

MEDICLIMA 2013

ENERGIA ed AMBIENTE: la Sardegna del futuro

Sistemi di Micro/Co e Tri-generazione per l'energia

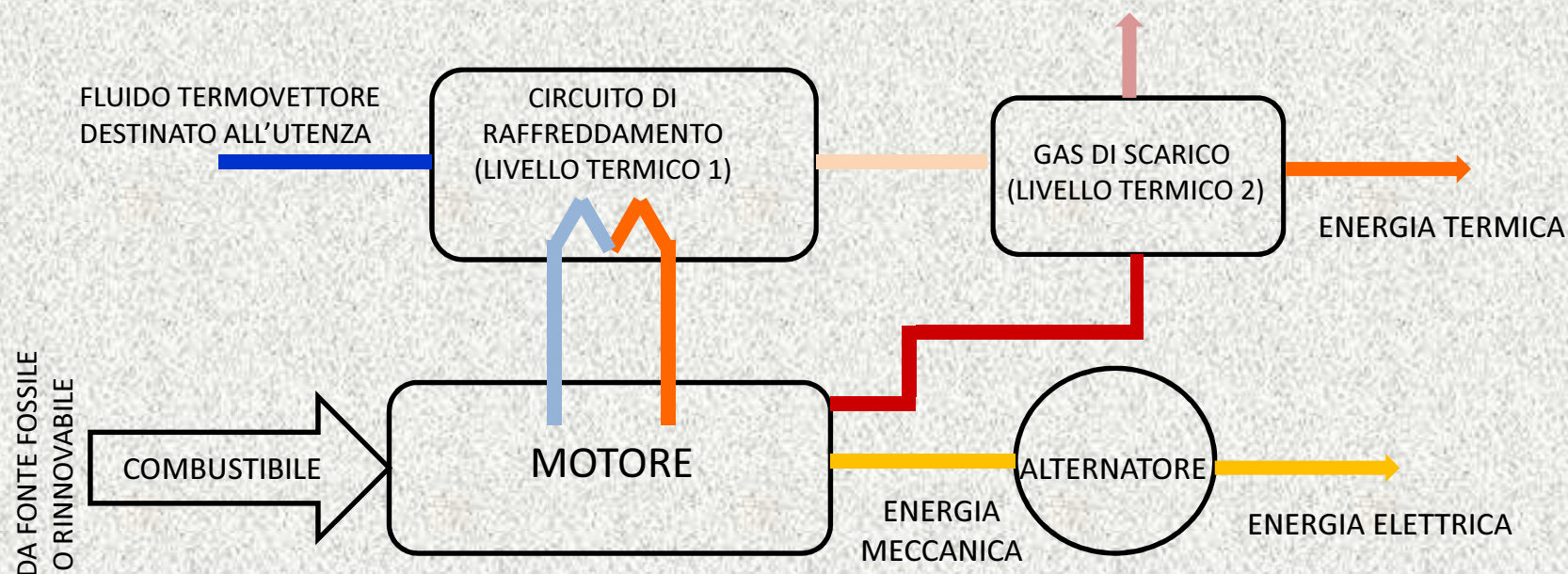
Relatore

Ph.D. Ing. Raffaello Possidente



La cogenerazione (Combined Heat and Power - CHP)

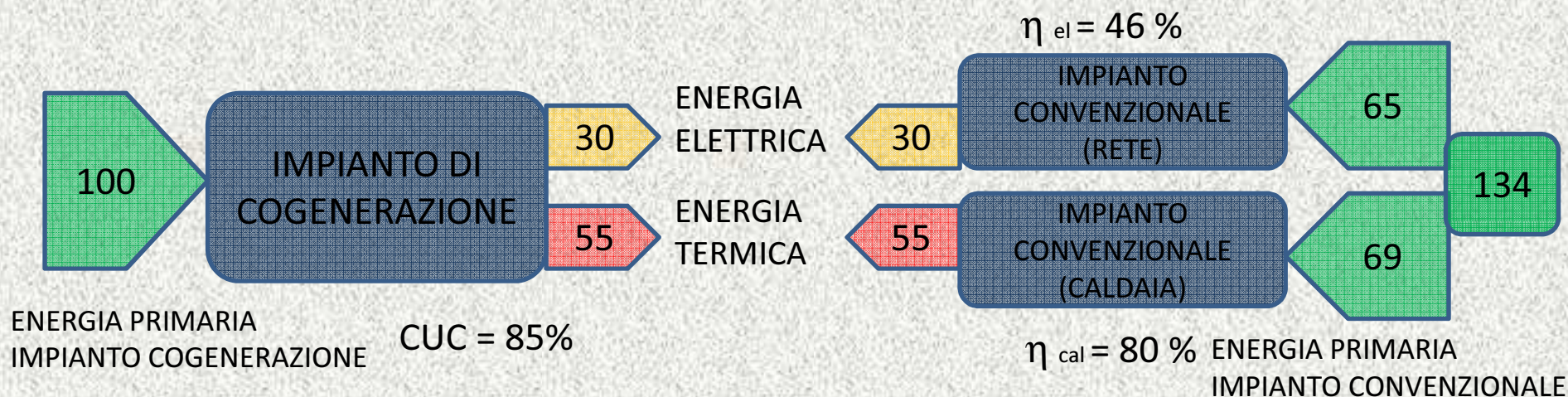
Produzione simultanea di due forme di energia elettrica e/o meccanica e termica da una singola fonte energetica.



La cogenerazione con potenza elettrica inferiore ad 1 MW si definisce piccola cogenerazione, quella con potenza inferiore a 50 KW si definisce microcogenerazione (definizioni del DLgs 20/2007) - MCHP

Bilancio energetico nella cogenerazione

È una tecnologia che consente la razionalizzazione dell'uso delle risorse energetiche in quanto recupera il calore altrimenti disperso nel processo di conversione dell'energia termica.

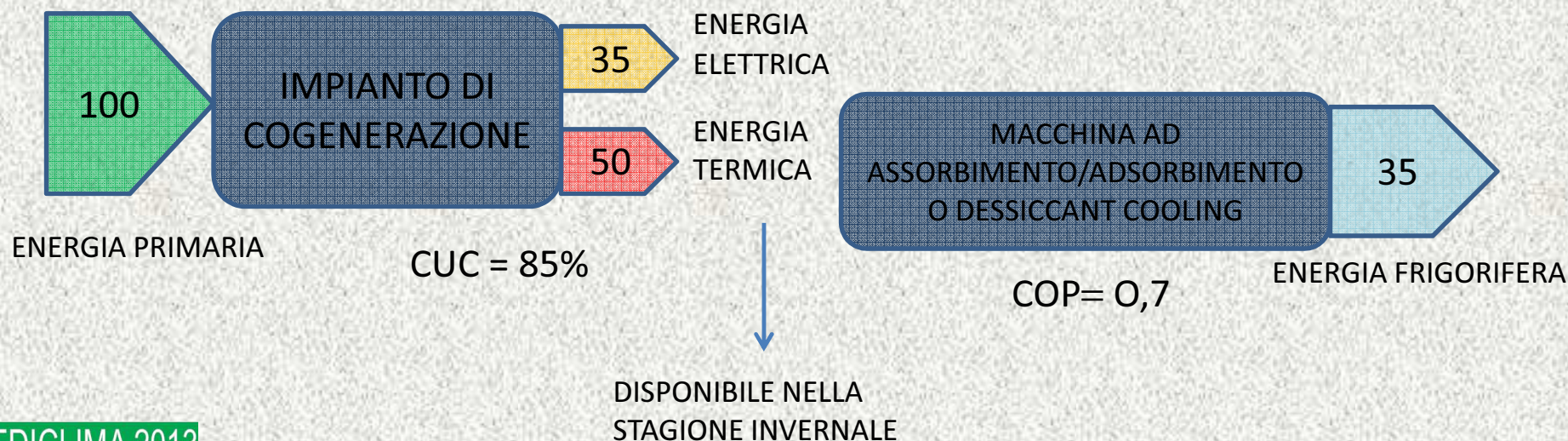


Il Risparmio di Energia Primaria (REP) mediamente conseguito è circa del 25% e per questo la tecnologia viene incentivata per mezzo del D.M. 05/09/2011 che introduce l'indice del **PES** (**P**Primary **E**nergy **S**aving) per la definizione di **CAR** (**C**ogenerazione ad **A**lto **R**endimento)

La trigenerazione

L'utilizzo di energia termica per la produzione di energia frigorifera, consente di ottenere un sistema di trigenerazione. Le tecnologie attualmente disponibili per la trigenerazione sono:

1. Sistemi ad assorbimento o adsorbimento - **controllo di temperatura**
2. Sistemi a ruota entalpica con materiali essiccanti (Desiccant Evaporative Cooling, **DEC**) – **controllo di temperatura e umidità relativa**



Tecnologie disponibili per la microcogenerazione

Motori a combustione interna

- Sono i più utilizzati per la semplicità impiantistica, bassi costi di acquisto e affidabilità
- Presentano lo svantaggio di avere una certa rumorosità e richiedere frequenti interventi di manutenzione
- Utilizzano gas naturale e biogas (a ciclo Otto) e gasolio, biodiesel e olio vegetale (a ciclo Diesel)
- Presentano alcune problematiche sulla combustione di **syngas prodotto da biomassa legnosa con processi di piro-gassificazione** (utilizzatissimi con processi anaerobici)



Motori Stirling

- Tecnologia a combustione esterna: possono utilizzare combustibili tradizionali meno pregiati (a basso costo), ma soprattutto **biomasse** sottoposte a processi di piro-gassificazione o combustione in caldaia
- Presentano minore necessità di manutenzione dei motori a combustione interna
- Costi più elevati di investimento ed ingombri maggiori
- Sono stati commercializzati prodotti di piccolissima taglia (da 1 e 5 kW elettrici) alimentati a pellet



Microturbine a gas a combustione interna o esterna

- Presentano elevati rendimenti elettrici e termici
- Possono essere alimentati anche da biomassa (se a combustione esterna) – piccola CHP
- Presentano minori rumorosità ed emissioni inquinanti rispetto ai MCI
- Costi più elevati di investimento e ingombri maggiori



Tecnologie disponibili per la microcogenerazione

Micro e mini cicli Rankine (e ORC)

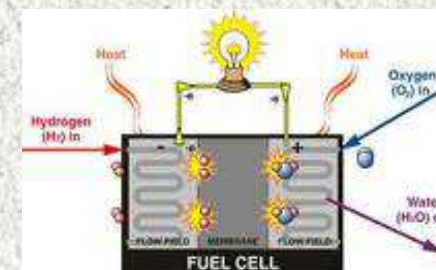
Il calore viene introdotto per combustione esterna in una caldaia e trasferito al fluido di lavoro (vapor d'acqua o un fluido organico - Organic Rankine Cycle, ORC, per impianti più grandi), il quale muove una turbina per la produzione di energia elettrica. È particolarmente indicato per impianti di piccola e media taglia alimentati a biomassa (cippato). Sono disponibili ad alta e bassa temperatura. Tecnologia affidabile e buoni rendimenti a carichi parziali. Sono disponibili oggi sistemi a partire da 10 kW elettrici a bassa temperatura di scarico (45 °C).



Celle a combustibile

Possono essere considerate un'evoluzione delle comuni batterie: trasformano energia chimica in energia elettrica e termica, senza alcun processo di combustione.

- Al momento, utilizzano principalmente idrogeno come combustibile, che ha scarsissima diffusione o costi elevati di produzione
- Tecnologia che presenta costi ancora molto elevati
- Presentano elevati valori di efficienza elettrica e termica di conversione ed emissioni praticamente nulle, assenza di parti in movimento



Altre tecnologie per la microcogenerazione a biomassa solida

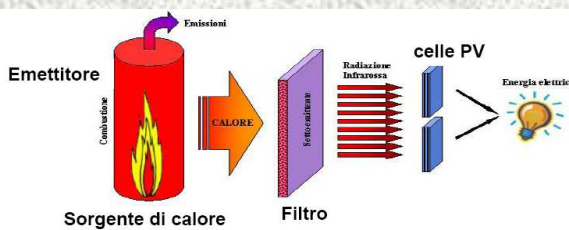
Motori alternativi a vapore (spilling)

- Utilizzano la stessa tecnologia delle vecchie locomotive a vapore (tra i 15 e i 60 bar)
- Tecnologie affidabili **soprattutto per le piccole taglie**, ma richiedono la presenza di un conduttore di impianto qualificato per via della produzione di vapore ad elevata pressione (oneri di gestione elevati)
- Possibilità di regolazione dell'indice elettrico grazie allo spillamento del vapore
- Bassi rendimenti elettrici (massimo del 18%) ed elevati indici termici (rapporto energia termica/energia elettrica superiore a 5)



Sistemi termofotovoltaici PTV

L'energia termica prodotta nella camera di combustione viene filtrata ed assorbita da una cella fotovoltaica sensibile all'infrarosso, che la converte in energia elettrica



- Può utilizzare combustibili di varia natura (biogas, bio-oli, biomasse, oli vegetali ecc.)
- È una tecnologia particolarmente indicata nella microcogenerazione domestica
- Presenta emissioni molto basse, silenziosità, ma elevati rapporti Pt/Pel (anche superiori a 20)
- Tecnologia ancora in fase di ingegnerizzazione

Altre tecnologie per la microcogenerazione da fonte solare

Pannelli solari ibridi



Motori stirling con concentratori parabolici solari

- L'energia termica viene trasferita a un gas (elio) che viene riscaldato fino a 800 °C per la combustione in un motore stirling
- Tecnologia ancora in fase sperimentale
- Sono in fase di produzione prototipi per applicazioni domestiche da 3,5 kW_{el} (temperature dell'elio di 300 °C)



Tecnologie MCHP con biomasse legnose	Potenza elettrica minima [kW]	Rendimenti elettrici [η]
Motore alternativo a vapore	50	10% - 18 %
Sistemi a ciclo ORC	10	10% - 18 %
Motori stirling	1	8% - 22 %
Motori a combustione interna	40	14% - 34 %

Tecnologie disponibili per la trigenerazione

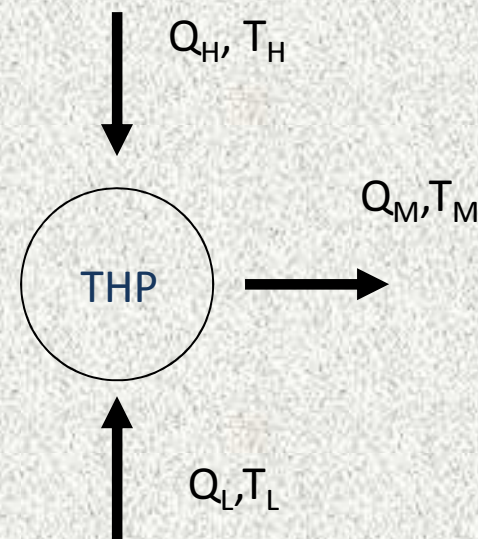
Macchine frigorifere ad assorbimento e adsorbimento

Le macchine frigorifere alimentate da vettori termici (Thermally activated Heat Pump – THP) sono caratterizzate da tre livelli di temperatura:

- livello di alta temperatura (T_H) - alimentazione termica del processo; cui è associata una quantità di energia termica Q_H
- livello di bassa temperatura (T_L) – ciclo di refrigerazione; energia termica Q_L
- livello di media temperatura (T_M) – energia termica di dissipazione della macchina, Q_M .

Indice di prestazione della macchina:

$$\text{Energy Efficiency Ratio (EER)} = \frac{Q_L}{Q_H}$$

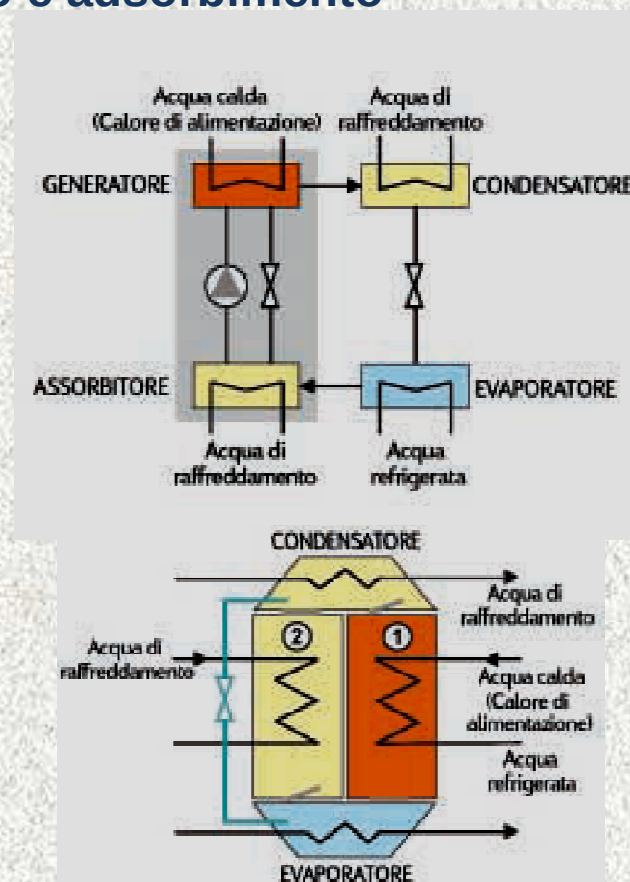


Tecnologie disponibili per la trigenerazione

Macchine frigorifere ad assorbimento e adsorbimento

Le macchine THP:

- Si basano sull'effetto frigorifero determinato dall'assorbimento di una sostanza (NH_3 o H_2O) in un'altra definita "assorbente" (H_2O o LiBr). Il processo di trasformazione avviene in fase liquida, **ABsorber Heat Pump – ABHP**
- Quando vengono usate sostanze solide come assorbenti (zeolite o silica gel) si parla di sistemi ad adsorbimento (**ADsorber Heat Pump – ADHP**)
- Esistono anche nuovi brevetti che utilizzano tre stati: solido, liquido e gassoso, sfruttando le proprietà del sale CILi.



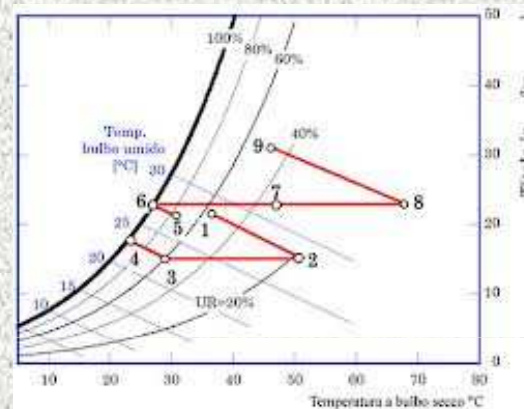
Tecnologie disponibili per la trigenerazione

Macchine frigorifere a ruota entalpica con materiali essicanti (dessicant cooling)

Sistemi che utilizzano gel di silicio come adsorbente e determinano **trasformazioni adiabatiche isoentalpiche** dell'aria che lo attraversa.

Il processo è rigenerativo per mezzo di somministrazione di energia termica. A tale scopo viene utilizzata una ruota definita entalpica per via della trasformazione subita dall'aria che la lambisce.

Il sistema può essere quindi facilmente integrato ad impianti cogenerativi o solari.



Trasformazioni dell'aria di immissione:

1-2 deumidificazione adiabatica in ruota entalpica

2-3 preriscaldamento su scambiatore ruotante

3-4 umidificazione

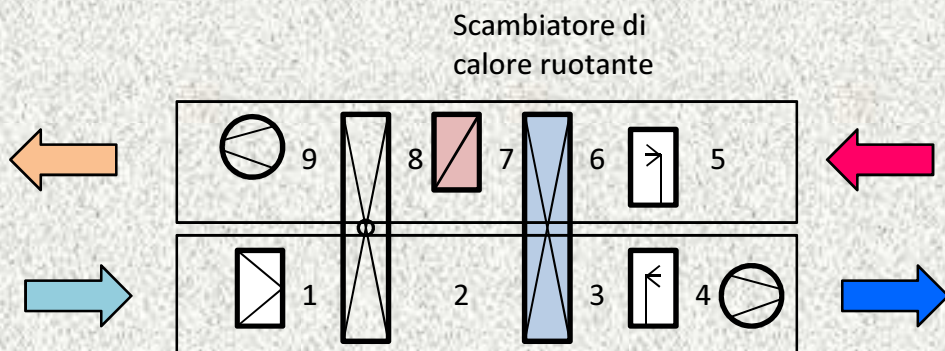
Trasformazioni dell'aria di ripresa:

5-6 umidificazione (che amplifica il potere di scambio)

6-7 preriscaldamento nello scambiatore rotante

7-8 riscaldamento per la rigenerazione della ruota (fino a 50-75 °C)

8-9 umidificazione adiabatica nella ruota entalpica



Tecnologie disponibili per la trigenerazione



Acqua e bromuro di litio



Cloruro di litio

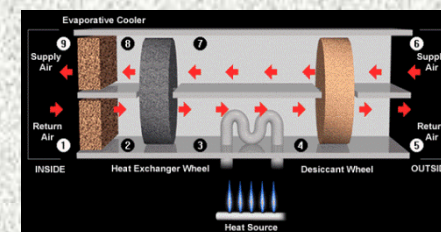


Silica gel



Macchine frigorifere ad assorbimento e adsorbimento

Sistemi DEC



Silica gel

PES (Primary Energy Saving) e CAR (Cogenerazione Alto Rendimento)

Il D.M. 5/9/11 che recepisce la direttiva 2004/8/CE introduce il concetto di Risparmio di Energia Primaria come valore minimo da rispettare per accesso alle agevolazioni (riconoscimento CAR):

$$PES = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_{el,CHP}}{\eta_{el,ST}} + \frac{\eta_{th,CHP}}{\eta_{th,ST}}} > PES_{min}$$

Se $P_{el} \geq 1 \text{ MW} \longrightarrow PES > 0,1$

Se $P_{el} < 1 \text{ MW} \longrightarrow PES > 0$

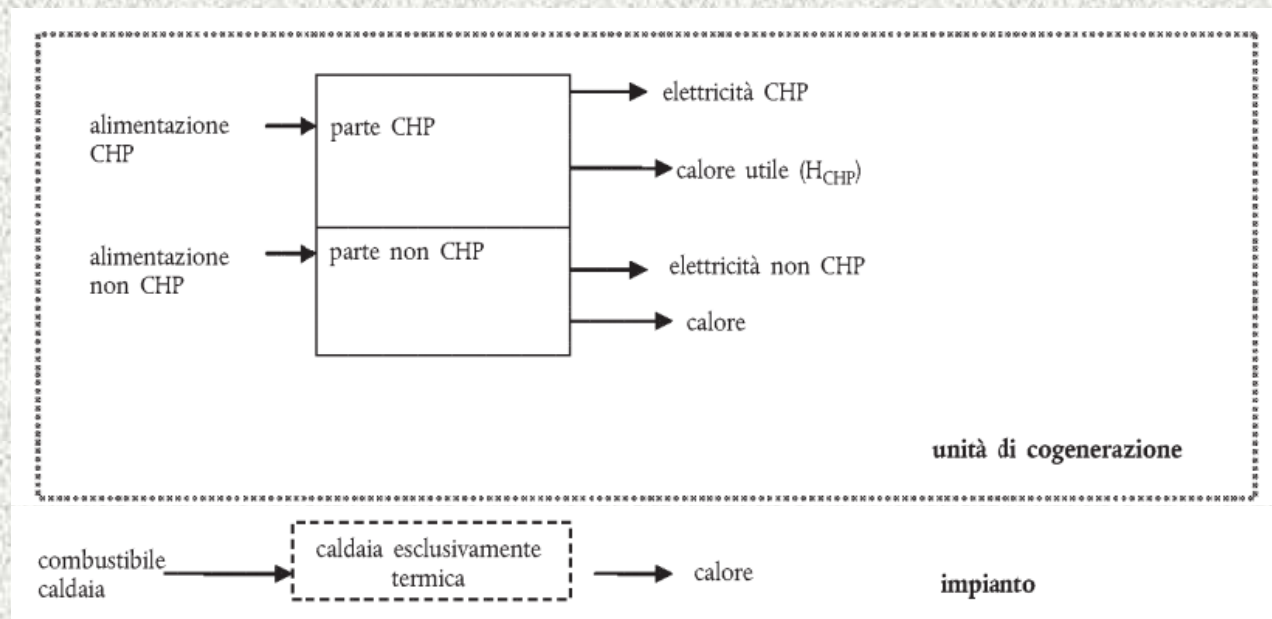
$$PES = 1 - \frac{\frac{E_{el,CHP}}{\eta_{el,ST}} + \frac{E_{th,CHP}}{\eta_{th,ST}}}{\frac{E_{el,CHP}}{\eta_{el,ST}} + \frac{E_{th,CHP}}{\eta_{th,ST}}} > PES_{min}$$

Il PES consente di valutare l'efficienza operativa del sistema cogenerativo per mezzo dei rendimenti

La prima condizione da verificare è il Coefficiente di Utilizzo del Combustibile inteso come rapporto tra l'energia prodotta (elettrica + termica) e l'energia primaria di alimentazione

Tecnologia cogenerativa	condizione	valore dell'energia elettrica da cogenerazione, E'_e , da introdurre nel calcolo del PES
- turbine a gas a ciclo combinato con recupero di calore - turbine a presa di vapore e condensazione	$\frac{E_e + E_t}{E_c} > 0,80$	tutta l'elettricità prodotta dall'impianto $E'_e = E_e$
	$\frac{E_e + E_t}{E_c} < 0,80$	solo parte dell'elettricità prodotta $E'_e = CE_t < E_e$
- tutti gli altri impianti	$\frac{E_e + E_t}{E_c} > 0,75$	tutta l'elettricità prodotta dall'impianto $E'_e = E_e$
	$\frac{E_e + E_t}{E_c} < 0,75$	solo parte dell'elettricità prodotta $E'_e = CE_t < E_e$

Sistemi di Micro/Co e Tri-generazione per l'energia



Nel caso in cui i limiti di 0,80 e 0,75 non siano rispettati si valuta l'energia elettrica prodotta come $E_e' = E_t \times C$ (essendo C il rapporto tra energia elettrica e energia termica **effettivo**).

Il PES viene calcolato solo sulla quota cogenerata.

I valori dei rendimenti di riferimenti sono tabellati in funzione della tecnologia considerata.

Incentivi e agevolazione riconosciute alla CAR

La cogenerazione è incentivata con:

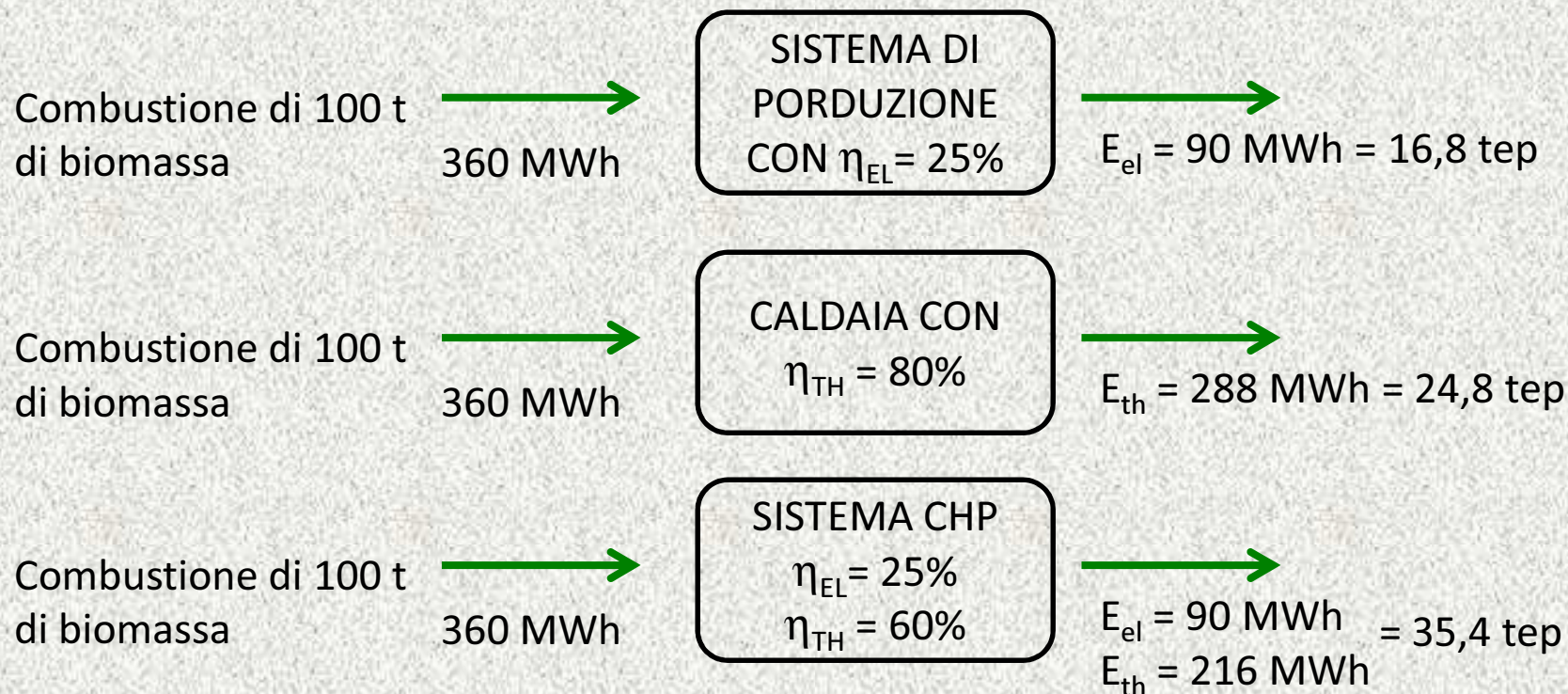
1. D.M. del **5/9/2011** per impianti alimentati da fonti non rinnovabili per mezzo di TEE dedicati riconosciuti per un periodo di 10 anni, aumentati a 15 nel caso di teleriscaldamento;
2. premi sulla **tariffa omnicomprensiva (TO)** previsti dal D.M. del 6 luglio 2012, variabili in funzione della taglia e della tipologia di impianto, dedicata agli impianti alimentati da fonti rinnovabili

Le agevolazioni riguardano:

1. Priorità di dispacciamento dell'energia elettrica prodotta.
2. Esenzione dall'obbligo di acquisto dei CV per i soggetti obbligati (produttori e importatori di energia da fonti non rinnovabili eccedenti i 100 GWh)
3. Condizioni di ritiro di energia elettrica dedicata e scambio sul posto (con esclusione degli impianti che accedono alla TO).
4. Semplificazioni autorizzative e fiscali per gli impianti di microcogenerazione ($P_{el} < 50$ kW) alimentati a gasolio, GPL e gas naturale.

Fonti rinnovabili: perché favorire la cogenerazione

Impianto di produzione di energia elettrica alimentato a biomassa



Fonti rinnovabili: perché favorire la cogenerazione

Dove è necessario pianificare la valorizzazione energetica di biomassa di scarto, la sola **generazione termica è sempre da favorire** alla sola generazione elettrica per evidenti vantaggi energetici.

A questo vantaggio andrebbe aggiunto quello ambientale derivante dall'eliminazione di emissioni dovute alla combustione di combustibili fossili per la produzione termica nelle immediate vicinanze, che nel caso di energia elettrica non si presenta.

Tuttavia la scelta della **cogenerazione** è quella da **privilegiare** in quanto somma sia gli effetti energetici (**+110% di TEP risparmiati** rispetto alla sola produzione di energia elettrica e **+43%** rispetto alla sola produzione termica) che quelli ambientali.



È necessario eseguire una corretta fattibilità in base alle utenze esistenti

Condizioni di applicabilità della cogenerazione

Un impianto di poligenerazione presenta la peculiarità di produrre contemporaneamente più forme di energia (elettrica, termica e/o frigorifera)



Risulta fondamentale individuare i **livelli termici** richiesti dall'utenza e i **profili di carico termico/frigorifero ed elettrico** dell'utenza su scala giornaliera, mensile, annuale allo scopo di:

1. **scegliere la tecnologia** più opportuna tra quelle disponibili sul mercato
2. **dimensionare l'accumulo termico** in modo opportuno
3. eseguire una corretta fattibilità tecnico/economica dell'investimento



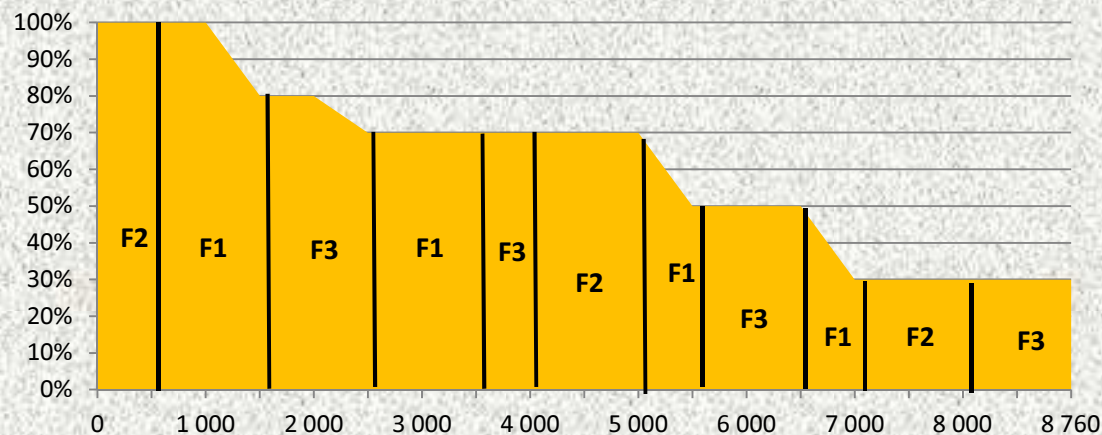
Attenzione! Non tutte le utenze sono indicate per questo tipo di applicazione

Analisi di fattibilità: approccio di base

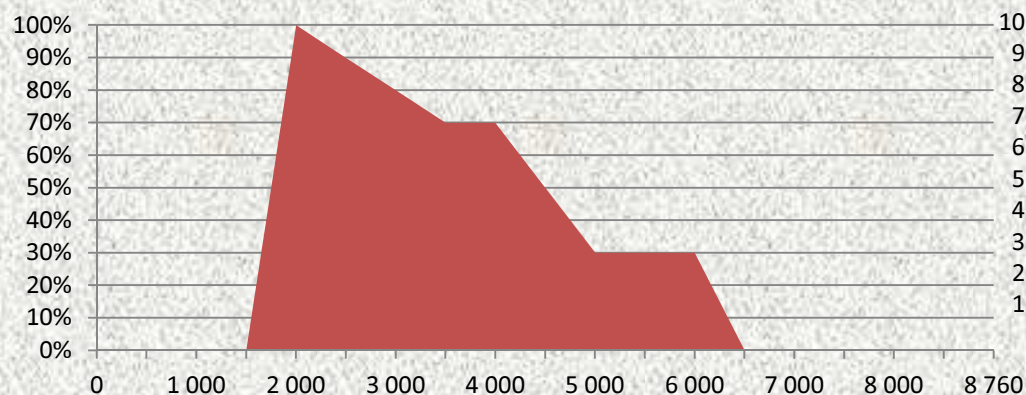
1. Individuare i livelli termici necessari all'utenza termica o frigorifera da alimentare. Spesso l'ottimizzazione dell'energia elettrica prodotta con il minimo consumo comporta una riduzione del livello termico al di sotto del valore minimo necessario!
2. È necessario negli impianti cogenerativi di piccola dimensione considerare l'energia elettrica come sottoprodotto della generazione termica.
3. L'utenza che necessita di energia termica spesso non coincide con i punti più baricentrici favorevoli all'approvvigionamento. È necessario quantificare i costi/benefici che derivano dal reperimento della biomassa e dalla distanza di conferimento dell'energia termica!
4. Favorire la generazione distribuita tramite impianti di micro-poligenerazione che possono utilizzare minori quantitativi di biomassa reperiti unicamente nel territorio circostante (**filiera corta** entro un raggio di 70 km ai sensi degli art. 9 e 10 del D.lgs 102/2005 , in tal modo la filiera può essere considerata sostenibile).
5. Ridurre le perdite dovute al trasporto energetico.

Composizione dei profili di carico delle utenze

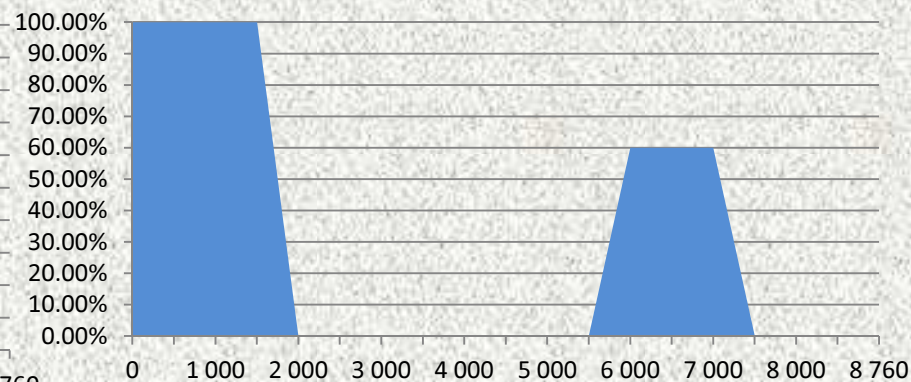
Profilo di potenza elettrica



Profilo di potenza termica



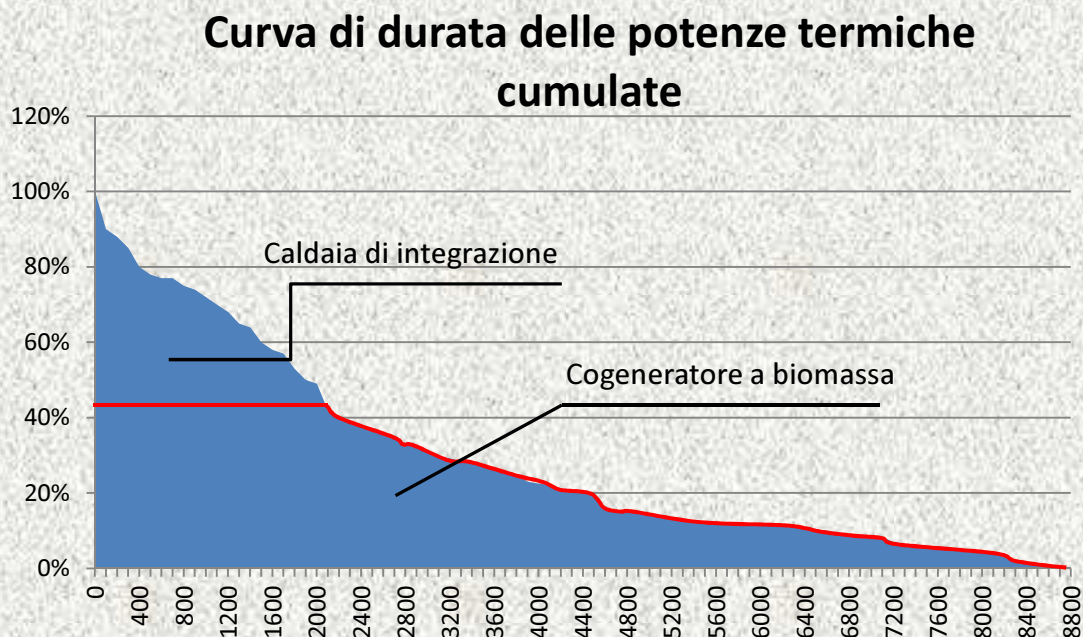
Profilo di potenza frigorifera



La curva di durata

La corretta progettazione di un impianto di cogenerazione parte dall'analisi del **diagramma di carico dei consumi**, che consente la scelta di un impianto con il maggior numero di ore di funzionamento: in tal modo l'impianto sarà scelto in modo da parzializzare il meno possibile il proprio funzionamento.

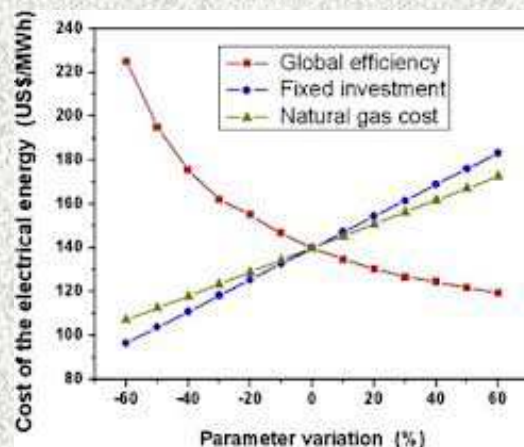
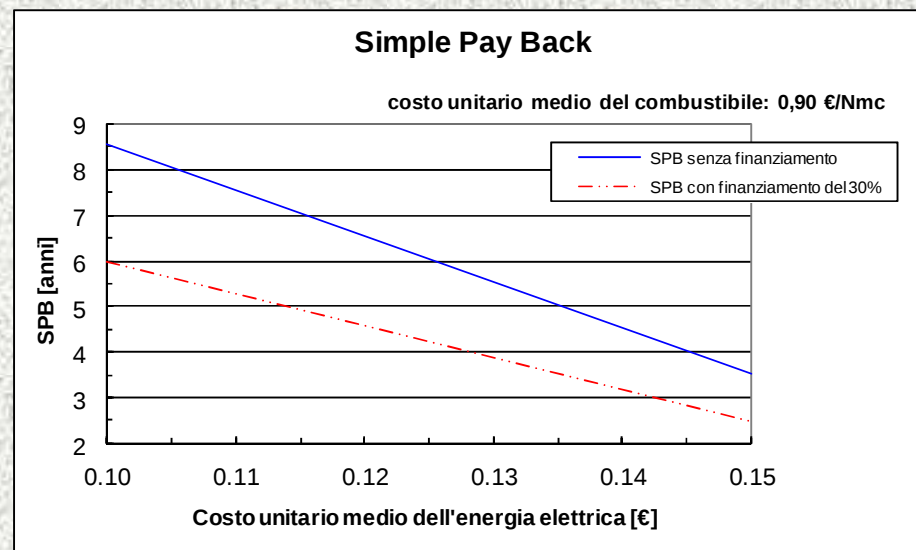
Nell'esempio riportato a fianco il cogeneratore alimentato a biomassa (linea rossa) è in grado di fornire la maggior parte dell'energia termica necessaria all'utenza e di mantenere un funzionamento a pieno carico di 2000 ore.



Gli studi di fattibilità e analisi di sensibilità

È bene accompagnare le **analisi di sensibilità** a tutti gli studi di fattibilità in modo da individuare le variazioni dei seguenti parametri economici fondamentali al variare di determinate condizioni (costi energetici, uso dell'energia elettrica, ore di funzionamento ecc.)

- Simple o Discounted Pay Back (SPB o DPB)
- valore attuale netto
- tasso interno di redditività
-



Diagrammi come quelli riportati in figura consentono di misurare l'incidenza dei principali fattori di influenza dell'investimento, quantificando la pendenza della curva rispetto alle variazioni percentuali.

Per ulteriori informazioni:

PhD. Ing. Raffaello Possidente
S.E.S.CO. Srl

Via Nazario Sauro, 12 – 09123 Cagliari
Tel. +39 0705511744
Cell +39 3496674814

raffaello.possidente@sescoenergia.com

Grazie per l'attenzione