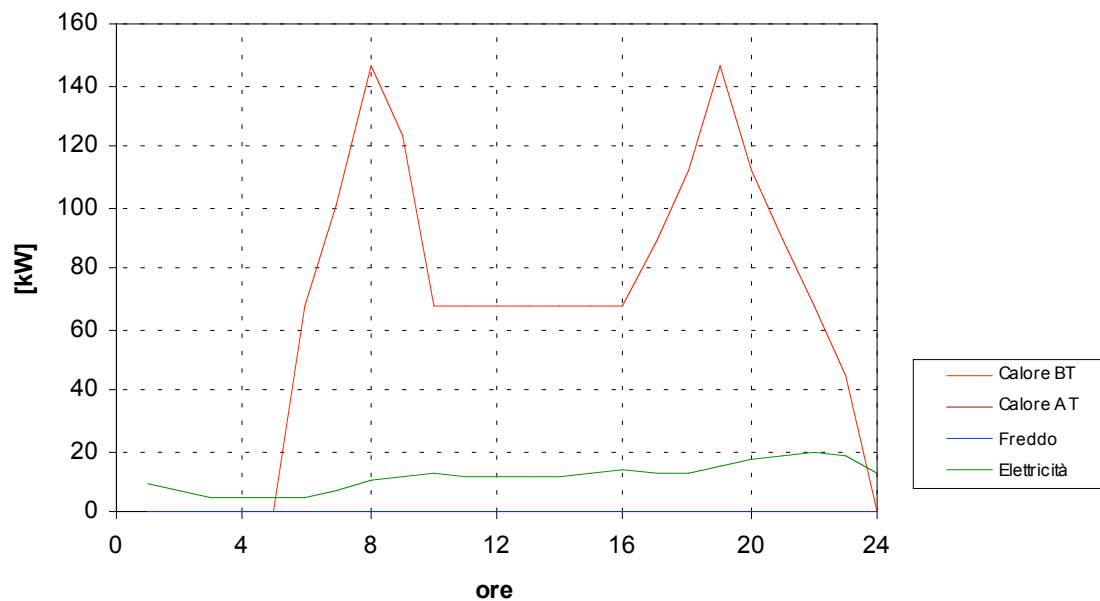


Figura 1: Fabbisogni energetici per un condominio di medie dimensioni nel periodo invernale

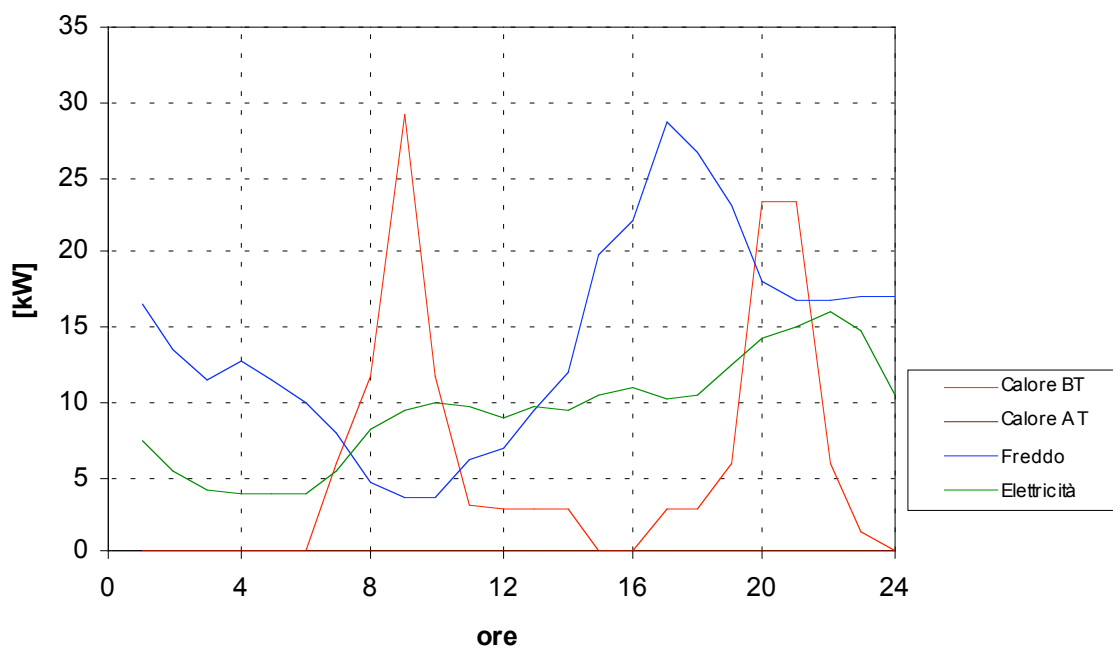


Figura 2: Fabbisogni energetici per un condominio di medie dimensioni nel periodo estivo

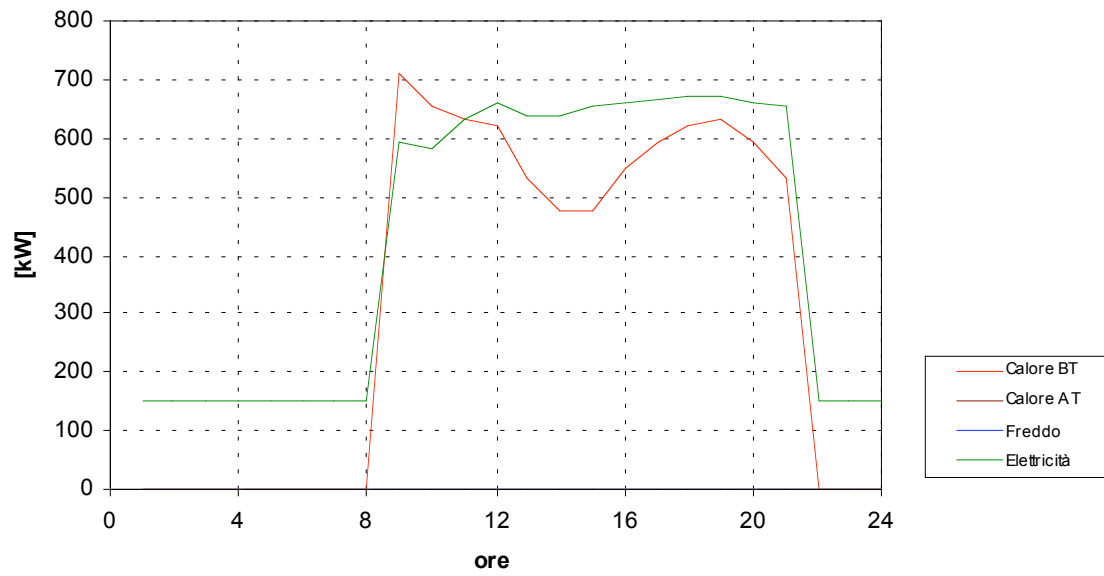


Figura 3: Fabbisogni energetici per un centro commerciale nel periodo invernale

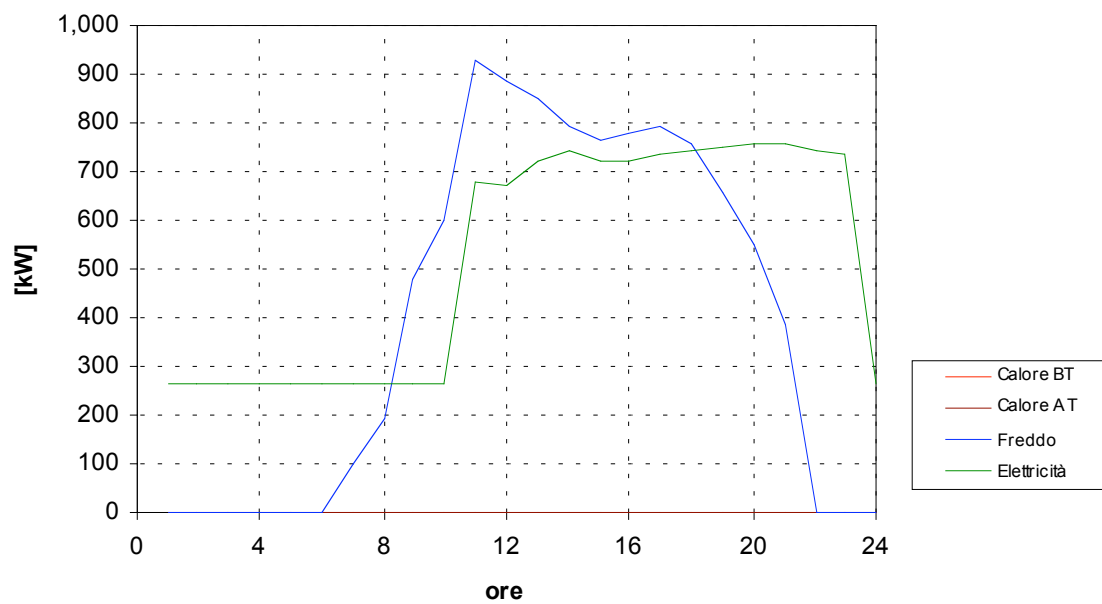


Figura 4: Fabbisogni energetici per un centro commerciale nel periodo estivo

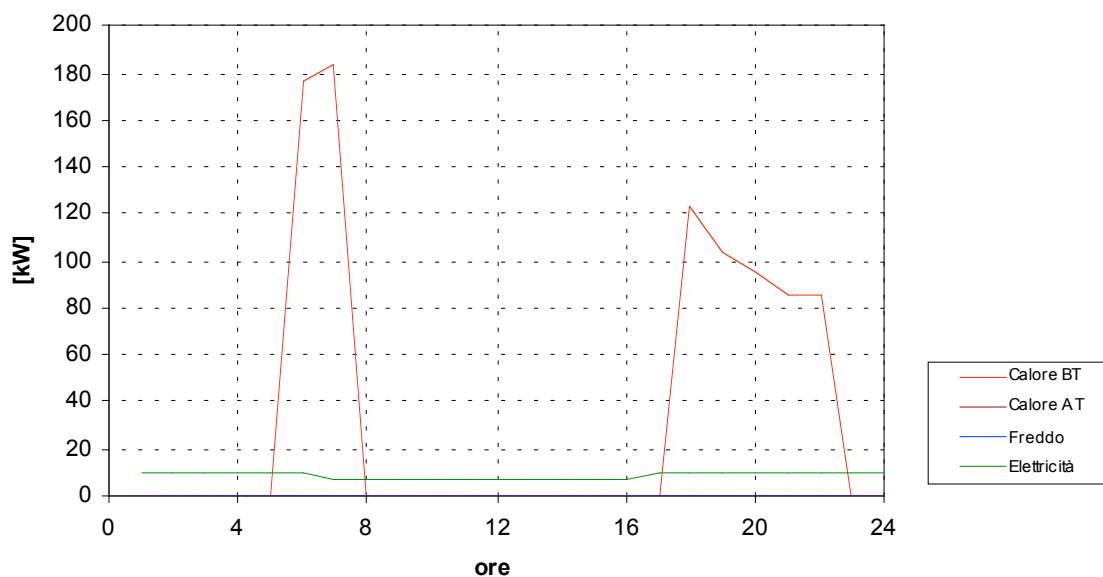


Figura 5: Fabbisogni energetici per un palazzo di uffici di medie dimensioni nel periodo invernale

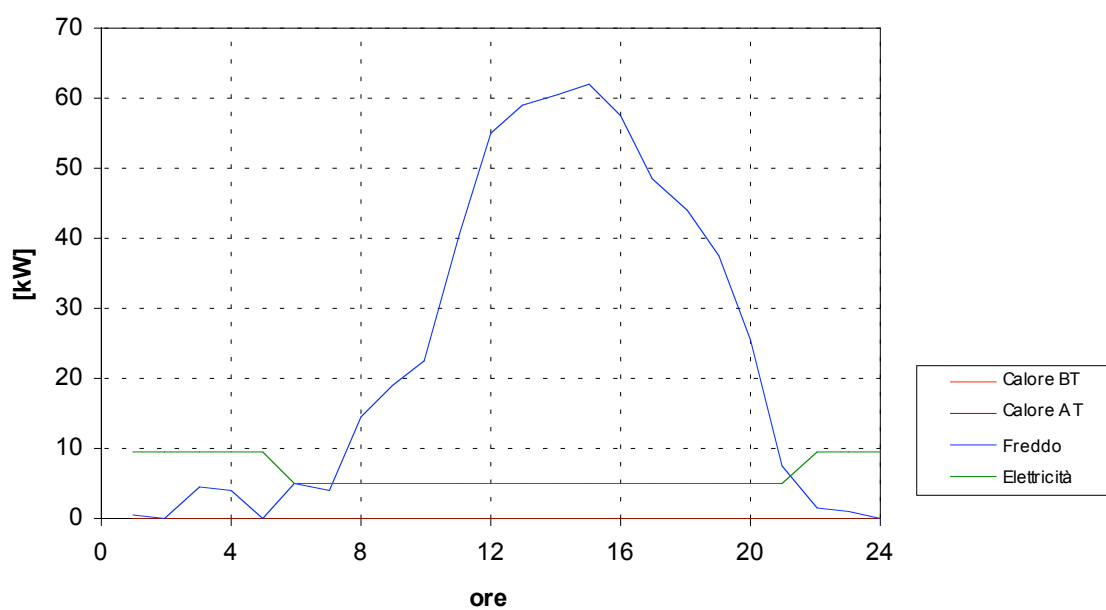


Figura 6: Fabbisogni energetici per un palazzo di uffici di medie dimensioni nel periodo estivo

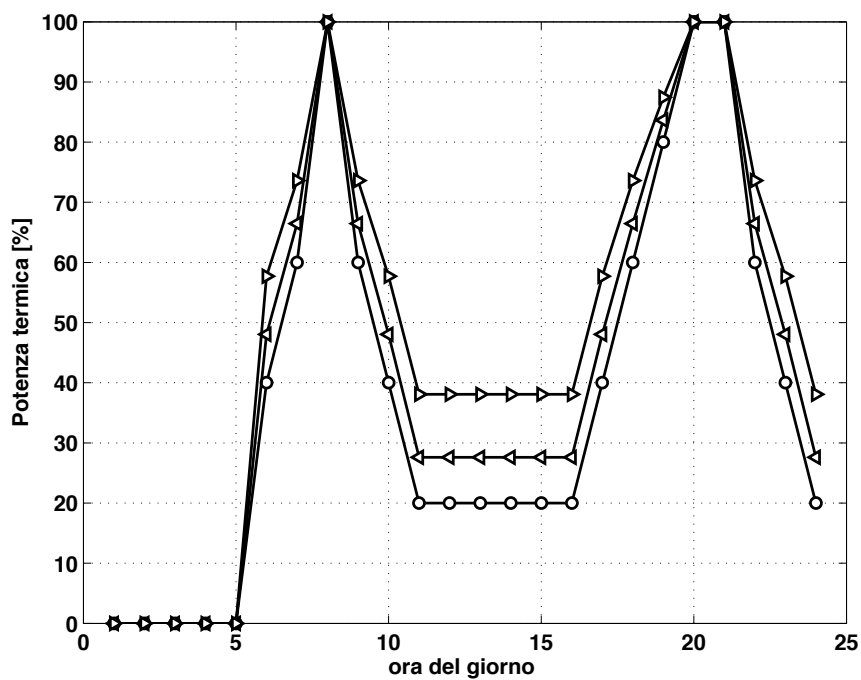


Figura 7: Profili tipici delle utenze residenziali: potenza termica in funzione dell'ora del giorno

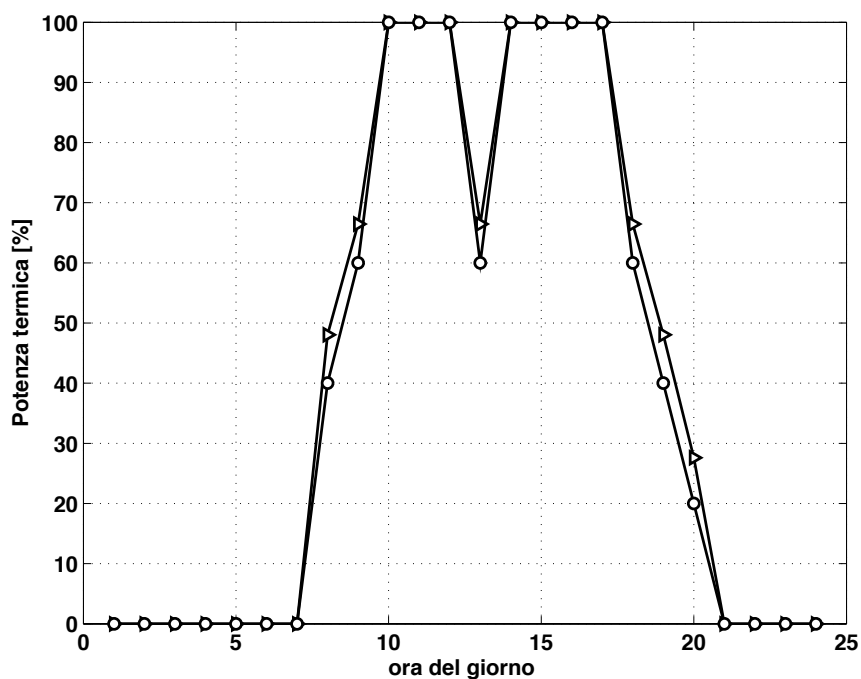


Figura 8: Profili tipici delle utenze del terziario: potenza termica in funzione dell'ora del giorno

A seguito dell'analisi svolta è stato necessario semplificare il panorama di utenze individuate, per permettere una suddivisione in poche ma significative categorie, che costituiscano il database di utenze per il metodo di calcolo sviluppato. Per caratterizzare il riscaldamento degli edifici sono quindi state definite due tipologie di diagrammi di carico giornalieri tipici di utenze residenziali e di servizi, riportati in figure 7 e 8. I picchi di tali profili vengono ridotti per utenze di maggiori dimensioni al fine tener conto del fattore di contemporaneità nell'utilizzo delle sottoutenze.

L'anno tipo è dunque costruito considerando alcuni insiemi di giornate tipo di diversa intensità, in funzione della tipologia di utenza e della zona climatica. Si riportano due esempi in figura 9.

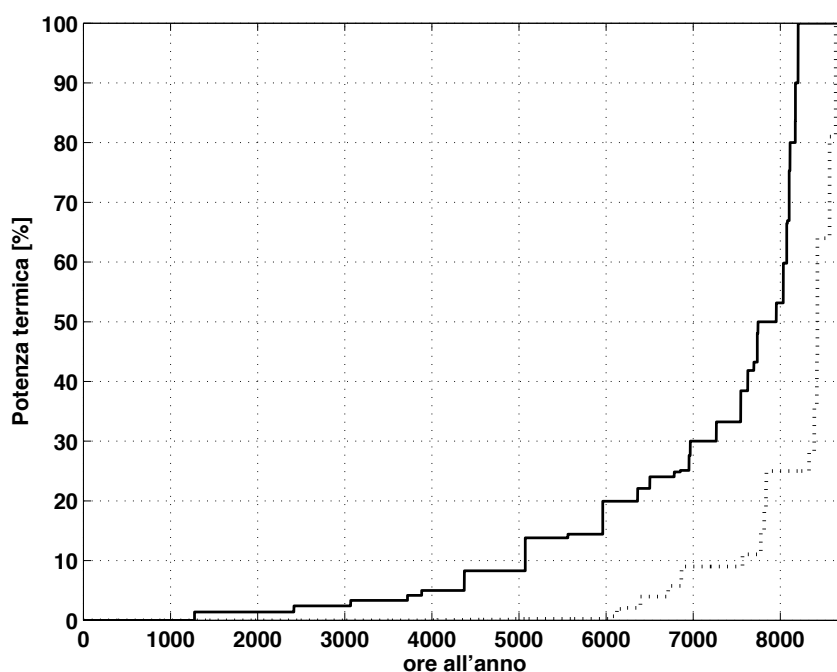


Figura 9: Esempi di anno tipo: potenza termica in funzione dell'ora dell'anno per condominio residenziale nel nord Italia (linea piena) ed un palazzo di uffici nel sud (linea tratteggiata)

Il consumo di acqua sanitaria è stato calcolato invece in funzione del numero di persone (1 persona ogni $30 m^2$ nel residenziale, ogni $15 m^2$ nei servizi) che abitano o frequentano l'edificio (50 litri al giorno nel caso residenziale, 5 litri al giorno per le utenze di servizi). Il picco di potenza termica richiesta varia tra 45 e $60 W/m^2$ a seconda della dimensione dell'utenza, ad eccezione della residenza monofamiliare che richiede circa $200 W/m^2$, dove spesso le caldaie sono considerevolmente sovradi-

mensionate. Per non complicare eccessivamente l'analisi si è scelto di non variare il picco di potenza termica in base alla zona climatica, ma prevedere la sola variazione del consumo di energia.

Come si evince dalla figura 9 generalmente la quantità di ore di esercizio ad elevate potenza è estremamente limitata. Questo risulta ancora più evidente per gli edifici destinati ad attività di servizi o dislocati nel sud Italia.

Infatti nelle utenze di dimensioni medie di servizi indistintamente dalla zona climatica si stima che per circa il 45% delle ore dell'anno non vi è richiesta di potenza termica, per il 50% delle ore la potenza richiesta è inferiore al 25% della potenza di picco e solo per il 5% delle ore è richiesta una potenza superiore al 25%.

Le utenze residenziali di dimensioni medie nel Nord Italia presentano maggiori consumi energetici e un maggior tempo di funzionamento ad elevata potenza. Infatti per circa il 20% delle ore non richiedono potenza termica, per il 65% del tempo la potenza richiesta è inferiore al 25% della potenza di picco, per il 10% compresa fra 25% e 50% del picco e solo per il 5% delle ore è richiesta una potenza superiore al 50%.

Le utenze residenziali di dimensioni medie nel Sud Italia e monofamiliari nel Nord risultano più simili alle utenze di servizi: per circa il 20% delle ore non richiedono potenza termica, per il 75% delle ore la potenza richiesta è inferiore al 25% della potenza di picco, e solo per il 5% delle ore è richiesta una potenza superiore al 25%.

In conclusione l'analisi di dettaglio ha permesso di individuare 6 tipologie di utenze e 3 zone climatiche, che combinate in 18 possibili utenze, definiscono una sintesi rappresentativa del fabbisogno richiesto in ambito urbano.

Allegato al capitolo 3

La caratterizzazione delle produzioni

Premessa

Il presente allegato integra la sintesi dell'analisi dettagliata dei vari sistemi di produzione riportata nel capitolo 3, riportando:

- l'andamento dei principali parametri energetici in funzione del carico richiesto;
- un'analisi dei sistemi di teleriscaldamento;
- un'analisi dei sistemi distribuiti della generazione di sola energia elettrica.

Lo scopo è quello di fornire un quadro tecnologico, per poter confrontare fra loro le varie tecnologie: si forniscono gli elementi per valutare le prestazioni dei vari sistemi di produzione quando vengono applicati alle diverse utenze esaminate.

Sono innanzi tutto stati analizzati i parametri energetici, ambientali ed economici più significativi per la caratterizzazione dei sistemi di produzione: caldaie, cogeneratori e pompe di calore. Nell'ipotesi di limitare l'analisi a nuove installazioni sono state prese in considerazione le tecnologie commercialmente disponibili più "avanzate", le Best Available Technologies (BAT).

Per quanto riguarda i sistemi centralizzati di riferimento si limita l'analisi alla tecnologia media utilizzata e alla migliore tecnologia oggi applicata, quali le centrali a ciclo combinato a gas naturale. A questo riguardo vengono definite le prestazioni medie del parco di generazione termoelettrico italiano. Sono inoltre presi in esame gli impianti di teleriscaldamento, sia cogenerativi che con sola produzione di calore, e gli impianti centralizzati con pompa di calore per la produzione di calore e/o per la produzione di freddo.

I dati necessari per l'intera analisi sono stati tratti dalle schede tecniche di prodotti commerciali di diversi produttori e dalla letteratura scientifica, in particolare dalla monografia di E. Macchi, S. Campanari, P. Silva "La microgenerazione a gas naturale".

Analisi dei principali parametri energetici al variare del carico termico richiesto

Si riportano di seguito, ad integrazione della sintesi dei parametri riportata nel capitolo 3, i diagrammi del principale parametro energetico delle tecnologie considerate (rendimento o COP) in funzione della potenza termica richiesta. Si noti che nel metodo di calcolo descritto nel capitolo 4 tale parametro risulta appunto dipendente dalla potenza termica richiesta, limitandone la variabilità fra il 30% ed il 100%. Per semplicità si è ipotizzato che il parametro dipende linearmente dalla potenza termica richiesta. Si ricorda che i rendimenti sono definiti considerando il potere calorico inferiore del combustibile, pertanto il rendimento termico delle caldaie a condensazione può essere maggiore del 100%.

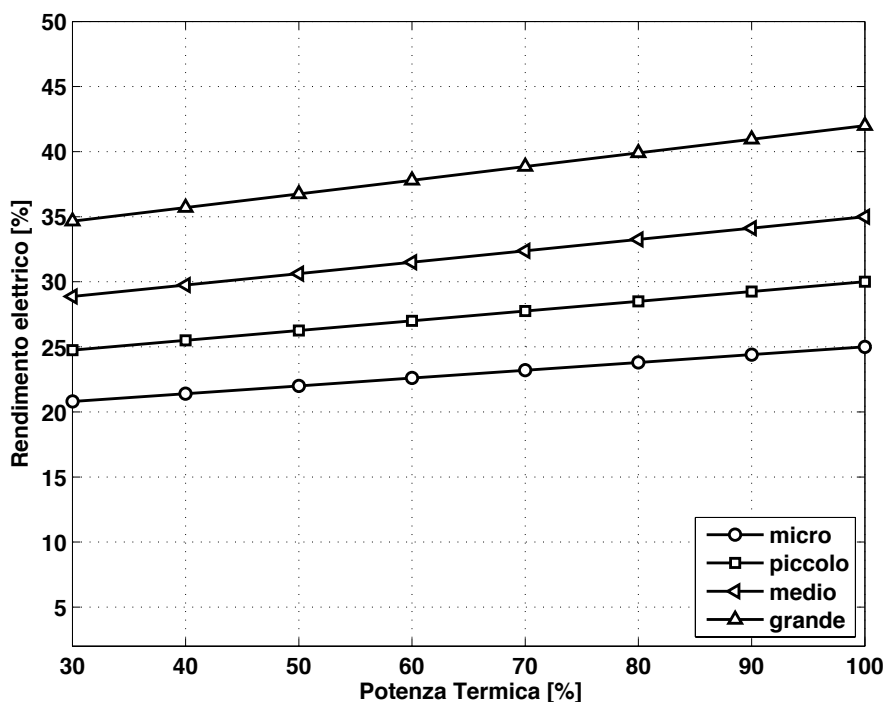


Figura 1. Rendimento elettrico di motori a combustione interna in funzione della potenza termica richiesta.

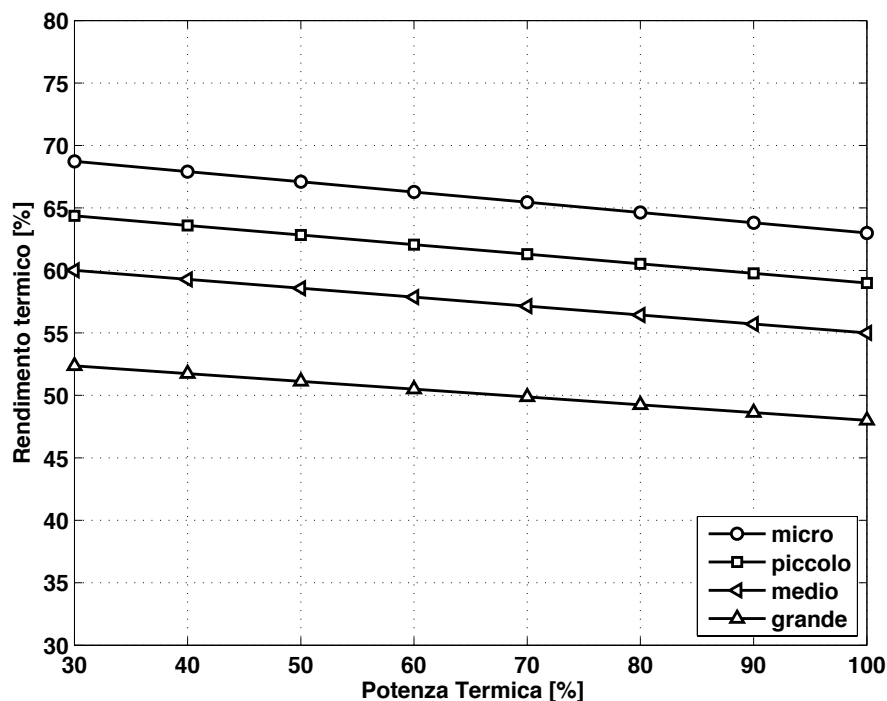


Figura 2. Rendimento termico di motori a combustione interna in funzione della potenza termica richiesta.

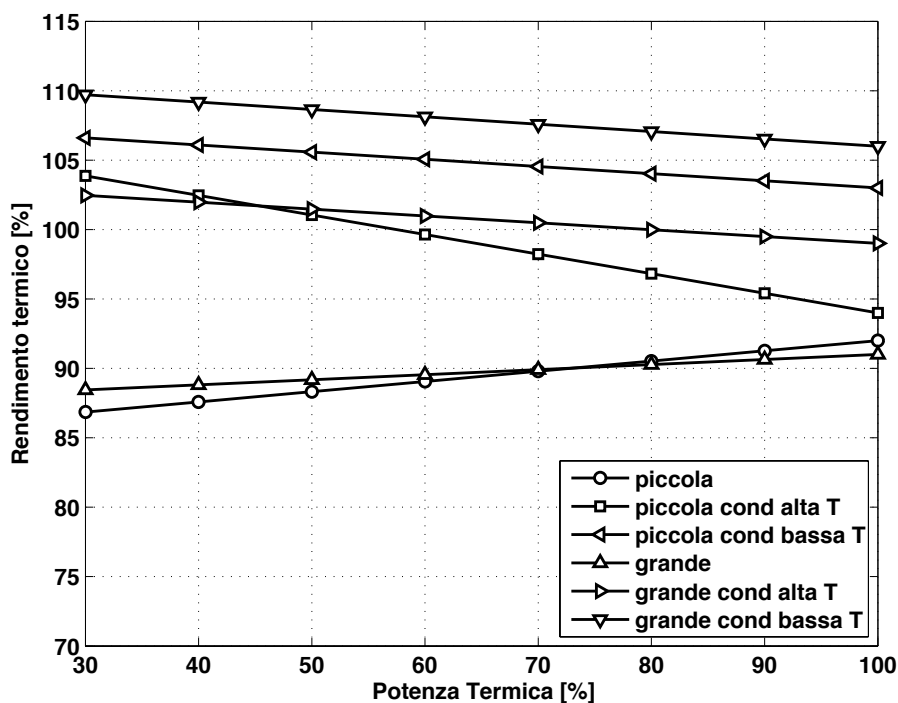


Figura 3. Rendimento termico di diverse caldaie in funzione della potenza termica richiesta.

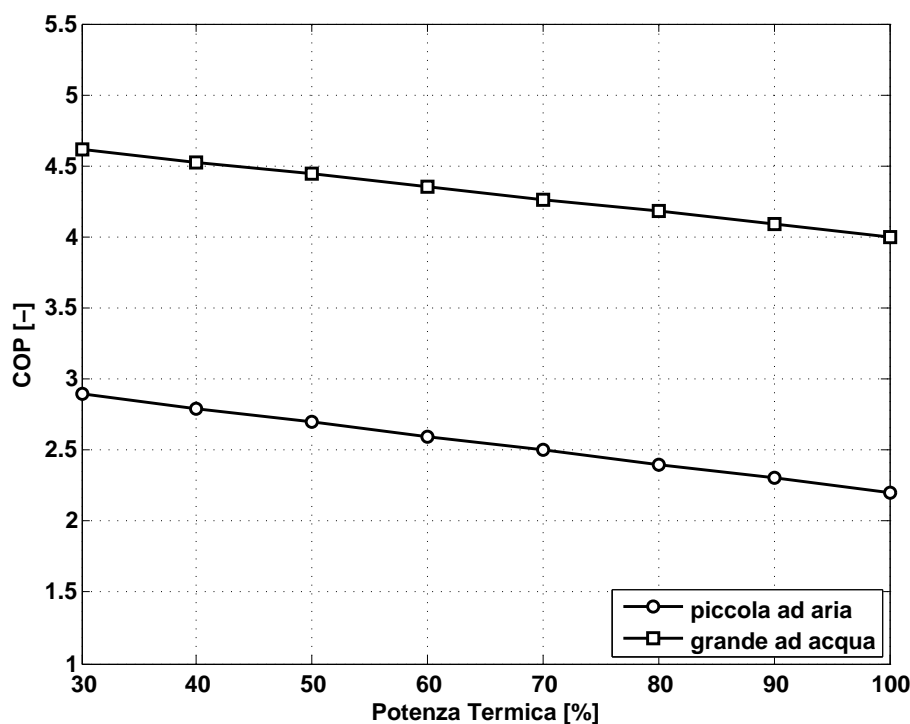


Figura 4. COP di due pompe di calore in funzione della potenza termica richiesta.

I sistemi centralizzati di teleriscaldamento

I sistemi centralizzati di teleriscaldamento sono costituiti da centrali di grossa taglia che utilizzano combustibili fossili, energie rinnovabili o energia elettrica per incrementare l'entalpia di un fluido termovettore da inviare alle utenze attraverso la rete di distribuzione. La centrale di produzione può essere una centrale di produzione di sola energia termica, oppure una centrale di produzione di energia termica ed elettrica (cogenerazione), mentre il fluido termovettore può essere acqua calda, acqua surriscaldata oppure vapore. La successiva tabella riporta la classificazione, aggiornata al 2005 in base alla tipologia di impianto, della potenza installata in Italia per scopi di teleriscaldamento (fonte: Annuario AIRU 2006) e dell'energia netta prodotta annualmente.

Mentre nella successiva tabella 2 è raccolta la ripartizione delle fonti di energia utilizzate negli impianti di teleriscaldamento.

E' ora possibile suddividere ulteriormente i consumi di energia primaria tra gli impianti per sola produzione di energia termica e gli impianti cogenerativi in modo da definire un rendimento medio nazionale della produzione e distribuzione di energia

Tipologia Impianto	Potenza Installata		Energia Netta Prodotta Annuale	
	Elettrica [MW]	Termica [MW]	Elettrica [GWh]	Termica [GWh]
Biomassa	26	158	-	-
Caldaie Ausiliarie	-	1063	-	-
Caldaie Riserva	-	1279	-	-
Cogenerativo	1203	1518	-	-
Geotermici	-	38	-	-
Pompe di Calore	-	3	-	-
Recupero Industriale	-	20	-	-
RSU	134	235	-	-
Totale	1363	4314	5035	5500

Tabella 1: Potenza nominale complessiva degli impianti di teleriscaldamento in Italia ed energia netta annualmente prodotta. Classificazione in base alla tipologia di impianto.

	GWh	%
Carbone	1237	7 %
Gas Naturale	11788	69 %
Olio Combustibile	800	5 %
Totale Fossili	13825	81 %
Biomasse	954	6 %
Geotermia	126	1 %
Recupero Industriale	50	0 %
RSU	2141	13 %
Totale Rinnovabili	3272	19 %
Totale	17097	100 %

Tabella 2: Ripartizione delle fonti di energia utilizzate negli impianti di teleriscaldamento.

termica al netto delle perdite di distribuzione (perdite di rete).

Energia primaria utilizzata [GWh]	721,26
Energia termica prodotta [GWh]	633,19
η_{TH} [%]	87,8

Tabella 3: Rendimento medio nazionale della produzione e distribuzione di energia termica per impianti di sola produzione di energia termica.

Mentre per quanto concerne gli impianti di cogenerazione, è più opportuno effettuare una classificazione in base al tipo di impianto per ricavare i rendimenti medi annuali di produzione di energia elettrica e di energia termica (fonte: Rapporto terna 2006). I dati ottenuti sono raccolti nella seguente Tabella 4:

Il vantaggio energetico, ambientale ed economico di questi impianti è indubbio

	η_{EE} [%]	η_{TH} [%]	η_{TOT} [%]
Ciclo Combinato	45,9%	10,8%	56,3%
Motore a Combustione Interna	35,8%	28,8%	54,6%
Turbina a Gas	30,9%	38,7%	69,6%
Turbina a Vapore a Contropressione	19,4%	59,2%	68,6%
Turbina a Vapore a Condensazione	23,4%	31,2%	54,6%
Valore Medio	38,3 %	21,7 %	60 %

Tabella 4: Rendimento medio nazionale della produzione di energia elettrica e di energia termica per impianti cogenerativi.

poiché la produzione centralizzata di energia in impianti di grande taglia permette di ottenere, a parità di energia prodotta, risparmi sull'energia primaria utilizzata e di effettuare trattamenti sugli effluenti gassosi più efficaci di quelli che è possibile ottenere ed effettuare con la produzione distribuita. Nella seguente Tabella 5 sono riportati i dati di risparmio di energia primaria e di emissioni inquinanti evitate ottenuti confrontando, a parità di energia termica fornita, i sistemi di teleriscaldamento con i sistemi di produzione distribuita.

Risparmio Energia Primaria	GWh	5510
Risparmio Energia Primaria	ktep	474
Emissioni evitate NO _x	t	983
Emissioni evitate SO ₂	t	9992
Emissioni evitate CO ₂	t	1847·10 ³

Tabella 5: Risparmi di energia primaria e di emissioni inquinanti degli impianti di teleriscaldamento (rendimento elettrico medio del sistema sostituito $\eta_{ee}^* = 0.4$, rendimento termico medio del sistema sostituito $\eta_{th}^* = 0.8$).

Mentre nella successiva Tabella 6 sono raccolti i dati di emissioni degli impianti di teleriscaldamento suddivisi tra emissioni degli impianti di sola produzione di energia termica ed emissioni degli impianti cogenerativi:

	NO _x [t]	SO ₂ [t]	CO ₂ [t]
Impianti di solo riscaldamento	23	6,8	23,6·10 ³
Impianti cogenerativi	4230	2123	3043,3·10 ³
Totale	4253	2130	3067·10³

Tabella 6: Emissioni delle centrali di teleriscaldamento urbano.

Le quali, rese specifiche al kWh di energia prodotta (energia elettrica per le centrali di cogenerazione ed energia termica per le centrali di solo teleriscaldamento), divengono:

	NO _x [mg/kWh]	SO ₂ [mg/kWh]	CO ₂ [g/kWh]
Impianti di solo riscaldamento	36	11	384
Impianti cogenerativi	793	398	571

Tabella 7: Emissioni specifiche delle centrali di teleriscaldamento urbano.

Per quanto concerne la tariffa di vendita dell'energia termica prodotta, ovvero il costo dell'energia sostenuto dall'utenza, questa è tipicamente compresa entro l'intervallo 0.07 €/kWh ÷ 0.1 €/kWh, con baricentro intorno agli 0.08 €/kWh. Occorre tuttavia osservare che tale tariffa spesso non deriva dall'analisi dei costi di produzione centralizzata di energia termica ma origina dalla volontà di incrementare il parco delle utenze allacciate alla rete di teleriscaldamento che spingono i gestori della rete stessa ad applicare tariffe, inferiori rispetto alle pre-esistenti alla realizzazione della rete.

I sistemi centralizzati per la produzione del freddo

Per quanto concerne i sistemi centralizzati di raffrescamento, occorre distinguere tra i sistemi che distribuiscono direttamente acqua refrigerata ed i sistemi che distribuiscono un fluido termovettore ad alta temperatura con produzione locale di freddo. Nel primo caso, nella centrale di produzione è possibile utilizzare sia la tecnologia delle macchine a compressione di vapore, sia la tecnologia delle macchine ad assorbimento, mentre nel secondo caso l'unica tecnologia disponibile è quella delle macchine ad assorbimento. A livello nazionale, l'importanza di questa tecnologia è comunque modesta, siccome l'energia complessivamente fornita tramite questa tecnologia è circa pari al 1.8% dell'energia complessivamente fornita tramite riscaldamento urbano, ad indicazione dei problemi tecnico-economici cui va incontro la tecnologia del raffrescamento urbano. I dati relativi all'anno 2005 della produzione centralizzata di acqua refrigerata sono raccolti nella successiva tabella 8:

Nel caso di produzione con macchine ad assorbimento, il fluido che giunge al generatore è acqua calda, acqua surriscaldata oppure, in un unico caso, vapore.

Unità a compressione di vapore	n°	12
Potenza frigorifera complessiva installata	MW	26,4
Energia elettrica consumata	MWh	10,2
Energia frigorifera prodotta	MWh	25,2
EER medio	-	2,46
Unità ad assorbimento	n°	13
Potenza frigorifera complessiva installata	MW	20,6
Energia termica consumata	MWh	15,6
Energia frigorifera prodotta	MWh	9,8
EER medio	-	0,63
Totale energia frigorifera	MWh	34

Tabella 8: Dati del teleraffrescamento con produzione centralizzata di acqua refrigerata².

Nella tabella successiva sono invece raccolti i dati relativi al caso di distribuzione di fluido termovettore ad alta temperatura (acqua calda o surriscaldata) ed utilizzo di macchine ad assorbimento locali:

Unità ad assorbimento	n°	91
Potenza frigorifera complessiva installata	MW	86
Energia termica consumata	MWh	101
Energia frigorifera prodotta	MWh	60,4
EER medio	-	0,60

Tabella 9: Dati relativi alla distribuzione di fluido termovettore ad alta temperatura con produzione locale di acqua refrigerata.

I sistemi distribuiti per la sola produzione di Energia Elettrica

I sistemi distribuiti per la sola produzione di energia elettrica sono rappresentati da:

- Generazione Distribuita (GD): l'insieme degli impianti di generazione con potenza nominale inferiore a 10 MW;
- Piccola Generazione (PG): il sottinsieme della GD costituito dagli impianti con capacità di generazione elettrica non superiore a 1 MW.

La GD, sia per potenziale collocazione, sia per dimensioni del singolo impianto, è quella che può essere inserita nel contesto urbano. Come si vedrà nel seguito, la GD

per la sola produzione di energia elettrica è a tutt'oggi poco diffusa in ambito urbano e si ritiene poco probabile un cambiamento nel medio termine di questa situazione per i motivi che verranno riassunti più avanti.

Per le considerazioni che seguono, si è fatto riferimento alla Delibera AEEG n. 328/07 "Monitoraggio dello sviluppo degli impianti di generazione distribuita per l'anno 2005". Le figure riportate nel presente paragrafo, sono tutte tratte dalla medesima fonte. Ai sensi dell'articolo 1, comma 89, della legge n. 239/04, l'Autorità è tenuta a effettuare annualmente il monitoraggio dello sviluppo degli impianti di microgenerazione e ad inviare una relazione sugli effetti della generazione distribuita sul sistema elettrico, al Parlamento, al Ministro delle Attività Produttive (ora Ministro dello Sviluppo Economico), al Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, al Ministro dell'Interno ed alla Conferenza unificata. Considerando la base di informazioni utilizzata per la relazione, essa costituisce il riferimento più completo e attendibile disponibile in Italia.

Tecnologie per la GD

Le tecnologie per la generazione distribuita di sola energia elettrica sono classificabili come nella seguente tabella 10.

Produzione di tipo termoelettrico	Turbine a gas	Turbine a gas tradizionali
		Microturbine
	Turbine a vapore	Turbine a vapore a condensazione
		Turbine a condensazione per usi geotermici
	Cicli combinati	Cicli combinati
	Turboespansori	Turboespansori (recupero energia in reti gas)
	Motori a combustione interna	Motori a combustione interna
Motori Stirling	Motori Stirling	
Produzione di tipo non termoelettrico	Produzione di tipo non termoelettrico	
	Impianti idroelettrici	
	Impianti eolici	
	Impianti fotovoltaici	

Tabella 10: Tecnologie di GD per la produzione di sola energia elettrica

Diffusione e localizzazione delle tecnologie termoelettriche

La ripartizione numerica delle sezioni di impianto tra le tecnologie termoelettriche sopra elencate, è mostrata nelle seguenti figure (Delibera 328/07).

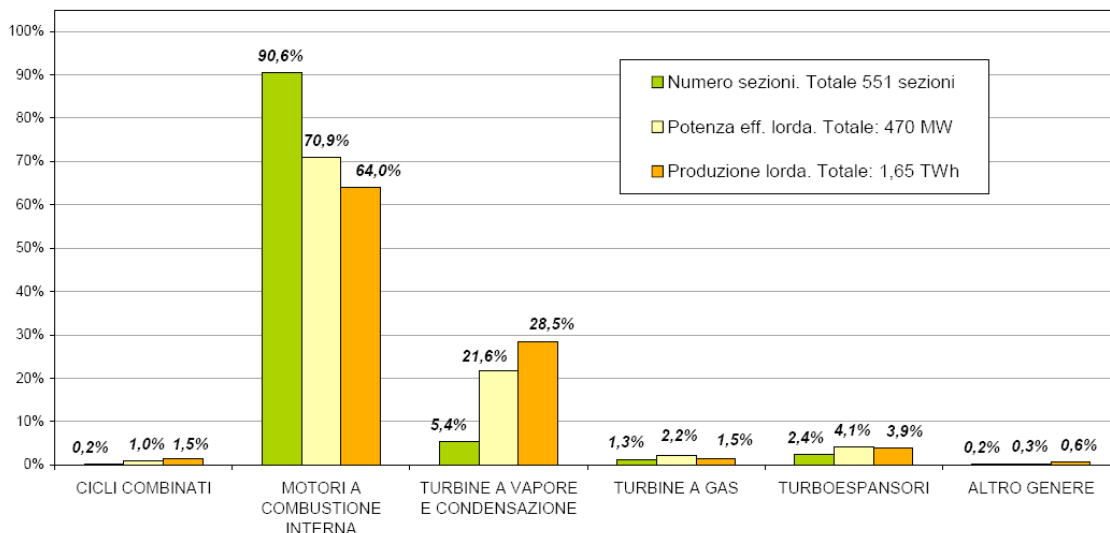


Figura 1. Ripartizione delle sezioni degli impianti termoelettrici tra le diverse tecnologie utilizzate per la sola produzione di energia elettrica nell'ambito della GD

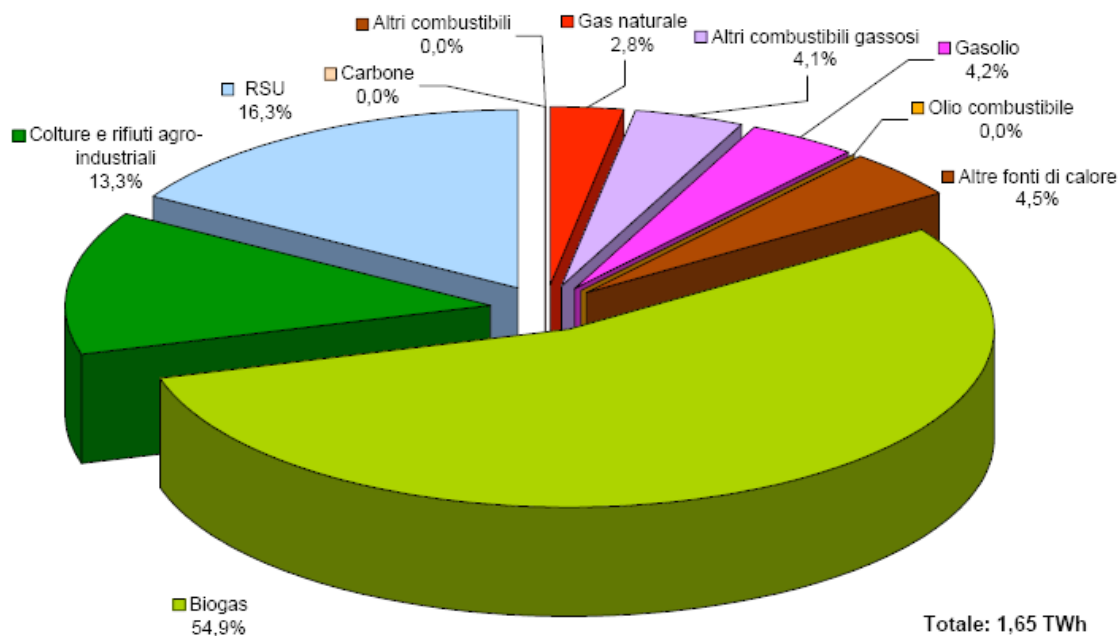


Figura 2. Ripartizione delle sezioni degli impianti termoelettrici tra le diverse tecnologie utilizzate per la sola produzione di energia elettrica nell'ambito della PG

Un quadro illuminante dal punto di vista della localizzazione di questi impianti si può dedurre indirettamente dalle seguenti due figure che illustrano, per la GD

da termoelettrico per la sola produzione di energia elettrica, la ripartizione tra le diverse fonti energetiche.

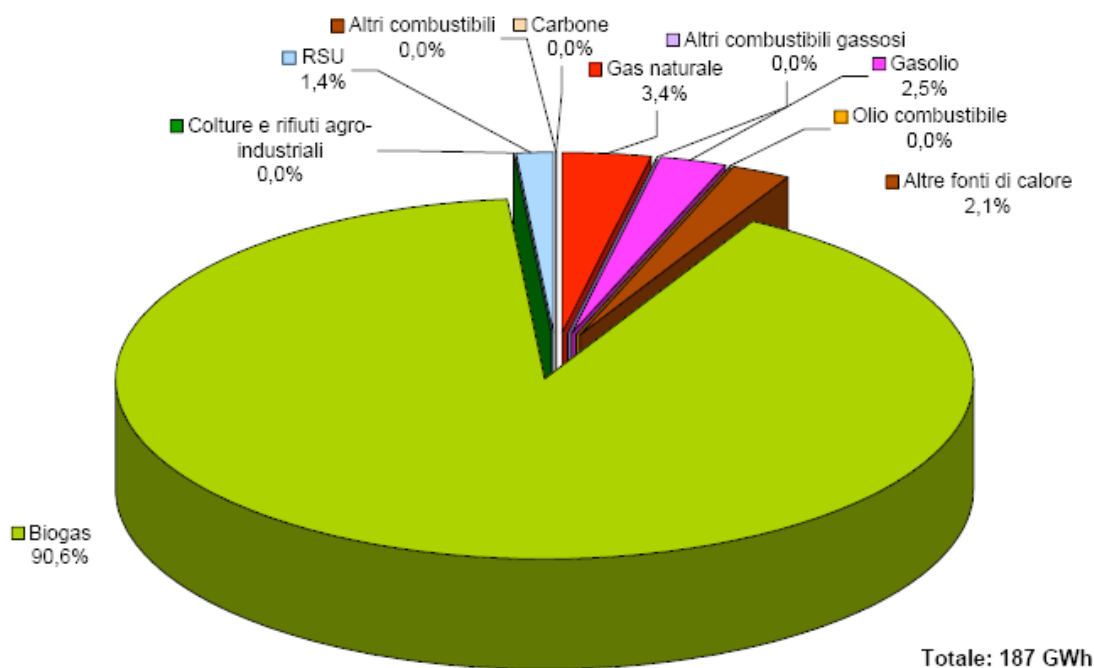


Figura 3. Produzione di energia elettrica dalla diverse fonti utilizzate nell'ambito della GD termoelettrica

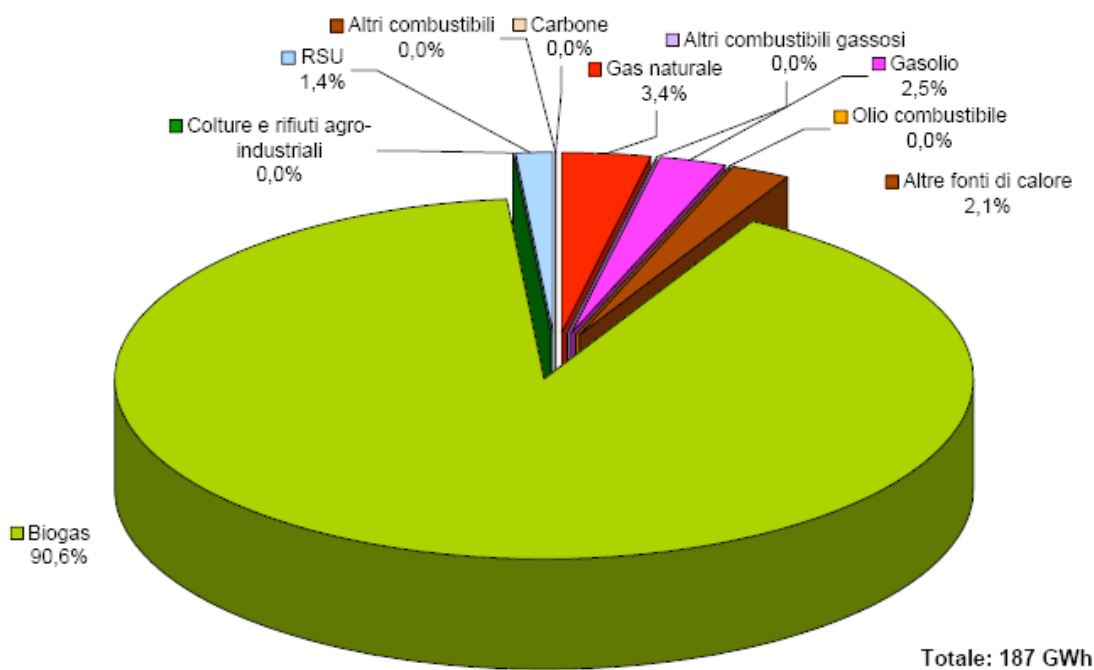


Figura 4. Produzione di energia elettrica dalla diverse fonti utilizzate nell'ambito della PG termoelettrica

E' evidente che la produzione di sola energia elettrica con tecnologia termoe-

lettrica si localizza in gran parte sulla base della disponibilità di biogas, colture, rifiuti agroindustriali e RSU. Il rilievo statistico dimostra come per la sola produzione di energia elettrica, gli impianti di GD termoelettrica vengano, in modo molto razionale, installati prevalentemente in ambiti extraurbani, mentre, in ambito urbano è molto più facile reperire utenze termiche per sfruttare la opportunità della cogenerazione.

Diffusione e localizzazione della GD non termoelettrica

Come si può vedere dalla seguente figura il ruolo delle tecnologie non termoelettriche è comunque piuttosto rilevante nel complesso della GD per il contributo degli impianti idroelettrici che, con la liberalizzazione del mercato elettrico e con il meccanismo dei certificati verdi, hanno visto negli ultimi anni una notevole ripresa, non ancora esaurita.

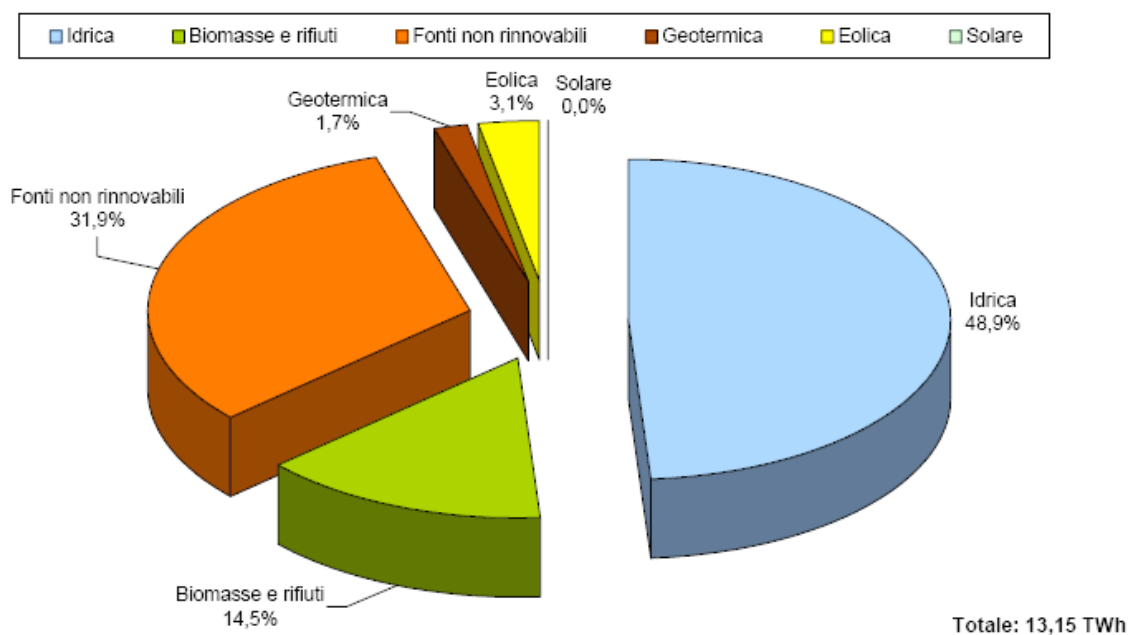


Figura 5. Produzione di energia elettrica dalla diverse fonti nell'ambito della GD

Questa figura conferma ancora di più l'affermazione che la generazione distribuita di sola energia elettrica, obbedendo al principio di localizzarsi sulla base della disponibilità delle risorse, si applica prevalentemente in ambito non urbano. Potrebbe sfuggire a questa logica la produzione di energia elettrica da fonte solare che avrebbe una potenzialità di diffusione in ambito urbano. Tale diffusione risulta però problematica in quanto, come ribadito ai capitoli 3 e 5 la applicabilità in ambito urbano risulta estremamente difficile.

Allegato al capitolo 4

Il metodo di calcolo

Effetti del dimensionamento su IRE integrato

In figura 1 è riportato un esempio dell'andamento dell'indice IRE integrato per un sistema energetico costituito da un motore a combustione interna, come tecnologia principale, ed una caldaia integrativa, al variare del dimensionamento della potenza del motore, inteso come la frazione della potenza nominale di quest'ultimo rispetto alla potenza massima richiesta dall'utenza. L'utenza dell'esempio è di un grande complesso residenziale del nord Italia, riferito al parco BAT, si veda capitolo 2. È evidente come il valore dell'indice IRE_{IN} diminuisca al decrescere della dimensione del sistema cogenerativo. Questa tendenza è ancora più intensa per un dimensionamento inferiore a circa il 30%, poiché maggiore risulta il contributo della tecnologia integrativa, che presenta prestazioni inferiori, simili alle caratteristiche del sistema di riferimento.

Poco variabile risulta invece la variazione dell'IRE integrato per valori del dimensionamento maggiori del 30%: un dimensionamento elevato della tecnologia principale è penalizzata da un più esteso periodo di funzionamento ai carichi parziali.

In figura 2 è riportata la frazione di energia termica prodotta dal sistema integrativo al variare del dimensionamento del motore, per il caso appena menzionato. Si noti come ad un dimensionamento del 30% corrisponda una frazione di energia termica prodotta del motore pari al 65%.

In figura 3 è infine riportato il costo dell'energia termica prodotta al variare del dimensionamento del cogeneratore: esso cresce circa linearmente. Pertanto il dimensionamento del sistema cogenerativo più favorevole sembra essere pari a circa 30% del picco di potenza termica richiesta, perché tale valore rappresenta un interessante compromesso fra il contenimento dei costi ed il risparmio energetico. Da un'analisi di dettaglio dell'accoppiamento fra le utenze e le tecnologie definite nei capitoli 2 e 3 risultano valori analoghi, che sono inoltre confermati da quanto riportato nella letteratura tecnico-scientifica.

Pertanto queste analisi rappresentano una conferma della validità del metodo di calcolo utilizzato nel valutare le effettive prestazioni energetiche, influenzate anche

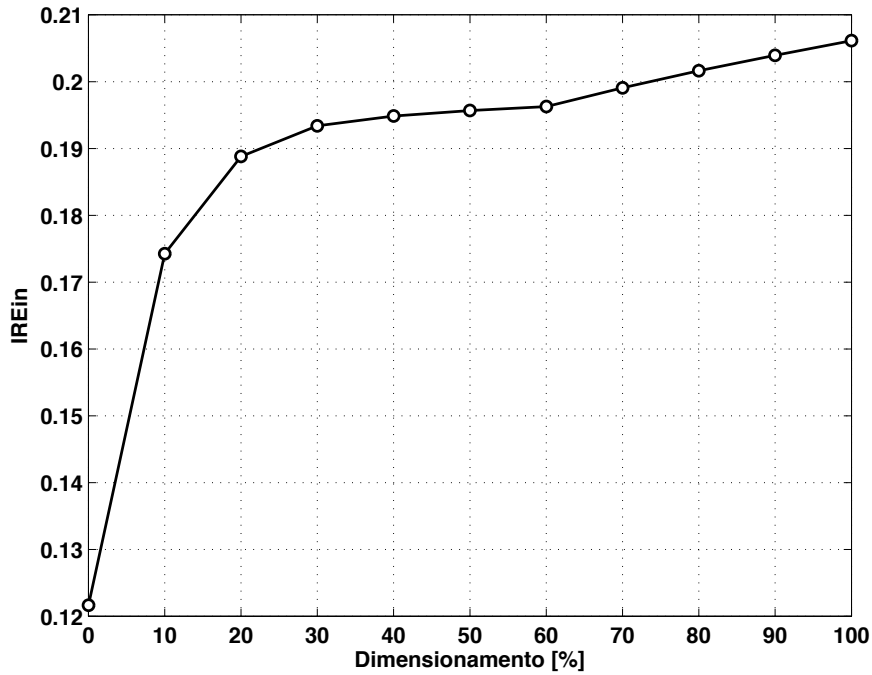


Fig. 1. IRE integrato calcolato per un motore a combustione interna cogenerativo di grandi dimensioni, integrato con una caldaia a condensazione, al variare del dimensionamento del motore.

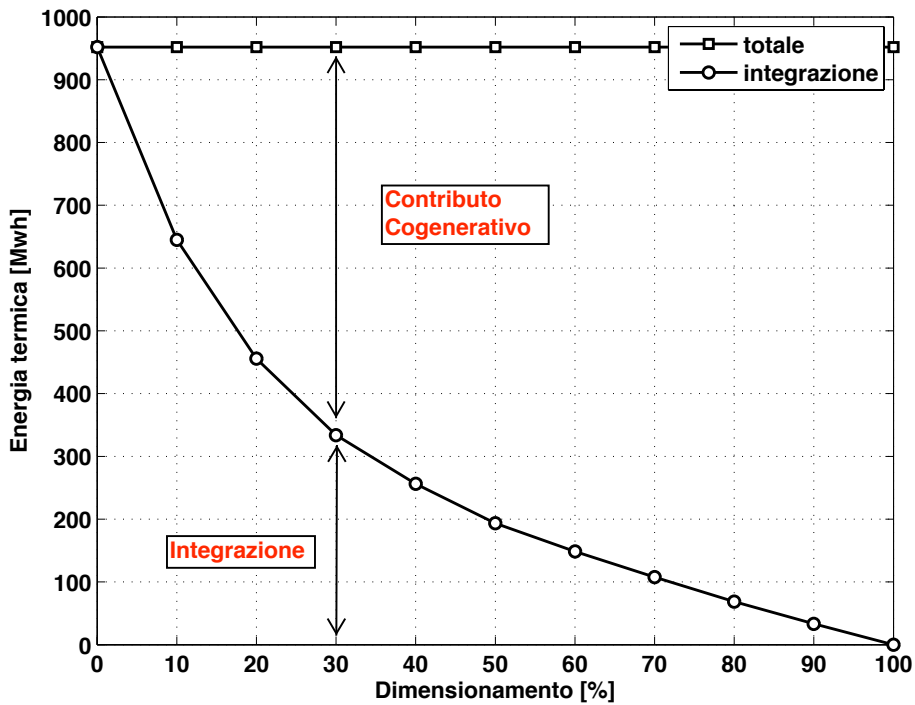


Fig. 2. Contributo al soddisfacimento del fabbisogno di energia termica del sistema integrativo al variare del dimensionamento del cogeneratore.

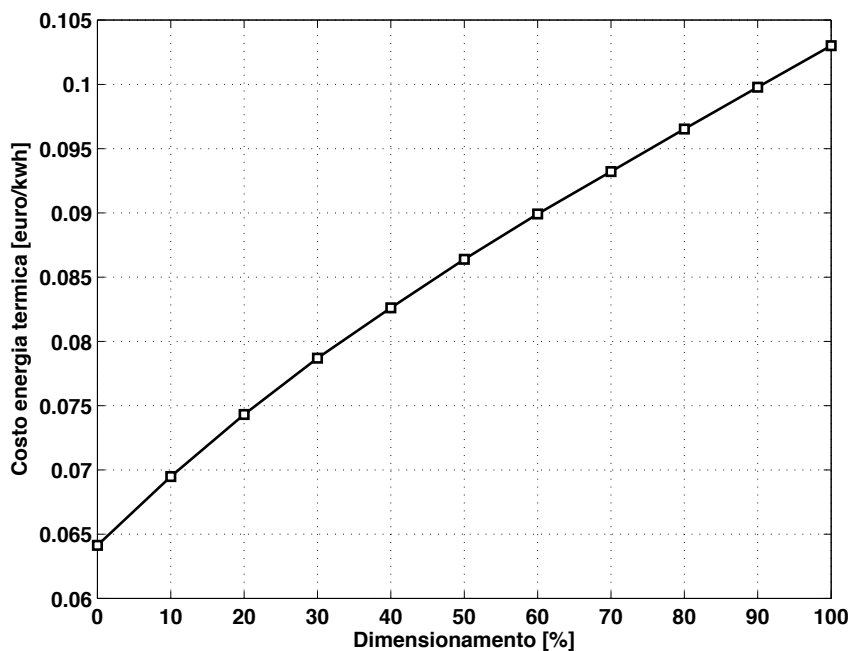


Fig. 3. Costo dell'energia termica prodotta al variare del dimensionamento del cogeneratore.

dall'esercizio ai carichi parziali e dalla presenza del sistema integrativo.

Effetto dell'utenza su IRE integrato

In figura 4 è riportato il confronto del sistema visto precedentemente applicato a due differenti utenze residenziale e di uffici. L'utenza domestica presenta una maggior variabilità di funzionamento rispetto all'utenza commerciale, pertanto l'indice IRE_{IN} risulta inferiore per un elevato dimensionamento del sistema cogenerativo, condizione penalizzata da un frequente esercizio ai carichi parziali.

Effetto delle tecnologie su IRE integrato

La metodologia consente di valutare diverse combinazioni di tecnologie principali ed integrative, sia di tipo cogenerativo, in figura 5 l' IRE_{IN} è calcolato per un sistema a pompa di calore, integrato con una caldaia a condensazione, per soddisfare come utenza un condominio residenziale del nord Italia, riferito a parco BAT. Si osservi come tale parametro cresca considerevolmente al variare del dimensionamento anche ad alti valori di quest'ultimo, a differenza di quanto visto per il cogeneratore. In

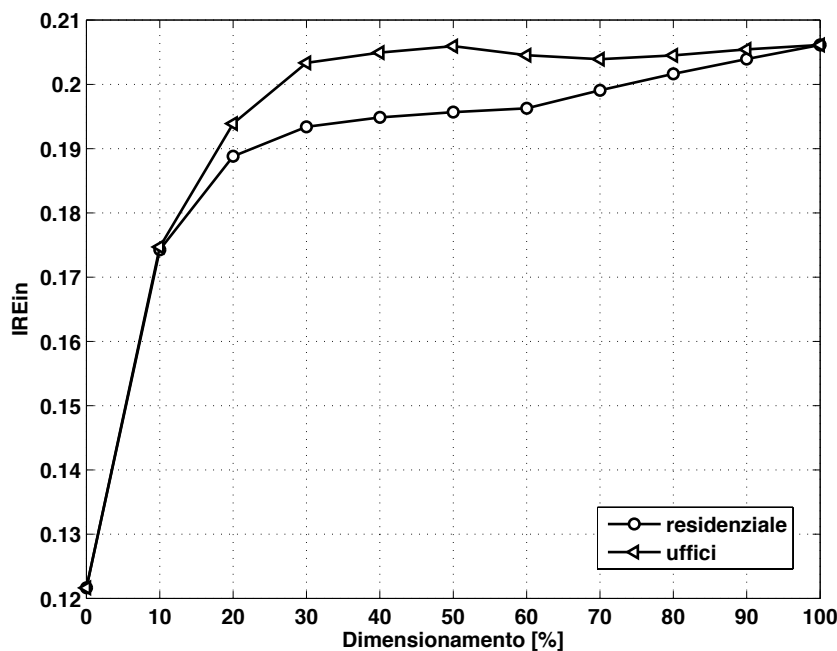


Fig. 4. IRE integrato calcolato per un motore a combustione interna cogenerativo di grandi dimensioni, integrato con una caldaia a condensazione, al variare del dimensionamento del motore, per due differenti tipologie di utenza.

figura 6 è riportato il costo dell'energia termica prodotta: la crescita risulta meno marcata per alti dimensionamenti.

Queste osservazioni portano a concludere che il miglior dimensionamento della pompa di calore sia prossimo al 100% del picco di potenza termica richiesta.

Si noti inoltre, figura 7, che al variare del costo di realizzazione del sistema di utilizzo dell'acqua di falda, compreso fra 60-250 €/kW, il costo dell'energia non cambia significativamente.

Effetto delle tariffe di vendita dell'energia elettrica

Come ritratto nel capitolo 4 il palazzo ed il complesso di uffici, se prevedono un solo contratto di scambio dell'energia elettrica, e l'utenza monofamiliare possono consumare una quota anche rivelante dell'energia elettrica prodotta, a differenza di quanto avviene attualmente per i condomini residenziali. Essa sarà dunque valorizzata ad un valore intermedio fra il costo di acquisto dell'energia elettrica (circa 0.18 €/kWh) e del prezzo corrisposto dal GSE per lo scambio sul posto (circa 0.10 €/kWh), in funzione della frazioni autoconsumate ed immesse in rete.

In figura 8 e 9 sono riportati gli andamenti per il nord Italia del costo dell'energia

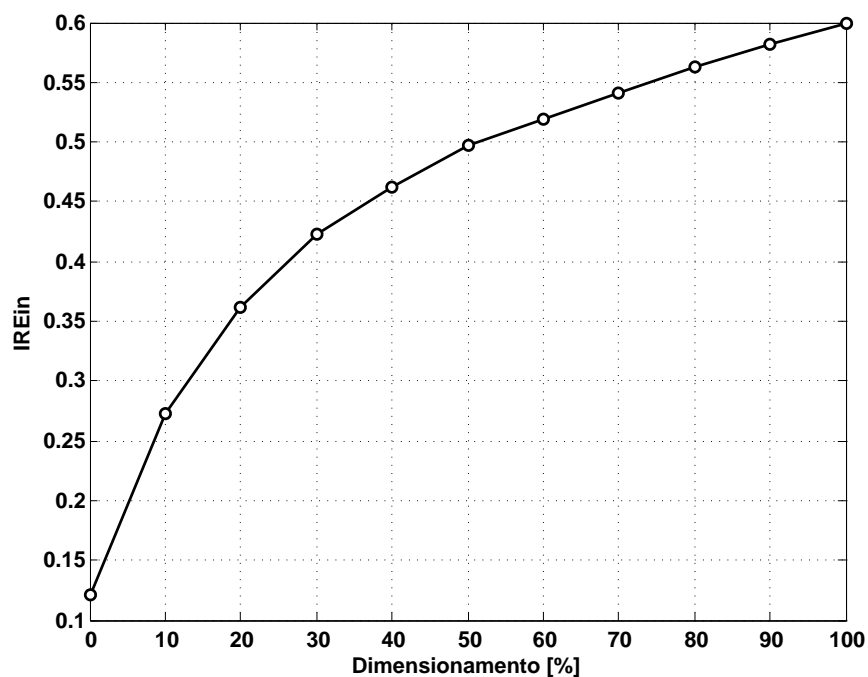


Fig. 5. IRE integrato calcolato per un sistema a pompa di calore di grandi dimensioni al variare del dimensionamento, integrata con una caldaia a condensazione

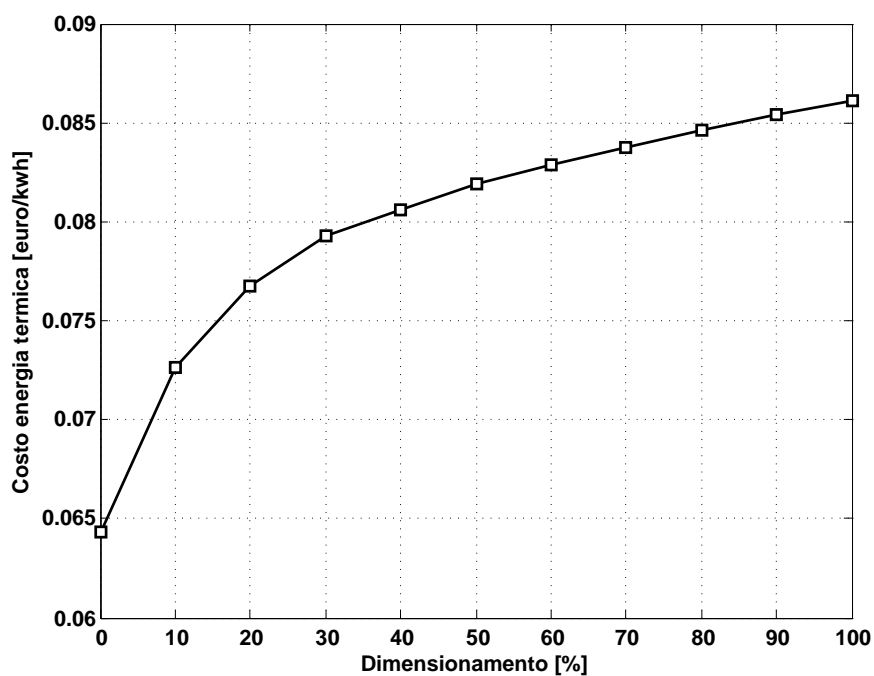


Fig. 6. Costo dell'energia termica prodotta al variare del dimensionamento della pompa di calore, integrata con una caldaia a condensazione

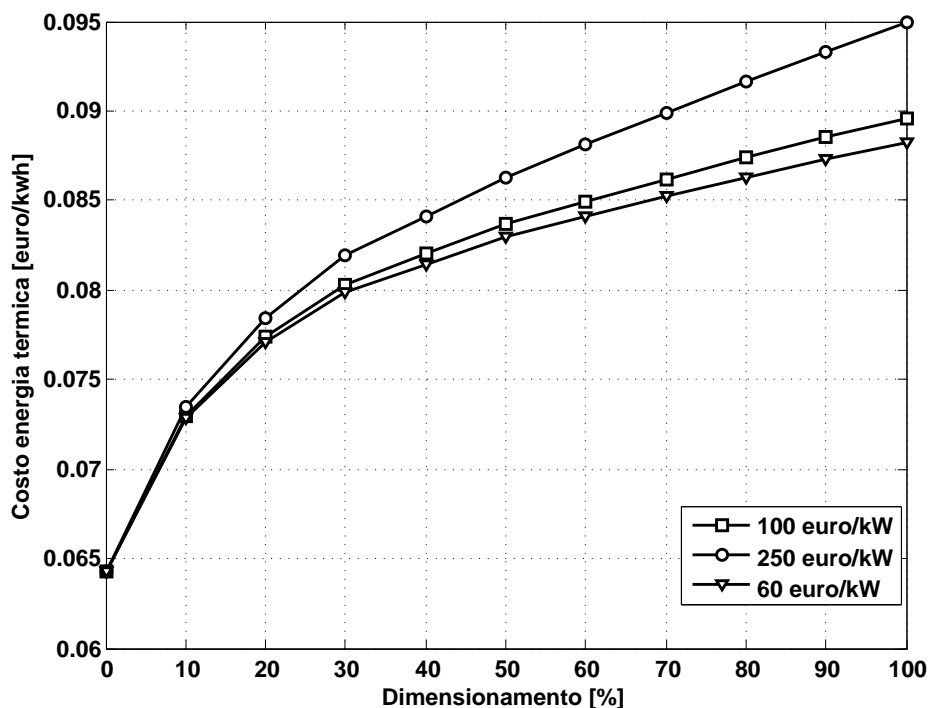


Fig. 7. Costo dell'energia termica prodotta al variare del dimensionamento della pompa di calore, integrata con una caldaia a condensazione, variando il costo di realizzazione del sistema per l'utilizzo di acqua di falda.

termica prodotta da un motore a combustione interna al variare della valorizzazione dell'energia elettrica prodotta fra i due estremi precedentemente indicati. Risulta evidente come incrementare la quota di autoconsumo possa favorire considerevolmente la cogenerazione nei palazzi di uffici, mentre tale tecnologia risulta in ogni caso poco significativa per la residenza monofamiliare.

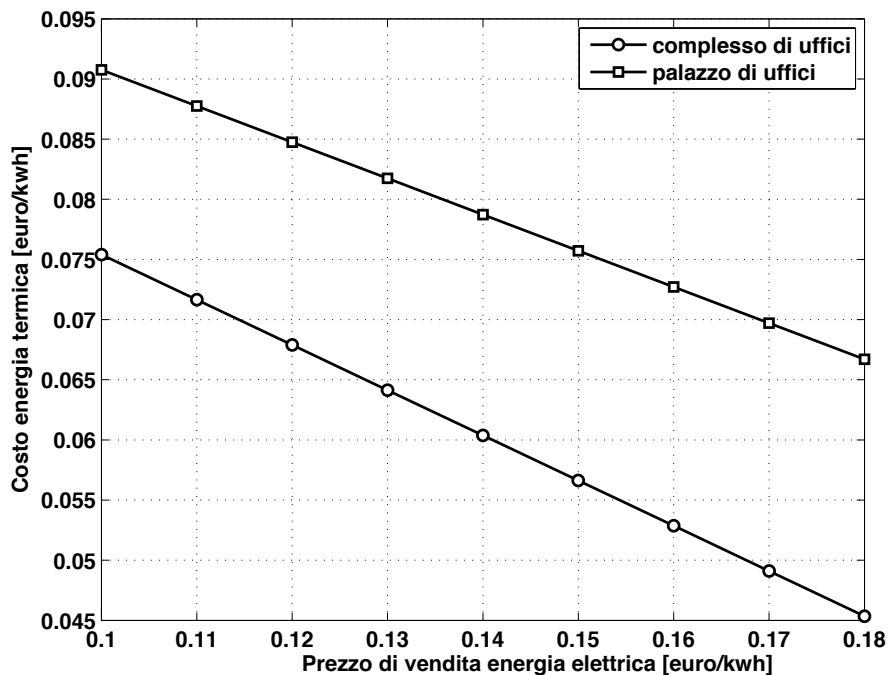


Fig. 8. Costo dell'energia termica prodotta da un motore a combustione interna al variare del prezzo di vendita dell'energia elettrica per palazzo e complesso di uffici

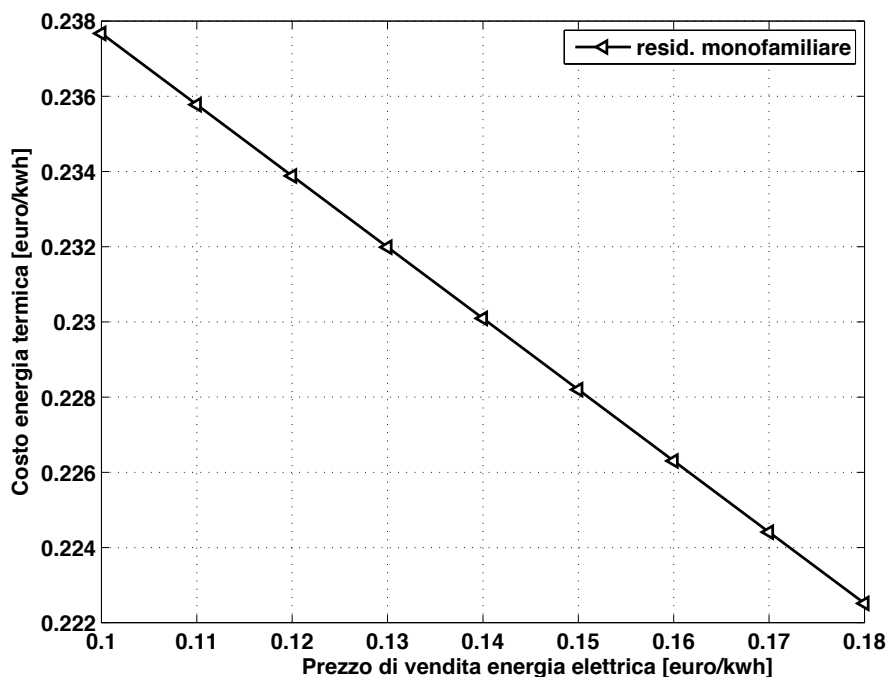


Fig. 9. Costo dell'energia termica prodotta da un motore a combustione interna al variare del prezzo medio di vendita dell'energia elettrica per residenza monofamiliare

Allegato al capitolo 5

I risultati

I risultati ottenuti con il metodo di calcolo sono presentati nelle seguenti tabelle.

Tabella 1. Nord Italia con riferimento BAU ($\eta_e^* = 0.40$, $\eta_{th}^* = 0.8$).

Tabella 2. Nord Italia con riferimento BAT ($\eta_e^* = 0.49$, $\eta_{th}^* = 0.9$).

Tabella 3. Centro Italia con riferimento BAU ($\eta_e^* = 0.40$, $\eta_{th}^* = 0.8$).

Tabella 4. Centro Italia con riferimento BAT ($\eta_e^* = 0.49$, $\eta_{th}^* = 0.9$).

Tabella 5. Sud Italia con riferimento BAU ($\eta_e^* = 0.40$, $\eta_{th}^* = 0.8$).

Tabella 6. Sud Italia con riferimento BAT ($\eta_e^* = 0.49$, $\eta_{th}^* = 0.9$).

L'analisi dell'influenza del valore dell'energia elettrica sul costo di produzione dell'energia termica, di cui è stata riportato il caso del Nord Italia nel capitolo 5, è invece sintetizzata nelle figure 1-12.

Tabella 1 NORD BAU		P max kWth	Dim. Cog. %	EP tot MWh/anno	EP int MWh/anno	ET tot MWh/anno	ET int MWh/anno	EE MWh/anno	IRE in %	η ex %	PES MWh/anno	Costo lordo euro/kWh th	Ricavo EE euro/kWh th	Costo netto euro/kWh th	Defisc. GN euro/kWh th	C. Bianchi euro/kWh th	Ore piene h/anno	NOx mg/kWh	NOx evit. mg/kWh	CO mg/kWh	CO evit. mg/kWh	CO ₂ g/kWh	CO ₂ evit. g/kWh
UTENZA MONOFAMILI- PMAX 25 KWth	Caldia Piccola	25	100%	11.0	0.0	9.6	0	0	0.079	13.2%	0.9	0.083	0.000	0.083	0.000	-0.001	382.8	200	0	40	0	237	0
	MCI micro + Cald. Piccola	25	30%	12.8	4.1	9.6	3.6	1.8	0.227	25.6%	3.7	0.257	-0.027	0.230	-0.008	-0.002	382.8	138	-123	28	-19	276	-140
	Cal. Picc. Cond. AT	25	100%	9.2	0.0	9.6	0	0	0.230	15.8%	2.7	0.073	0.000	0.073	0.000	-0.002	382.8	130	0	40	0	199	0
	Cal. Picc. Cond. BT	25	100%	9.0	0.0	9.6	0	0	0.250	16.3%	3.0	0.072	0.000	0.072	0.000	-0.002	382.8	80	0	20	0	193	0
	PdC Piccola aria BT	25	100%	8.3	0.0	9.6	0	0	0.304	17.5%	3.6	0.128	0.000	0.128	0.000	-0.002	382.8	744	0	114	0	180	0
UTENZA CONDOMINI O PMAX 200 KWth	Caldia Grande	200	100%	321.4	0.0	284.3	0	0	0.096	13.5%	34.0	0.073	0.000	0.073	0.000	-0.001	1421.4	80	0	20	0	233	0
	MCip + Cald. Grande	200	30%	390.0	98.0	284.3	98.9	74.8	0.283	30.3%	153.8	0.112	-0.021	0.091	-0.011	-0.003	1421.4	49	-171	36	-26	283	-195
	Cald. G. Cond. AT	200	100%	277.4	0.0	284.3	0.0	0.0	0.219	15.6%	77.9	0.064	0.000	0.064	0.000	-0.002	1421.4	80	0	20	0	201	0
	Cald. G. Cond. BT	200	100%	259.1	0.0	284.3	0.0	0.0	0.271	16.7%	96.2	0.060	0.000	0.060	0.000	-0.002	1421.4	80	0	20	0	188	0
	PdC Grande acqua BT	200	100%	155.1	0.0	284.3	0.0	0.0	0.564	27.9%	200.2	0.090	0.000	0.090	0.000	-0.004	1421.4	409	0	63	0	113	0
GRANDE COMPLESSO PMAX 600 KWth	Cald. G. Cond. AT	600	100%	928.9	0.0	951.8	0.0	0.0	0.219	15.6%	260.9	0.064	0.000	0.064	0.000	-0.002	1586.4	80	0	20	0	201	0
	MCim + Cald. G. Cond. AT	600	30%	1379.2	329.5	951.8	333.8	317.7	0.307	33.6%	610.8	0.105	-0.027	0.079	-0.014	-0.004	1586.4	52	-217	36	-33	299	-247
	PdC Grande acqua BT	600	100%	519.4	0.0	951.8	0.0	0.0	0.564	27.9%	670.4	0.089	0.000	0.089	0.000	-0.004	1586.4	409	0	63	0	113	0
	Caldia Grande	3000	100%	5870.9	0.0	5193.0	0.0	0.0	0.096	13.5%	620.3	0.073	0.000	0.073	0.000	-0.001	1731.0	80	0	20	0	233	0
	TELERISC. PMAX 3 MWth	3000	30%	8683.3	1990.9	5193.0	1774.9	2464.6	0.316	37.5%	4016.1	0.115	-0.038	0.077	-0.021	-0.005	1731.0	59	-308	46	-47	345	-351
UTENZA CONDOMINI O UFFICI PMAX 200 KWth	MCip + Cald. Grande	200	100%	2833.7	0.0	5193.0	0.0	0.0	0.564	27.9%	3657.5	0.089	0.000	0.089	0.000	-0.004	1731.0	409	0	63	0	113	0
	Caldia Grande	200	100%	244.5	0.0	216.3	0	0	0.096	13.5%	25.8	0.074	0.000	0.074	0.000	-0.001	1081.5	80	0	20	0	233	0
	MCip + Cald. Grande	200	30%	307.2	61.4	216.3	62.4	65.1	0.293	31.9%	127.1	0.121	-0.042	0.079	-0.013	-0.004	1081.5	53	-196	39	-30	293	-223
	Cald. G. Cond. AT	200	100%	211.1	0.0	216.3	0.0	0.0	0.219	15.6%	59.3	0.065	0.000	0.065	0.000	-0.002	1081.5	80	0	20	0	201	0
	Cald. G. Cond. BT	200	100%	197.2	0.0	216.3	0.0	0.0	0.271	16.7%	73.2	0.061	0.000	0.061	0.000	-0.002	1081.5	80	0	20	0	188	0
COMPLESSO SERVIZI PMAX 600 KWth	PdC Grande acqua BT	200	100%	118.0	0.0	216.3	0.0	0.0	0.564	27.9%	152.3	0.091	0.000	0.091	0.000	-0.004	1081.5	409	0	63	0	113	0
	Cald. G. Cond. AT	600	100%	664.4	0.0	680.7	0.0	0.0	0.219	15.6%	186.6	0.065	0.000	0.065	0.000	-0.002	1134.6	80	0	20	0	201	0
	MCim + Cald. G. Cond. AT	600	30%	1020.9	197.3	680.7	201.2	255.7	0.317	35.2%	474.2	0.113	-0.053	0.060	-0.016	-0.004	1134.6	56	-244	39	-38	309	-278
PdC Grande acqua BT	600	100%	371.5	0.0	680.7	0.0	0.0	0.564	27.9%	479.5	0.091	0.000	0.091	0.000	-0.004	1134.6	409	0	63	0	113	0	

BAU	NORD
η ee	0.4
η th	0.8
T amb	5°C
T calore	55°C

Tabella 2 NORD BAT		P max	Dim.	Coger	EP tot	EP int	ET tot	ET int	EE	IRE in	η ex	PES	Costo lordo	Ricavo EE	Costo netto	Defisc. GN	C. Bianchi	Ore piene	NOx	NOx evit.	CO	CO evit.	CO ₂	CO ₂ evit.
		KWth	%	MWh/anno	MWh/anno	MWh/anno	MWh/anno	MWh/anno	MWh/anno			MWh/anno	euro/kwh th	euro/kwh th	euro/kwh th	euro/kwh th	euro/kwh th	h/anno	mg/kwh	mg/kwh	mg/kwh	mg/kwh	g/kwh	g/kwh
UTENZA MONOFAMILIARE PMAX 25 KWth	Caldia Piccola	25	100%	11.0	0.0	0.0	9.6	0	0	-0.036	13.2%	-0.4	0.083	0.000	0.083	0.000	0.000	382.8	200	0	40	0	237	0
	MCI micro + Cald. Piccola	25	30%	12.8	4.1	3.6	9.6	3.6	1.8	0.109	25.6%	1.6	0.257	-0.027	0.230	-0.008	-0.001	382.8	138	-17	28	-4	276	-78
	Cal. Picc. Cond. AT	25	100%	9.2	0.0	0.0	9.6	0	0	0.134	15.8%	1.4	0.073	0.000	0.073	0.000	-0.001	382.8	130	0	40	0	199	0
	Cal. Picc. Cond. BT	25	100%	9.0	0.0	0.0	9.6	0	0	0.156	16.3%	1.7	0.072	0.000	0.072	0.000	-0.001	382.8	80	0	20	0	193	0
	PdC Piccola aria BT	25	100%	6.8	0.0	0.0	9.6	0	0	0.361	21.5%	3.8	0.128	0.000	0.128	0.000	-0.002	382.8	84	0	19	0	146	0
UTENZA CONDOMINI O PMAX 200 KWth	Caldia Grande	200	100%	321.4	0.0	0.0	284.3	0	0	-0.018	13.5%	-5.5	0.073	0.000	0.073	0.000	0.000	1421.4	80	0	20	0	233	0
	MCIp + Cald. Grande	200	30%	390.0	98.0	284.3	98.9	74.8	0.169	30.3%	79.5	0.112	-0.021	-0.011	0.091	-0.011	-0.002	1421.4	49	-24	36	-5	283	-108
	Cald. G. Cond. AT	200	100%	277.4	0.0	0.0	284.3	0.0	0.0	0.122	15.6%	38.4	0.064	0.000	0.064	0.000	-0.001	1421.4	80	0	20	0	201	0
	Cald. G. Cond. BT	200	100%	259.1	0.0	0.0	284.3	0.0	0.0	0.180	16.7%	56.7	0.060	0.000	0.060	0.000	-0.001	1421.4	80	0	20	0	188	0
	PdC Grande acqua BT	200	100%	126.5	0.0	0.0	284.3	0.0	0.0	0.600	34.3%	189.4	0.090	0.000	0.090	0.000	-0.004	1421.4	46	0	10	0	92	0
GRANDE COMPLESSO TELERISC. PMAX 600 KWth	Cald. G. Cond. AT	600	100%	928.9	0.0	0.0	951.8	0.0	0.0	0.122	15.6%	128.7	0.064	0.000	0.064	0.000	-0.001	1586.4	80	0	20	0	201	0
	MCIp + Cald. G. Cond. AT	600	30%	1379.2	329.5	333.8	951.8	317.7	0.193	33.6%	330.7	0.105	-0.027	-0.014	0.079	-0.014	-0.002	1586.4	52	-30	36	-7	299	-137
	PdC Grande acqua BT	600	100%	423.4	0.0	0.0	951.8	0.0	0.0	0.600	34.3%	634.2	0.089	0.000	0.089	0.000	-0.004	1586.4	46	0	10	0	92	0
	Caldia Grande	3000	100%	5870.9	0.0	0.0	5193.0	0.0	0.0	-0.018	13.5%	-101.0	0.073	0.000	0.073	0.000	0.000	1731.0	80	0	20	0	233	0
	MCIg + Cald. Grande	3000	30%	8683.3	1990.9	1774.9	5193.0	2464.6	0.198	37.5%	2147.5	0.115	-0.038	0.077	-0.021	0.089	-0.021	-0.003	1731.0	59	-43	46	-9	345
UTENZA CONDOMINI O UFFICI PMAX 200 KWth	PdC Grande acqua BT	3000	100%	2310.0	0.0	0.0	5193.0	0.0	0.0	0.600	34.3%	3459.9	0.089	0.000	0.089	0.000	-0.004	1731.0	46	0	10	0	92	0
	Caldia Grande	200	100%	244.5	0.0	0.0	216.3	0	0	-0.018	13.5%	-4.2	0.074	0.000	0.074	0.000	0.000	1081.5	80	0	20	0	233	0
	MCIp + Cald. Grande	200	30%	307.2	61.4	62.4	216.3	65.1	0.179	31.9%	66.8	0.121	-0.042	0.079	-0.013	0.079	-0.002	1081.5	53	-27	39	-6	293	-123
	Cald. G. Cond. AT	200	100%	211.1	0.0	0.0	216.3	0.0	0.0	0.122	15.6%	29.2	0.065	0.000	0.065	0.000	-0.001	1081.5	80	0	20	0	201	0
	Cald. G. Cond. BT	200	100%	197.2	0.0	0.0	216.3	0.0	0.0	0.180	16.7%	43.2	0.061	0.000	0.061	0.000	-0.001	1081.5	80	0	20	0	188	0
COMPLESSO SERVIZI PMAX 600 KWth	PdC Grande acqua BT	200	100%	96.2	0.0	0.0	216.3	0.0	0.0	0.600	34.3%	144.1	0.091	0.000	0.091	0.000	-0.004	1081.5	46	0	10	0	92	0
	Cald. G. Cond. AT	600	100%	664.4	0.0	0.0	680.7	0.0	0.0	0.122	15.6%	92.0	0.065	0.000	0.065	0.000	-0.001	1134.6	80	0	20	0	201	0
	MCIp + Cald. G. Cond. AT	600	30%	1020.9	197.3	680.7	680.7	201.2	0.203	35.2%	260.6	0.113	-0.053	0.060	-0.016	0.060	-0.002	1134.6	56	-34	39	-8	309	-154
	PdC Grande acqua BT	600	100%	302.8	0.0	0.0	680.7	0.0	0.0	0.600	34.3%	453.6	0.091	0.000	0.091	0.000	-0.004	1134.6	46	0	10	0	92	0

BAT NORD
 η ee 0.49 T amb 5°C
 η th 0.9 T calore 55°C

Tabella 3 CENTRO BAU

	P max	Dim.	Coger	EP tot	EP int	ET tot	ET int	EE	IRE in	η ex	PES	Costo lordo	Ricavo EE	Costo netto	Defisc. GN	C. Bianchi	Ore piene	NOx	NOx evit.	CO	CO evit.	CO ₂	CO ₂ evit.
	KWh	%	MWh/anno	MWh/anno	MWh/anno	MWh/anno	MWh/anno	MWh/anno		%	MWh/anno	euro/kwh th	euro/kwh th	euro/kwh th	euro/kwh th	euro/kwh th	h/anno	mg/kwh	mg/kwh	mg/kwh	mg/kwh	g/kwh	g/kwh
UTENZA MONOFAMILIARE PMAX 25 KWh	25	100%	7.9	0.0	6.8	0	0	0	0.079	12.7%	0.7	0.087	0.000	0.087	0.000	-0.001	273.3	200	0	40	0	237	0
	25	30%	8.9	3.3	6.8	3.0	1.2	0.222	24.2%	2.5	0.320	-0.024	0.296	-0.007	-0.002	273.3	124	-111	25	-17	269	-126	
	25	100%	6.6	0.0	6.8	0	0	0.230	15.2%	2.0	0.078	0.000	0.078	0.000	-0.002	273.3	130	0	40	0	199	0	
	25	100%	6.4	0.0	6.8	0	0	0.250	15.6%	2.1	0.076	0.000	0.076	0.000	-0.002	273.3	80	0	20	0	193	0	
	25	100%	5.9	0.0	6.8	0	0	0.304	16.8%	2.6	0.137	0.000	0.137	0.000	-0.002	273.3	744	0	115	0	180	0	
UTENZA CONDOMINI O PMAX 200 KWh	200	100%	223.7	0.0	197.9	0	0	0.096	12.9%	23.6	0.074	0.000	0.074	0.000	-0.001	989.4	80	0	20	0	233	0	
	200	30%	259.9	83.9	197.9	84.6	43.6	0.272	27.9%	97.2	0.115	-0.018	0.098	-0.010	-0.003	989.4	43	-143	31	-22	271	-163	
	200	100%	193.1	0.0	197.9	0.0	0.0	0.219	15.0%	54.2	0.065	0.000	0.065	0.000	-0.002	989.4	80	0	20	0	201	0	
	200	100%	180.4	0.0	197.9	0.0	0.0	0.271	16.1%	67.0	0.061	0.000	0.061	0.000	-0.002	989.4	80	0	20	0	188	0	
	200	100%	108.0	0.0	197.9	0.0	0.0	0.564	26.8%	139.4	0.092	0.000	0.092	0.000	-0.004	989.4	409	0	63	0	113	0	
GRANDE COMPLESSO TELERISC. PMAX 600 KWh	600	100%	651.0	0.0	667.0	0.0	0.0	0.219	15.0%	182.8	0.065	0.000	0.065	0.000	-0.002	1111.7	80	0	20	0	201	0	
	600	30%	922.8	278.3	667.0	280.3	186.1	0.292	30.8%	379.8	0.106	-0.022	0.083	-0.012	-0.003	1111.7	46	-181	32	-28	285	-206	
	600	100%	364.0	0.0	667.0	0.0	0.0	0.564	26.8%	469.8	0.091	0.000	0.091	0.000	-0.004	1111.7	409	0	63	0	113	0	
	3000	100%	4107.3	0.0	3633.0	0.0	0.0	0.096	12.9%	433.9	0.074	0.000	0.074	0.000	-0.001	1211.0	80	0	20	0	233	0	
	3000	30%	5802.6	1615.6	3633.0	1446.8	1461.6	0.294	34.4%	2420.3	0.113	-0.032	0.081	-0.017	-0.004	1211.0	54	-261	42	-40	329	-298	
UTENZA CONDOMINI O UFFICI PMAX 200 KWh	200	100%	160.5	0.0	142.0	0	0	0.096	12.9%	17.0	0.075	0.000	0.075	0.000	-0.001	710.0	80	0	20	0	233	0	
	200	30%	197.4	40.8	142.0	41.8	39.3	0.286	30.4%	79.0	0.131	-0.039	0.093	-0.012	-0.003	710.0	53	-180	39	-28	287	-205	
	200	100%	138.6	0.0	142.0	0.0	0.0	0.219	15.0%	38.9	0.066	0.000	0.066	0.000	-0.002	710.0	80	0	20	0	201	0	
	200	100%	129.4	0.0	142.0	0.0	0.0	0.271	16.1%	48.1	0.062	0.000	0.062	0.000	-0.002	710.0	80	0	20	0	188	0	
	200	100%	77.5	0.0	142.0	0.0	0.0	0.564	26.8%	100.0	0.095	0.000	0.095	0.000	-0.004	710.0	409	0	63	0	113	0	
COMPLESSO SERVIZI PMAX 600 KWh	600	100%	439.3	0.0	450.2	0.0	0.0	0.219	15.0%	123.4	0.066	0.000	0.066	0.000	-0.002	750.3	80	0	20	0	201	0	
	600	30%	662.6	130.1	450.2	133.0	156.7	0.308	33.6%	294.8	0.119	-0.049	0.070	-0.015	-0.004	750.3	56	-226	39	-35	304	-258	
	600	100%	245.6	0.0	450.2	0.0	0.0	0.564	26.8%	317.1	0.095	0.000	0.095	0.000	-0.004	750.3	409	0	63	0	113	0	

BAU	CENTRO
η ee	T amb 7°C
η th	T calore 55°C

Tabella 4 CENTRO BAT

	P max kWth	Dim. Cogef %	EP tot MWh/anno	EP int MWh/anno	ET tot MWh/anno	ET int MWh/anno	EE MWh/anno	IRE in %	η ex %	PES MWh/anno	Costo lordo euro/kWh th	Ricavo EE euro/kWh th	Costo netto euro/kWh th	Defisc. GN euro/kWh th	C. Bianchi euro/kWh th	Ore piene h/anno	NOx mg/kWh	NOx evit. mg/kWh	CO mg/kWh	CO evit. mg/kWh	CO ₂ g/kWh	CO ₂ evit. g/kWh
UTENZA MONOFAMILIARE PMAX 25 KWth	25	100%	7.9	0.0	6.8	0	0	-0.036	12.7%	-0.3	0.087	0.000	0.087	0.000	0.000	273.3	200	0	40	0	237	0
	25	30%	8.9	3.3	6.8	3.0	1.2	0.106	24.2%	1.1	0.320	-0.024	0.296	-0.007	-0.001	273.3	124	-15	25	-3	269	-70
	25	100%	6.6	0.0	6.8	0	0	0.134	15.2%	1.0	0.078	0.000	0.078	0.000	-0.001	273.3	130	0	40	0	199	0
	25	100%	6.4	0.0	6.8	0	0	0.156	15.6%	1.2	0.076	0.000	0.076	0.000	-0.001	273.3	80	0	20	0	193	0
	25	100%	4.9	0.0	6.8	0	0	0.361	20.6%	2.7	0.137	0.000	0.137	0.000	-0.002	273.3	84	0	19	0	146	0
UTENZA CONDOMINI O PMAX 200 KWth	200	100%	223.7	0.0	197.9	0	0	-0.018	12.9%	-3.8	0.074	0.000	0.074	0.000	0.000	989.4	80	0	20	0	233	0
	200	30%	259.9	83.9	197.9	84.6	43.6	0.160	27.9%	49.4	0.115	-0.018	0.098	-0.010	-0.002	989.4	43	-20	31	-4	271	-90
	200	100%	193.1	0.0	197.9	0.0	0.0	0.122	15.0%	26.7	0.065	0.000	0.065	0.000	-0.001	989.4	80	0	20	0	201	0
	200	100%	180.4	0.0	197.9	0.0	0.0	0.180	16.1%	39.5	0.061	0.000	0.061	0.000	-0.001	989.4	80	0	20	0	188	0
	200	100%	88.0	0.0	197.9	0.0	0.0	0.600	32.9%	131.8	0.092	0.000	0.092	0.000	-0.004	989.4	46	0	10	0	92	0
GRANDE COMPLESSO PMAX 600 KWth	600	100%	651.0	0.0	667.0	0.0	0.0	0.122	15.0%	90.2	0.065	0.000	0.065	0.000	-0.001	1111.7	80	0	20	0	201	0
	600	30%	922.8	278.3	667.0	280.3	186.1	0.179	30.8%	200.5	0.106	-0.022	0.083	-0.012	-0.002	1111.7	46	-25	32	-6	285	-114
	600	100%	296.7	0.0	667.0	0.0	0.0	0.600	32.9%	444.4	0.091	0.000	0.091	0.000	-0.004	1111.7	46	0	10	0	92	0
QUARTIERE TELERISC. PMAX 3 MWth	3000	100%	4107.3	0.0	3633.0	0.0	0.0	-0.018	12.9%	-70.6	0.074	0.000	0.074	0.000	0.000	1211.0	80	0	20	0	233	0
	3000	30%	5802.6	1615.6	3633.0	1446.8	1461.6	0.176	34.4%	1235.3	0.113	-0.032	0.081	-0.017	-0.002	1211.0	54	-36	42	-8	329	-165
	3000	100%	1616.1	0.0	3633.0	0.0	0.0	0.600	32.9%	2420.6	0.091	0.000	0.091	0.000	-0.004	1211.0	46	0	10	0	92	0
UTENZA CONDOMINI O UFFICI PMAX 200 KWth	200	100%	160.5	0.0	142.0	0	0	-0.018	12.9%	-2.8	0.075	0.000	0.075	0.000	0.000	710.0	80	0	20	0	233	0
	200	30%	197.4	40.8	142.0	41.8	39.3	0.172	30.4%	41.0	0.131	-0.039	0.093	-0.012	-0.002	710.0	53	-25	39	-6	287	-113
	200	100%	138.6	0.0	142.0	0.0	0.0	0.122	15.0%	19.2	0.066	0.000	0.066	0.000	-0.001	710.0	80	0	20	0	201	0
	200	100%	129.4	0.0	142.0	0.0	0.0	0.180	16.1%	28.3	0.062	0.000	0.062	0.000	-0.001	710.0	80	0	20	0	188	0
	200	100%	63.2	0.0	142.0	0.0	0.0	0.600	32.9%	94.6	0.095	0.000	0.095	0.000	-0.004	710.0	46	0	10	0	92	0
COMPLESSO SERVIZI PMAX 600 KWth	600	100%	439.3	0.0	450.2	0.0	0.0	0.122	15.0%	60.8	0.066	0.000	0.066	0.000	-0.001	750.3	80	0	20	0	201	0
	600	30%	662.6	130.1	450.2	133.0	156.7	0.194	33.6%	159.3	0.119	-0.049	0.070	-0.015	-0.002	750.3	56	-31	39	-7	304	-143
	600	100%	200.2	0.0	450.2	0.0	0.0	0.600	32.9%	299.9	0.095	0.000	0.095	0.000	-0.004	750.3	46	0	10	0	92	0

BAT
η ee 0.49
η th 0.9
CENTRO
T amb 7°C
T calore 55°C

Tabella 5 SUD BAU		P max	Dim.	Coger.	EP tot	EP int	ET tot	ET int	EE	IRE in	η ex	PES	Costo lordo	Ricavo EE	Costo netto	Defisc. GN	C. Bianchi	Ore piene	NOx	NOx evit.	CO	CO evit.	CO ₂	CO ₂ evit.
		KWh	%		MWh/anno	MWh/anno	MWh/anno	MWh/anno	MWh/anno		%	MWh/anno	euro/kwh th	euro/kwh th	euro/kwh th	euro/kwh th	euro/kwh th	h/anno	mg/kwh	mg/kwh	mg/kwh	mg/kwh	g/kwh	g/kwh
UTENZA MONOFAMILIARE PMAX 25 KWh	Caldia Piccola	25	100%		6.4	0.0	5.6	0	0	0.079	11.9%	0.6	0.090	0.000	0.090	0.000	-0.001	224.0	200	0	40	0	237	0
	MCI micro + Cald. Piccola	25	30%		7.2	3.1	5.6	2.7	0.9	0.213	22.6%	2.0	0.368	-0.022	0.347	-0.007	-0.002	224.0	112	-100	23	-15	266	-114
	Cal. Picc. Cond. AT	25	100%		5.4	0.0	5.6	0	0	0.230	14.3%	1.6	0.082	0.000	0.082	0.000	-0.002	224.0	130	0	40	0	199	0
	Cal. Picc. Cond. BT	25	100%		5.3	0.0	5.6	0	0	0.250	14.6%	1.7	0.080	0.000	0.080	0.000	-0.002	224.0	80	0	20	0	193	0
	PdC Piccola aria BT	25	100%		4.9	0.0	5.6	0	0	0.304	15.8%	2.1	0.143	0.000	0.143	0.000	-0.002	224.0	744	0	115	0	180	0
UTENZA CONDOMINI O PMAX 200 KWh	Caldia Grande	200	100%		180.6	0.0	159.8	0	0	0.096	12.1%	19.1	0.074	0.000	0.074	0.000	-0.001	798.8	80	0	20	0	233	0
	MCIp + Cald. Grande	200	30%		204.8	79.4	159.8	79.1	31.0	0.263	25.9%	73.1	0.119	-0.016	0.103	-0.008	-0.003	798.8	38	-126	28	-19	264	-144
	Cald. G. Cond. AT	200	100%		155.9	0.0	159.8	0.0	0.0	0.219	14.1%	43.8	0.066	0.000	0.066	0.000	-0.002	798.8	80	0	20	0	201	0
	Cald. G. Cond. BT	200	100%		145.6	0.0	159.8	0.0	0.0	0.271	15.1%	54.1	0.062	0.000	0.062	0.000	-0.002	798.8	80	0	20	0	188	0
	PdC Grande acqua BT	200	100%		87.2	0.0	159.8	0.0	0.0	0.564	25.1%	112.5	0.094	0.000	0.094	0.000	-0.004	798.8	409	0	63	0	113	0
GRANDE COMPLESSO TELERISC. PMAX 3 MWth	Cald. G. Cond. AT	600	100%		524.0	0.0	536.9	0.0	0.0	0.219	14.1%	147.1	0.065	0.000	0.065	0.000	-0.002	894.8	80	0	20	0	201	0
	MCIp + Cald. G. Cond. AT	600	30%		721.6	261.6	536.9	260.9	132.8	0.283	28.6%	284.1	0.106	-0.020	0.087	-0.011	-0.003	894.8	41	-161	28	-25	277	-183
	PdC Grande acqua BT	600	100%		293.0	0.0	536.9	0.0	0.0	0.564	25.1%	378.1	0.093	0.000	0.093	0.000	-0.004	894.8	409	0	63	0	113	0
	Caldia Grande	3000	100%		3264.0	0.0	2887.0	0.0	0.0	0.096	12.1%	344.8	0.074	0.000	0.074	0.000	-0.001	962.3	80	0	20	0	233	0
	MCIg + Cald. Grande	3000	30%		4445.4	1477.8	2887.0	1332.9	1028.3	0.283	32.0%	1753.5	0.113	-0.029	0.084	-0.015	-0.004	962.3	48	-232	38	-36	318	-264
UTENZA CONDOMINI O UFFICI PMAX 200 KWh	Caldia Grande	200	100%		1575.4	0.0	2887.0	0.0	0.0	0.564	25.1%	2033.4	0.092	0.000	0.092	0.000	-0.004	962.3	409	0	63	0	113	0
	MCIp + Cald. Grande	200	30%		117.7	0.0	104.1	0	0	0.096	12.1%	12.4	0.076	0.000	0.076	0.000	-0.001	520.4	80	0	20	0	233	0
	Cald. G. Cond. AT	200	100%		143.4	32.5	104.1	32.7	27.4	0.280	29.1%	55.8	0.144	-0.037	0.107	-0.011	-0.003	520.4	51	-171	38	-26	284	-195
	Cald. G. Cond. BT	200	100%		101.6	0.0	104.1	0.0	0.0	0.219	14.1%	28.5	0.067	0.000	0.067	0.000	-0.002	520.4	80	0	20	0	201	0
	PdC Grande acqua BT	200	100%		94.9	0.0	104.1	0.0	0.0	0.271	15.1%	35.2	0.064	0.000	0.064	0.000	-0.002	520.4	80	0	20	0	188	0
COMPLESSO SERVIZI PMAX 600 KWh	Cald. G. Cond. AT	600	100%		322.9	0.0	330.9	0.0	0.0	0.219	14.1%	90.7	0.067	0.000	0.067	0.000	-0.002	551.4	80	0	20	0	201	0
	MCIp + Cald. G. Cond. AT	600	30%		481.7	102.9	330.9	103.6	109.4	0.301	32.1%	207.4	0.126	-0.046	0.080	-0.014	-0.004	551.4	55	-215	38	-33	300	-245
	PdC Grande acqua BT	600	100%		180.5	0.0	330.9	0.0	0.0	0.564	25.1%	233.0	0.099	0.000	0.099	0.000	-0.004	551.4	409	0	63	0	113	0

BAU	SUD
η ee	0.4
η th	0.8
T amb	5°C
T calore	55°C

Tabella 6 SUD BAT		P max kWth	Dim. %	Cogef	EP int MWh/anno	EP tot MWh/anno	ET int MWh/anno	ET tot MWh/anno	EE MWh/anno	IRE in -	η ex -	PIES MWh/anno	Costo lordo euro/kwh th	Ricavo EE euro/kwh th	Costo netto euro/kwh th	Defisc. GN euro/kwh th	C. Bianchi euro/kwh th	Ore piane h/anno	NOx mg/kwh	NOx evit mg/kwh	CO mg/kwh	CO evit. mg/kwh	CO ₂ g/kwh	CO ₂ evit. g/kwh
UTENZA MONOFAMIL. PMAX 25 kWth	Caldala Piccola	25	100%	6.4	0.0	5.6	0.0	5.6	0.0	-0.036	11.9%	-0.2	0.090	0.000	0.090	0.000	0.000	224.0	200	0	40	0	237	0
	MCI micro + Cald. Picco	25	30%	7.2	3.1	5.6	2.7	0.9	0.096	22.6%	0.8	-0.022	0.368	-0.022	0.347	-0.007	-0.001	224.0	112	-14	23	-3	266	-63
	Cal. Picc. Cond. AT	25	100%	5.4	0.0	5.6	0.0	5.6	0.0	0.134	14.3%	0.8	0.082	0.000	0.082	0.000	-0.001	224.0	130	0	40	0	199	0
	Cal. Picc. Cond. BT	25	100%	5.3	0.0	5.6	0.0	5.6	0.0	0.156	14.6%	1.0	0.080	0.000	0.080	0.000	-0.001	224.0	80	0	20	0	193	0
	PdC Piccola aria BT	25	100%	4.0	0.0	5.6	0.0	5.6	0.0	0.361	19.3%	2.2	0.143	0.000	0.143	0.000	-0.002	224.0	84	0	19	0	146	0
UTENZA CONDOMINI O PMAX 200 kWth	Caldala Grande	200	100%	180.6	0.0	159.8	0.0	159.8	0.0	-0.018	12.1%	-3.1	0.074	0.000	0.074	0.000	0.000	798.8	80	0	20	0	233	0
	MCIp + Cald. Grande	200	30%	204.8	79.4	159.8	79.1	31.0	0.151	25.9%	36.4	-0.016	0.119	-0.016	0.103	-0.008	-0.001	798.8	38	-17	28	-4	264	-80
	Cald. G. Cond. AT	200	100%	155.9	0.0	159.8	0.0	159.8	0.0	0.122	14.1%	21.6	0.066	0.000	0.066	0.000	-0.001	798.8	80	0	20	0	201	0
	Cald. G. Cond. BT	200	100%	145.6	0.0	159.8	0.0	159.8	0.0	0.180	15.1%	31.9	0.062	0.000	0.062	0.000	-0.001	798.8	80	0	20	0	188	0
	PdC Grande acqua BT	200	100%	71.1	0.0	159.8	0.0	159.8	0.0	0.600	30.8%	106.4	0.094	0.000	0.094	0.000	-0.004	798.8	46	0	10	0	92	0
GRANDE COMPLESSO PMAX 600 kWth	Cald. G. Cond. AT	600	100%	524.0	0.0	536.9	0.0	536.9	0.0	0.122	14.1%	72.6	0.065	0.000	0.065	0.000	-0.001	894.8	80	0	20	0	201	0
	MCIp + Cald. G. Cond.	600	30%	721.6	261.6	536.9	260.9	132.8	0.170	28.6%	147.7	-0.020	0.106	-0.020	0.087	-0.011	-0.002	894.8	41	-22	28	-5	277	-101
	PdC Grande acqua BT	600	100%	238.8	0.0	536.9	0.0	536.9	0.0	0.600	30.8%	357.7	0.093	0.000	0.093	0.000	-0.004	894.8	46	0	10	0	92	0
	Caldala Grande	3000	100%	3264.0	0.0	2887.0	0.0	2887.0	0.0	-0.018	12.1%	-56.1	0.074	0.000	0.074	0.000	0.000	962.3	80	0	20	0	233	0
	MCIg + Cald. Grande	3000	30%	4445.4	1477.8	2887.0	1332.9	1028.3	0.164	32.0%	873.9	-0.029	0.113	-0.029	0.084	-0.015	-0.002	962.3	48	-32	38	-7	318	-146
UTENZA CONDOMINI O UFFICI PMAX 200 kWth	PdC Grande acqua BT	3000	100%	1284.3	0.0	2887.0	0.0	2887.0	0.0	0.600	30.8%	1923.5	0.092	0.000	0.092	0.000	-0.004	962.3	46	0	10	0	92	0
	Caldala Grande	200	100%	117.7	0.0	104.1	0.0	104.1	0.0	-0.018	12.1%	-2.0	0.076	0.000	0.076	0.000	0.000	520.4	80	0	20	0	233	0
	MCIp + Cald. Grande	200	30%	143.4	32.5	104.1	32.7	27.4	0.166	29.1%	28.6	-0.037	0.144	-0.037	0.107	-0.011	-0.002	520.4	51	-24	38	-5	284	-108
	Cald. G. Cond. AT	200	100%	101.6	0.0	104.1	0.0	104.1	0.0	0.122	14.1%	14.1	0.067	0.000	0.067	0.000	-0.001	520.4	80	0	20	0	201	0
	Cald. G. Cond. BT	200	100%	94.9	0.0	104.1	0.0	104.1	0.0	0.180	15.1%	20.8	0.064	0.000	0.064	0.000	-0.001	520.4	80	0	20	0	188	0
COMPLESSO SERVIZI PMAX 600 kWth	PdC Grande acqua BT	200	100%	46.3	0.0	104.1	0.0	104.1	0.0	0.600	30.8%	69.3	0.099	0.000	0.099	0.000	-0.004	520.4	46	0	10	0	92	0
	Cald. G. Cond. AT	600	100%	322.9	0.0	330.9	0.0	330.9	0.0	0.122	14.1%	44.7	0.067	0.000	0.067	0.000	-0.001	551.4	80	0	20	0	201	0
	MCIp + Cald. G. Cond.	600	30%	481.7	102.9	330.9	103.6	109.4	0.187	32.1%	110.5	-0.046	0.126	-0.046	0.080	-0.014	-0.002	551.4	55	-30	38	-7	300	-136
PdC Grande acqua BT	600	100%	147.2	0.0	330.9	0.0	330.9	0.0	0.600	30.8%	220.4	0.099	0.000	0.099	0.000	-0.004	551.4	46	0	10	0	92	0	

BAT		SUD	
η ee	0.49	T amb	5°C
η th	0.9	T calore	55°C

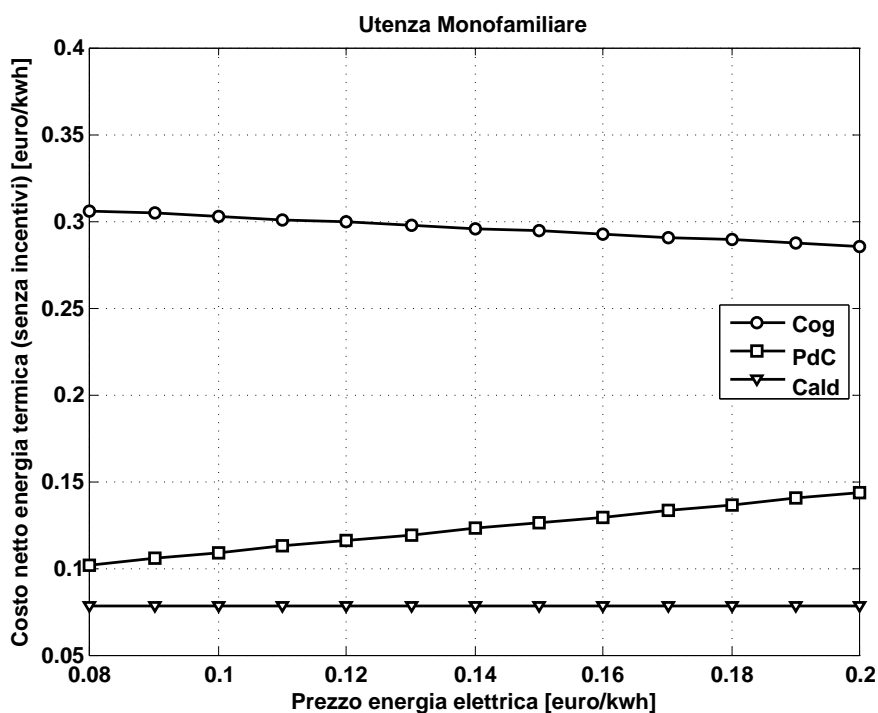


Figura 1. Utenza monofamiliare Centro Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

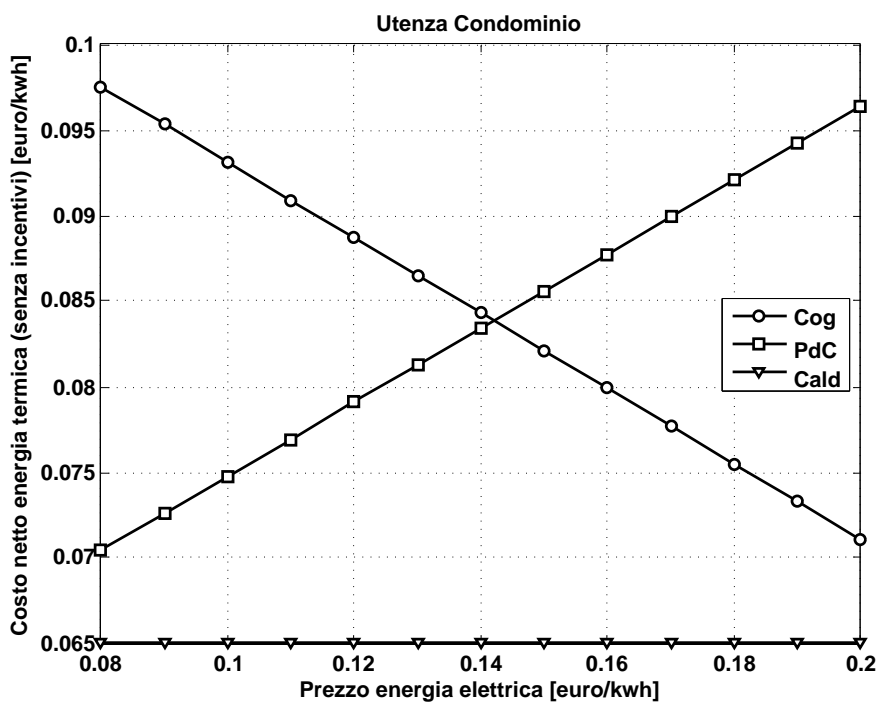


Figura 2. Utenza condominio del Centro Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

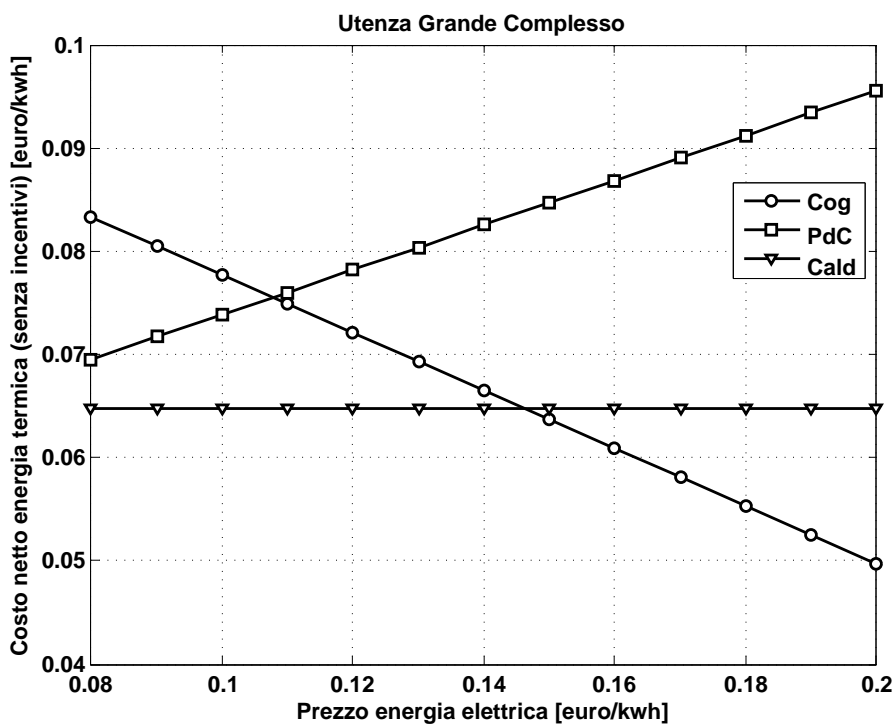


Figura 3. Utenza grande complesso del Centro Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

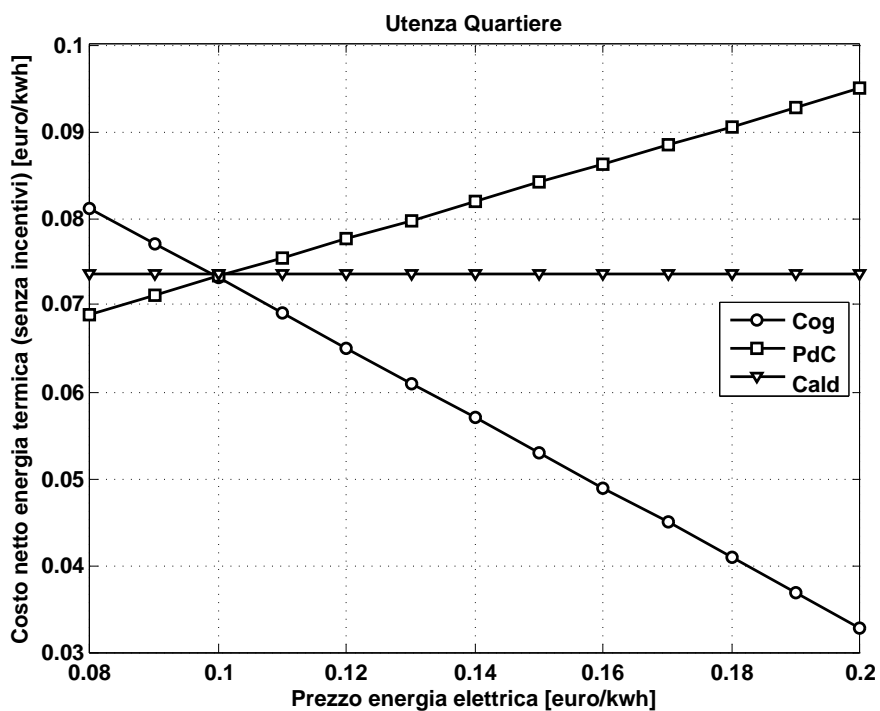


Figura 4. Utenza quartiere del Centro Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

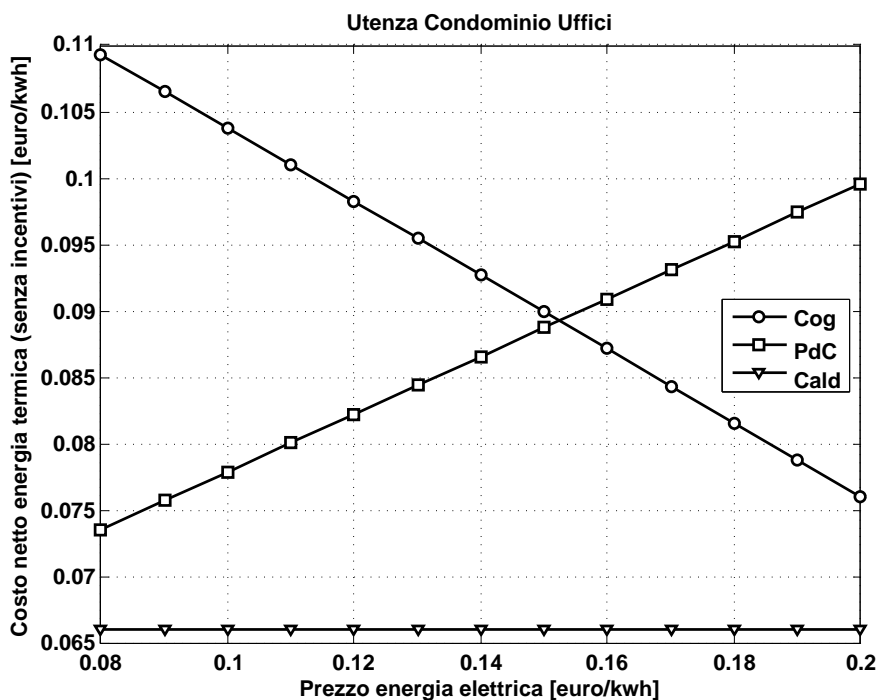


Figura 5. Utenza condominio uffici del Centro Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

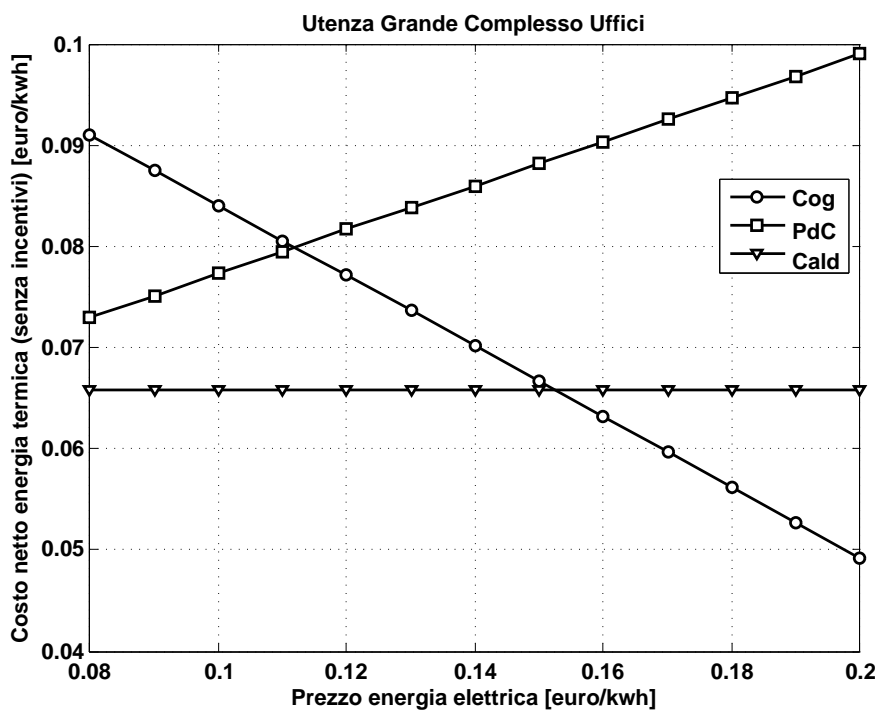


Figura 6. Utenza grande complesso di uffici del Centro Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

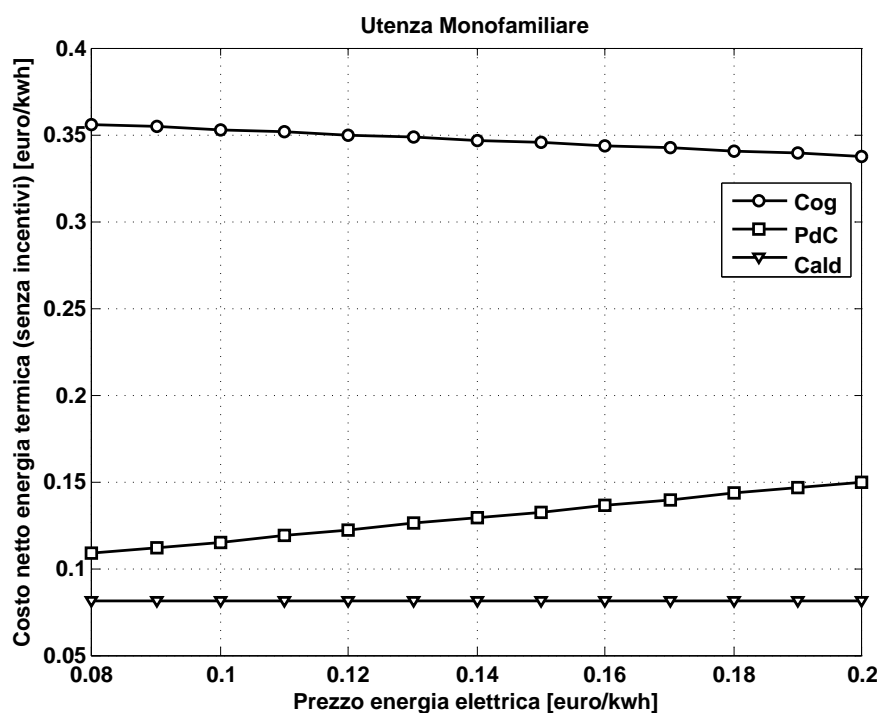


Figura 7. Utenza monofamiliare Sud Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

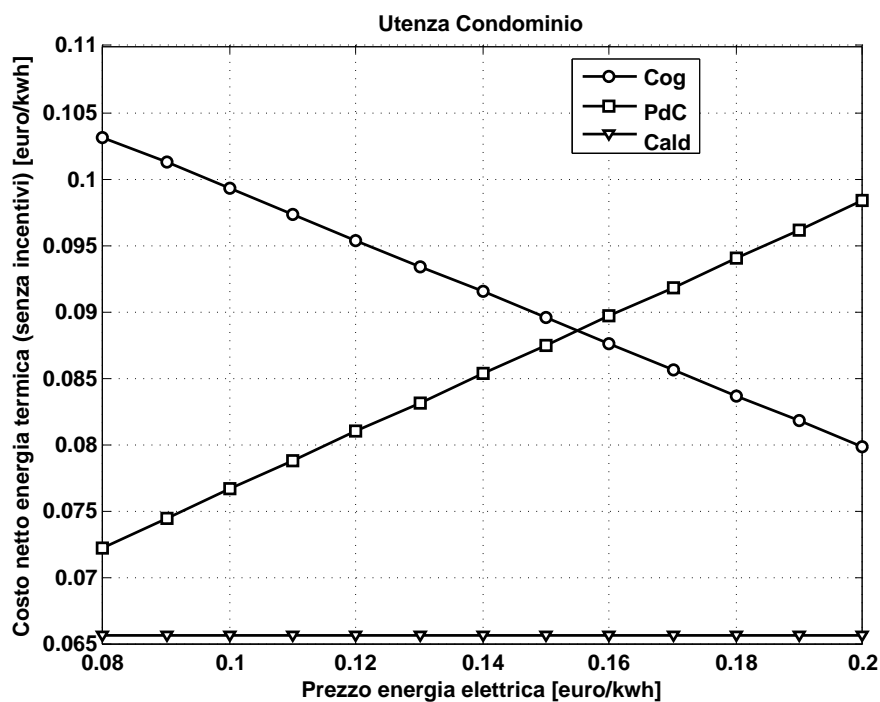


Figura 8. Utenza condominio del Sud Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

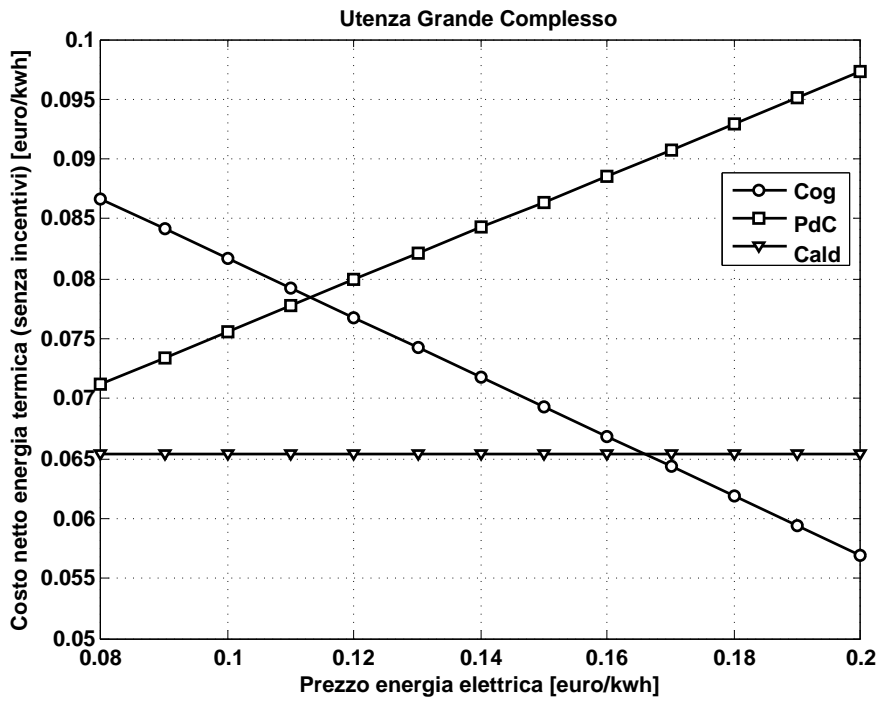


Figura 9. Utenza grande complesso del Sud Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

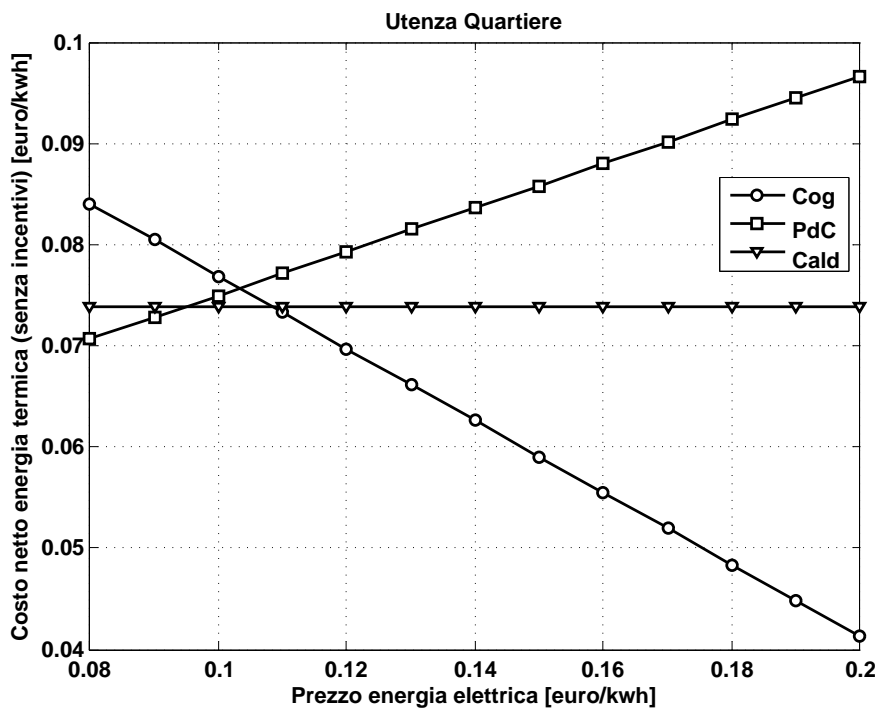


Figura 10. Utenza quartiere del Sud Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

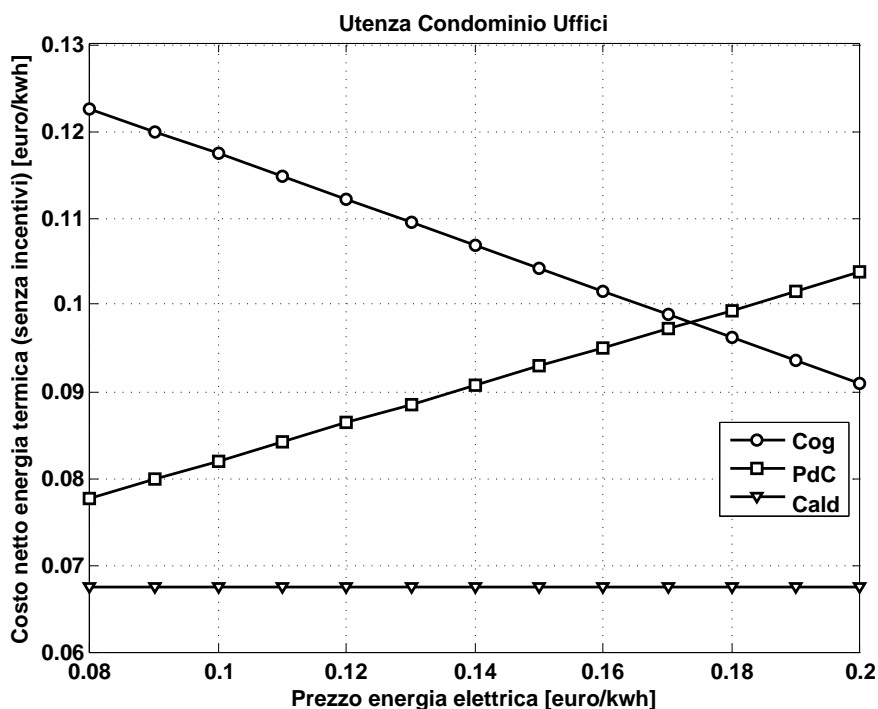


Figura 11. Utenza condominio uffici del Sud Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.

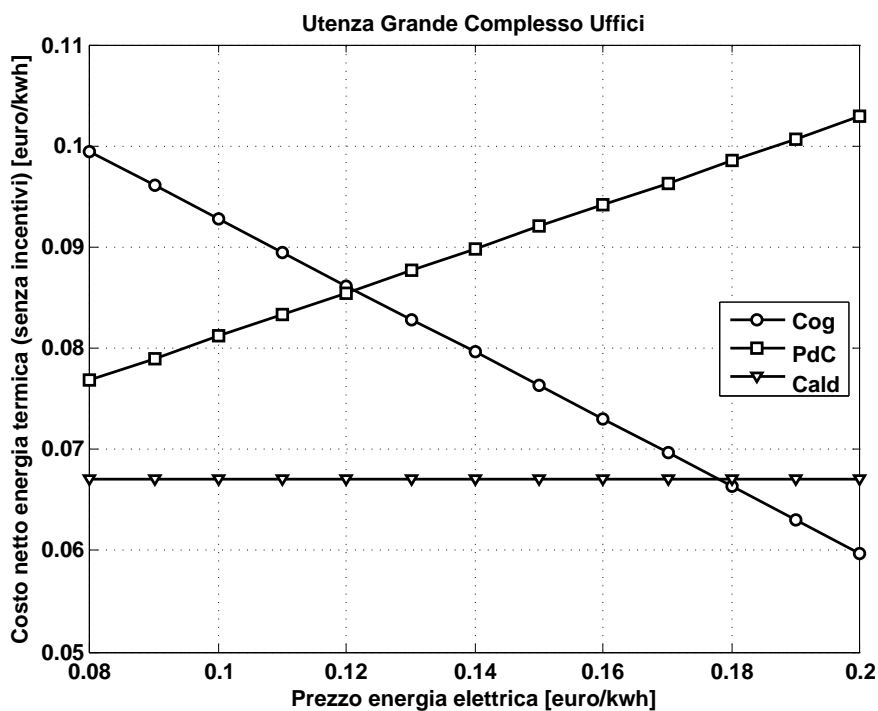


Figura 12. Utenza grande complesso di uffici del Sud Italia, confronto del costo dell'energia termica prodotta al variare del valore dell'energia elettrica.