



FONDO EUROPEO DI SVILUPPO REGIONALE



INSIEME OLTRE
I CONFINI ENSEMBLE
PAR-DELA LES FRONTIERES



Progetto strategico n.III Renerfor



Conferenza finale
Aosta – 9 maggio 2013



TECNOLOGIE PER LA CONVERSIONE ENERGETICA DELLE BIOMASSE LEGNOSE

Roberta ROBERTO
ENEA – Unità Tecnica Tecnologie Saluggia



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



Conversione energetica



processo
termochimico

energia termica



processo
termochimico +
ciclo
termodinamico

**energia elettrica
e termica (CHP)**



processo
biochimico

**biocombustili
biocarburanti**



Conversione energetica

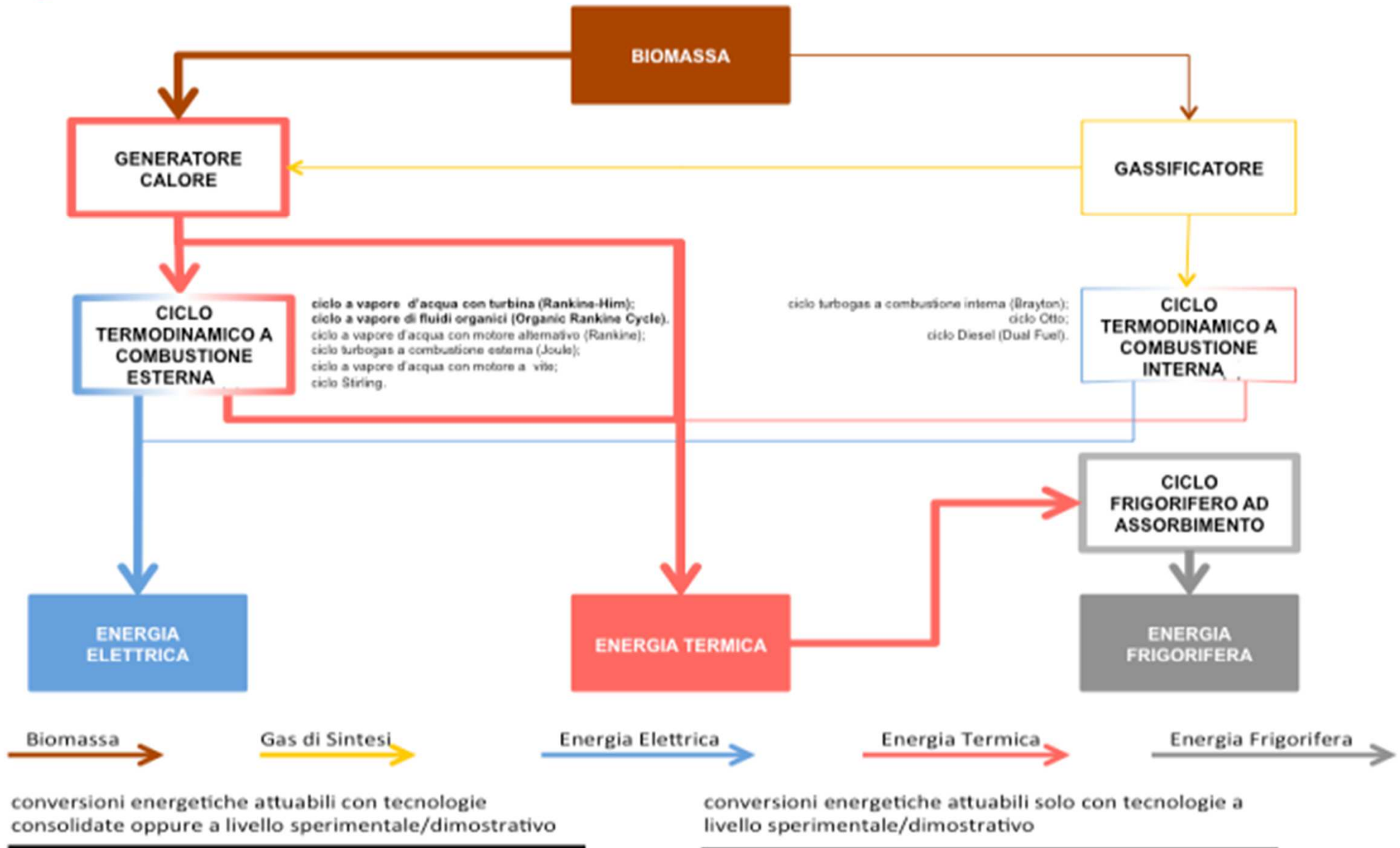


Aspetti chiave:

- tipologia di **applicazione** (residenziale, terziario, industriale, etc.);
- **taglia** termica ed elettrica (disponibilità, fabbisogni, etc.);
- **rendimento** (termico, elettrico del ciclo termodinamico, elettrico in assetto cogenerativo, globale);
- **emissioni** (emissioni in atmosfera, reflui e scarti).



Processi di conversione energetica





Tecnologie



apparecchi
(cucine, caminetti,
stufe)
caldaie

energia termica



caldaia
+
turbina a vapore
ORC

**energia elettrica e
termica (CHP)**



Tecnologie (focus)





t r a

| Applicazione | Tipo | Potenza tipica | Combustibile | Tenore idrico |
|--|--|-----------------|---------------------------------------|---------------|
| Riscaldamento | apparecchi a legna | 5 kW ÷ 35 kW | tronchetti di legno | 5% ÷ 20% |
| | caldaie a legna | 5 kW ÷ 150 kW | tronchetti di legno | 5% ÷ 30% |
| | apparecchi e caldaie a pellet | 4 kW ÷ 200 kW | pellet | 8% ÷ 10% |
| | caldaie a cippato | 5 kW ÷ 300 kW | cippato | ! |
| Energia termica (riscaldamento, usi di processo) energia elettrica cogenerazione | forni di tipo 'understocker' | 20 kW ÷ 2,5 MW | cippato, scarti di legno | 5% ÷ 50% |
| | forni a griglia mobile | 150 kW ÷ 15 MW | varie tipologie di legno e biomassa | 5% ÷ 60% |
| | forni di tipo 'understocker' con griglia rotante | 2 MW ÷ 5 MW | cippato | 40% ÷ 65% |
| | cigar burner | 3 MW ÷ 5 MW | balle di paglia | 20% |
| | whole bale furnaces | 12 kW ÷ 50 kW | balle di paglia | 20% |
| | letto fluido stazionario | 5 MW ÷ 15 MW | varie tipologie di biomassa, d < 10mm | 5% ÷ 60% |
| | letto fluido circolante | 15 MW ÷ 100 MW | varie tipologie di biomassa, d < 10mm | 5% ÷ 60% |
| | bruciatore a combustibile polverizzato | 5 MW ÷ 10 MW | varie tipologie di biomassa, d < 5mm | < 20% |
| Energia elettrica cogenerazione | letto fluido stazionario (co-firing*) | 50 MW ÷ 150 MW | varie tipologie di biomassa, d < 10mm | 5% ÷ 60% |
| | letto fluido circolante (co-firing*) | 100 MW ÷ 300 MW | varie tipologie di biomassa, d < 10mm | 5% ÷ 60% |



Produzione di energia termica






| APPLICAZIONI TIPICHE | CAMPO DI UTILIZZO | TIPOLOGIE DI APPARECCHI | FLUIDO TERMOVETTORE | POTENZA NOMINALE TIPICA |
|--|---------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
|  | Riscaldamento diretto ambienti | apparecchi a tronchetti | aria | 5 ÷ 30 kW |
| | | apparecchi a pellet | | 5 ÷ 30 kW |
|   | Riscaldamento diretto ambienti | Apparecchi a tronchetti | Acqua | 5 ÷ 30 kW |
| | Riscaldamento intera abitazione | Apparecchi a pellet | | 5 ÷ 30 kW |
|   | Riscaldamento | Caldaie a legna | acqua | 15 ÷ 150 kW |
| | | Caldaie a pellet | | 15 ÷ 300 kW |
| | | Caldaie a cippato | | > 100 kW |



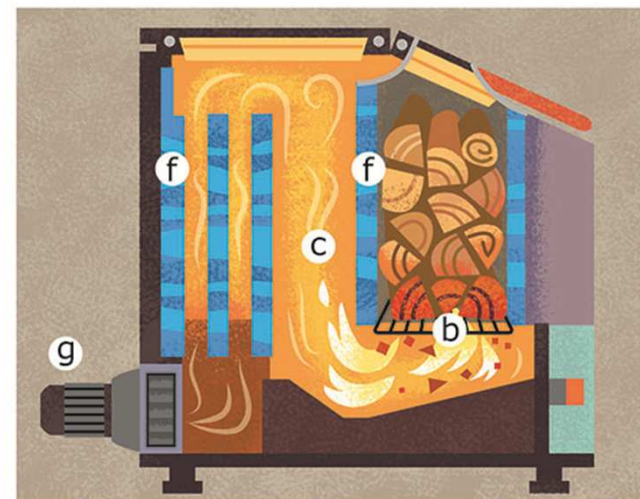
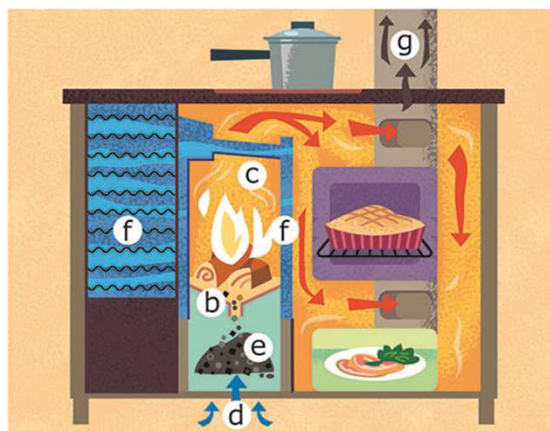
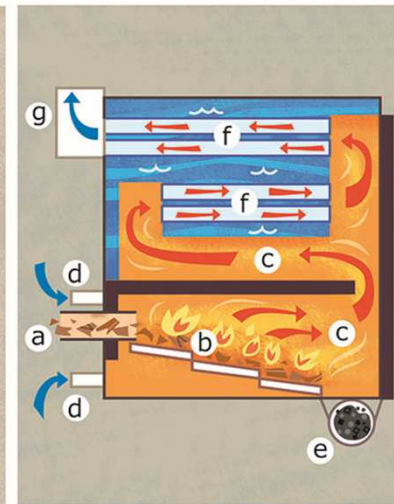
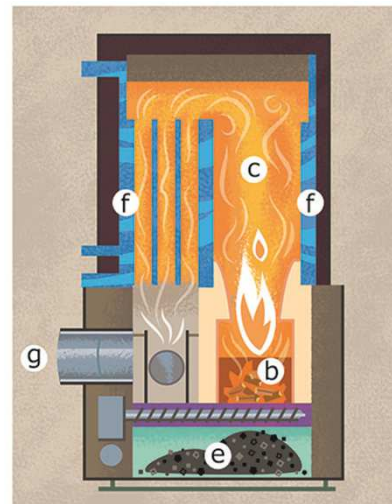
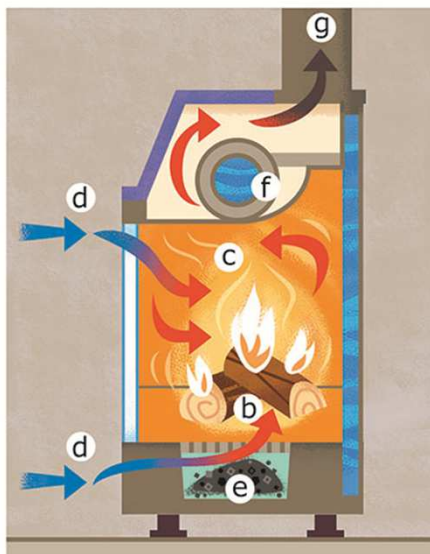
Produzione di energia termica



| APPLICAZIONI TIPICHE | CAMPO DI UTILIZZO | TIPOLOGIE DI APPARECCHI | FLUIDO TERMOVETTORE | POTENZA NOMINALE TIPICA |
|---|---|-------------------------|---------------------|-------------------------|
|  | Produzione di energia termica ed elettrica | Caldaie a cippato | Olio diatermico | > 1.000 kW |
|   | Calore e vapore di processo Produzione di energia termica ed elettrica | Caldaie a cippato | Vapore | > 5.000 kW |



Produzione di energia termica



Apparecchi:

ciocchi di legna, bricchette o pellet

Caldaie:

ciocchi di legna, pellet o cippato



Produzione di energia elettrica e termica

alcootra

TECNOLOGIE
CONSOLIDATE

TECNOLOGIE IN
FASE DI SVILUPPO

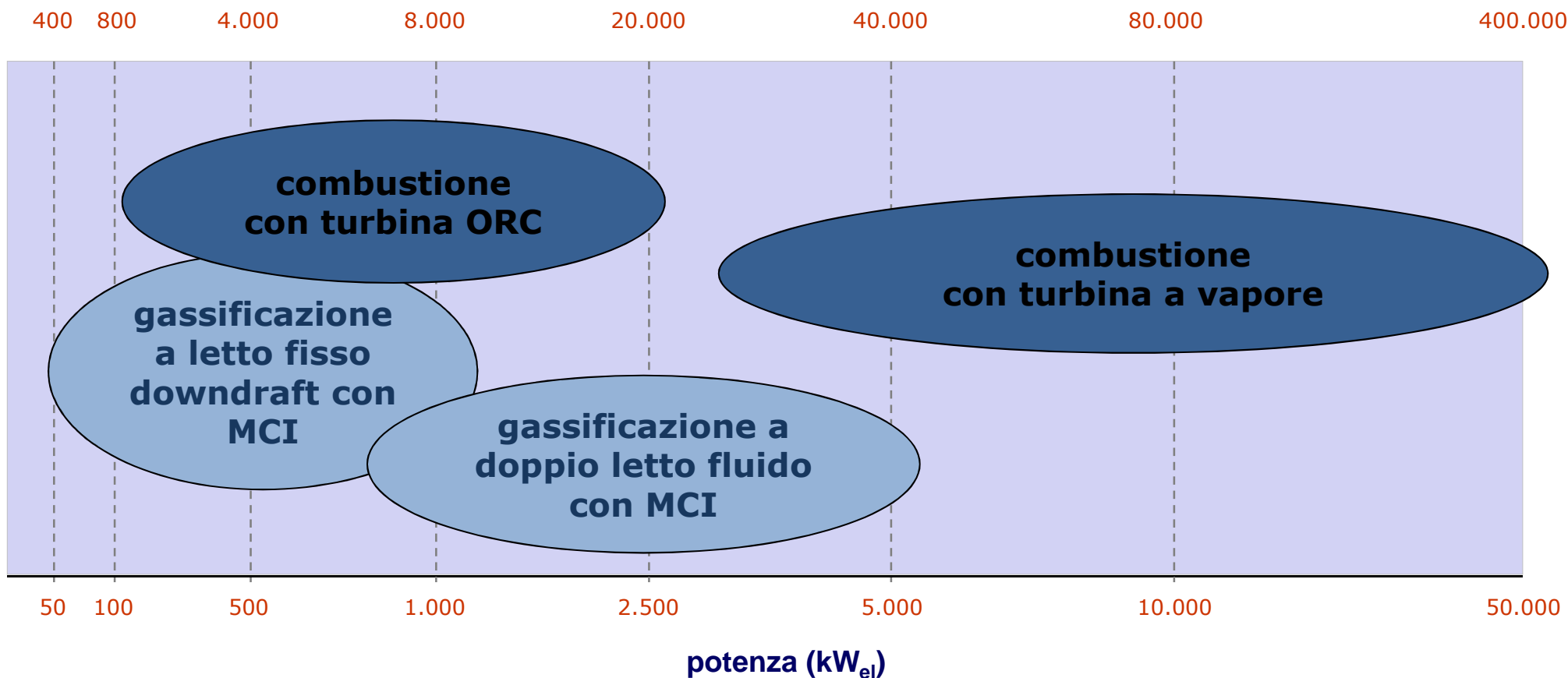
| rendimento conversione | rendimento ciclo termodinamico | rendimento totale | potenza elettrica tipica | potenze termica tipica |
|--|--|-------------------|--------------------------|------------------------------|
| η_{GC} [%] | η_{CT} [%] | η_e [%] | P_e [kW _e] | P_{th} [kW _{th}] |
| generatore calore 80÷85 | ORC 12÷24 | 10÷20 | 500 ÷ 1.500 | 2.500 ÷ 5.000 |
| generatore calore 85 | turbina a vapore 25÷35 | 21÷30 | 5.000 ÷ 150.000 | 15.000 ÷ 350.000 |
| generatore calore 85 | motore a vapore (a pistonni o a vite) 10÷15 | 9÷13 | 400 ÷ 1000 | 4000 ÷ 10000 |
| generatore calore 80 | turbogas a combustione esterna 15÷20 | 12÷16 | 50 ÷ 200 | 100 ÷ 500 |
| gassificatore 65÷75 | turbogas a combustione interna 15÷20 | 10÷15 | 150 ÷ 2.500 | 1.000 ÷ 10.000 |
| gassificatore 65÷75 | motore alternativo a comb. interna 30÷35 | 20÷26 | | |
| gassificatore + gen. di calore 60÷70 | motore alternativo a comb. esterna 15÷20 | 9÷14 | | |



Produzione di energia elettrica e termica

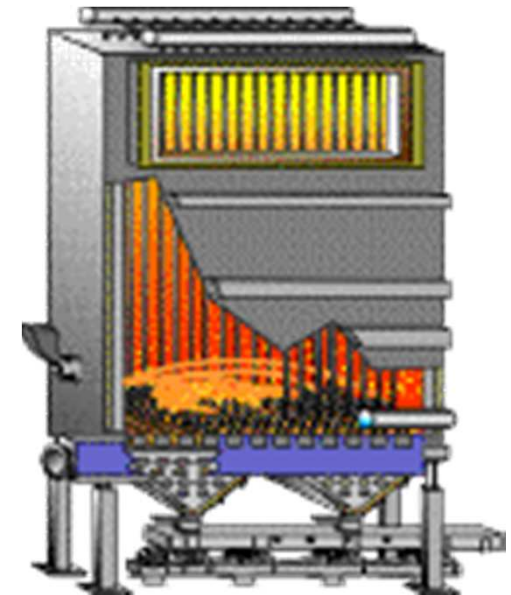
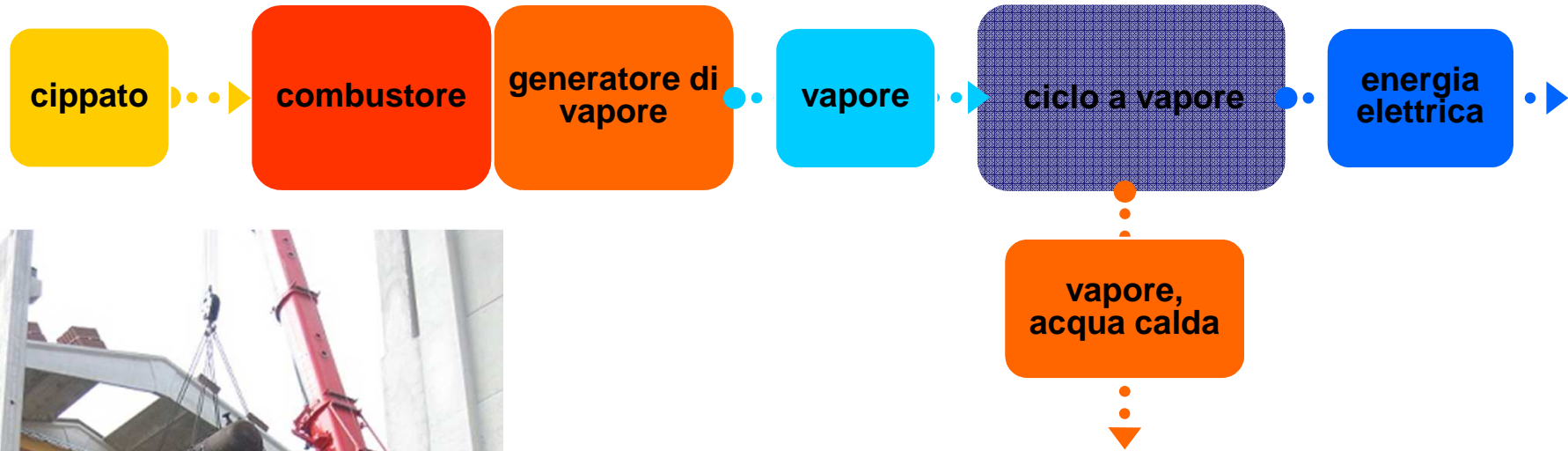


necessità annua biomassa
(tonnellate di sostanza secca)





Cogenerazione – cicli a vapor d'acqua





Cogenerazione – cicli a vapor d'acqua

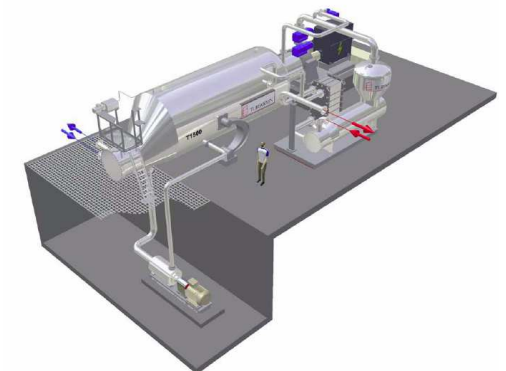
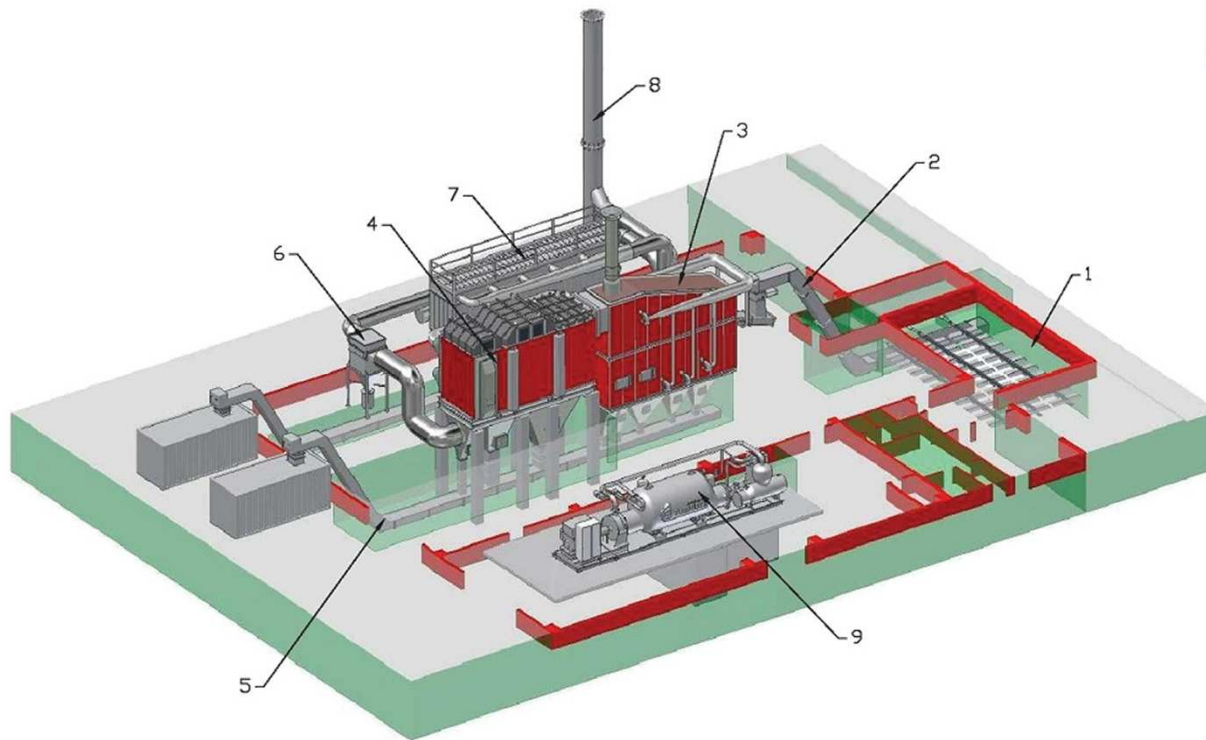
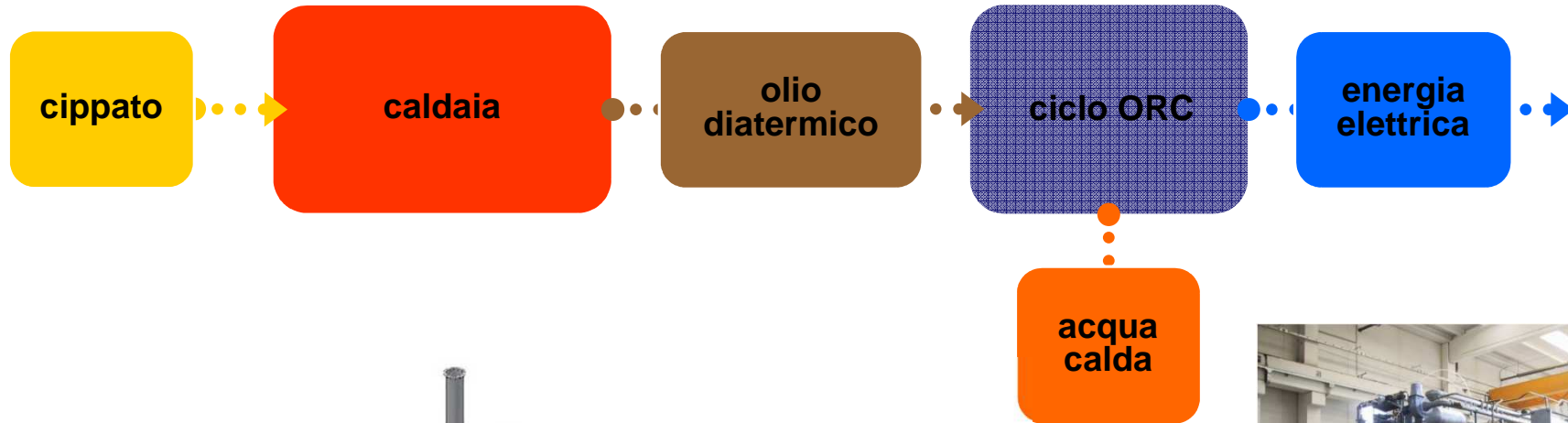


Cicli a vapor d'acqua con espansione in turbina – parametri caratteristici

| | |
|---------------------------------|--|
| Potenza elettrica netta | 5÷50 MW _e |
| Potenza termica resa | 15÷150 MW _{th} |
| Rendimento globale | fino a 85% |
| Fluido utilizzato | acqua |
| Condizioni massime di esercizio | 450 °C, 80 bar |
| Vantaggi | <ul style="list-style-type: none">▪ elevata affidabilità di esercizio▪ elevato numero di ore di utilizzo dell'impianto▪ moderati oneri di manutenzione▪ costi di investimento relativamente bassi |
| Svantaggi | <ul style="list-style-type: none">▪ sensibile riduzione del rendimento ai carichi parziali▪ impianto complesso▪ scarsa flessibilità a seguire le variazioni di carico▪ per la gestione è generalmente richiesto personale patentato e il presidio dell'impianto in continuo▪ taglie minime molto grandi per impianti di cogenerazione▪ solitamente richiedono caldaie "fuori serie" |



Cogenerazione – cicli a fluidi organici





Cogenerazione – cicli a fluidi organici



Cicli Rankine a fluido organico (ORC) – parametri caratteristici

| | |
|---------------------------------|--|
| Potenza elettrica netta | 125÷3.000 kW _e |
| Potenza termica resa | 500÷15.000 kW _{th} |
| Rendimento globale | fino a 80% |
| Fluido termovettore | fluido organico |
| Condizioni massime di esercizio | 320 °C, 30 bar |
| Vantaggi | <ul style="list-style-type: none">▪ assenza di vapore acqueo, semplificazione tecnologica e burocratica▪ bassa manutenzione▪ trasportabile in container▪ rendimento elettrico costante ai carichi parziali▪ funzionamento automatizzato e controllabile in remoto▪ elevata affidabilità▪ turbina a bassa velocità, accoppiamento con alternatore senza riduttore di giri |
| Svantaggi | <ul style="list-style-type: none">▪ alto costo di investimento▪ necessità di avere una caldaia con circuito ad olio diatermico (acqua surriscaldata per potenze piccole)▪ smaltimento dell'olio diatermico esausto |



Cicli a vapor d'acqua (*focus*)



Cicli a vapor d'acqua con espansione in turbina esempio di configurazione di impianto a biomasse legnose

| Potenze nominali | | |
|------------------------------|------------------|---------------|
| P entrante | 18,0 | <i>MW</i> |
| P caldaia | 15,5 | <i>MW</i> |
| P elettrica | 5,5 | <i>MW</i> |
| Combustibile | | |
| tipologia | cippato di legno | |
| umidità media | 35% | |
| consumo di combustibile | 18500 | <i>t/a</i> |
| PCI | 2,9 | <i>kWh/kg</i> |
| Prestazioni in cogenerazione | | |
| P termica resa | 10 | <i>MW</i> |
| P elettrica resa | 4,5 | <i>MW</i> |

| Rendimenti | | |
|------------------------|--------------------------------------|---|
| η_{el} CG | 25% | |
| η_{el} | 30% | |
| η_{th} CG | 56% | |
| η_g CG | 81% | |
| $\eta_{caldaia}$ | 86% | |
| Emissioni | | |
| linea trattamento fumi | multiciclone e filtro elettrostatico | |
| T fumi | 150 | °C |
| CO | 150 | mg/Nm ³ (11%O ₂ fumi secchi) |
| polveri | 10 | mg/Nm ³ (11%O ₂ fumi secchi) |
| NO _x | 200 | mg/Nm ³ (11%O ₂ fumi secchi) |



Cicli a fluidi organici (*focus*)



Cicli Rankine a fluidi organici (ORC)

esempio di configurazione di impianto a biomasse legnose

| Potenze nominali | | |
|-------------------------|------------------|---------------|
| P entrante | 6,0 | <i>MW</i> |
| P caldaia | 5,2 | <i>MW</i> |
| P elettrica | 1,0 | <i>MW</i> |
| Combustibile | | |
| tipologia | cippato di legno | |
| umidità media | 35% | |
| consumo di combustibile | 5500 | <i>t/a</i> |
| PCI | 2,9 | <i>kWh/kg</i> |

| Prestazioni in cogenerazione | | |
|------------------------------|-----|-----------|
| P termica utile | 4,2 | <i>MW</i> |
| P elettrica netta | 0,9 | <i>MW</i> |
| Rendimenti | | |
| η_{el} CG | 15% | |
| η_{el} | 16% | |
| η_{th} CG | 69% | |
| η_g CG | 84% | |
| $\eta_{caldaia}$ | 87% | |



Considerazioni...



Opportunità:

- fonte **rinnovabile**;
- utilizzo di **risorse locali** e **sviluppo** del territorio;
- **diversificazione** delle fonti.

Aspetti da valutare:

- **pianificazione** energetica ed ambientale (disponibilità risorse, fabbisogni, efficienza e risparmio energetico, etc.);
- **efficienza** globale di conversione;
- **aspetti ambientali**.



Stiamo lavorando su...



Elaborazione strumenti di:

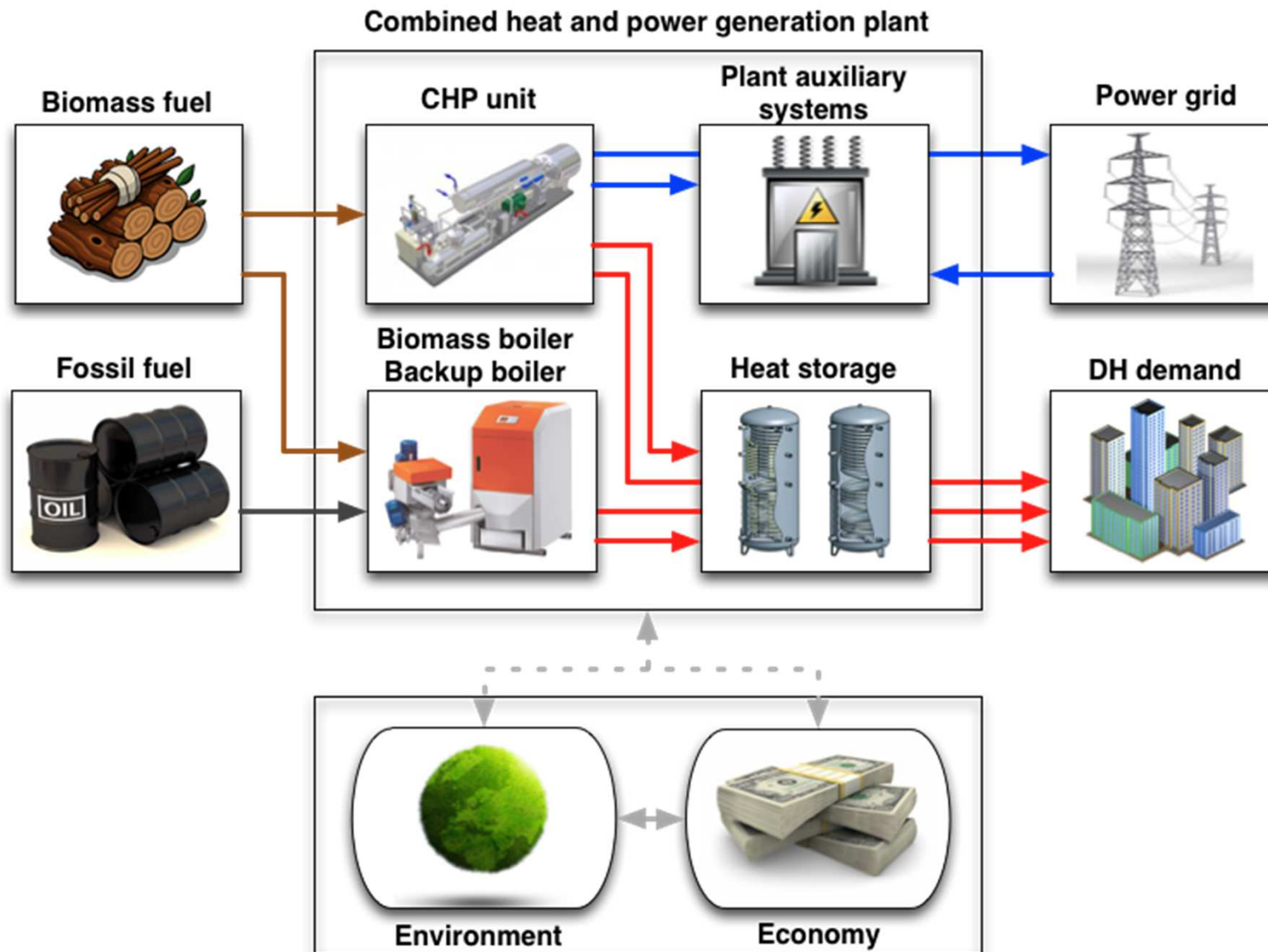
- **pianificazione** e **verifica obiettivi energetici (LEB)**;
- **simulazione** e **ottimizzazione** di configurazioni impiantistiche.

Attività di ricerca e sviluppo su:

- **sistemi** e **componenti** energetici innovativi;
- analisi e riduzione **emissioni**;
- valutazioni su **sostenibilità ambientale** ed **economica**.



Simulazione e ottimizzazione



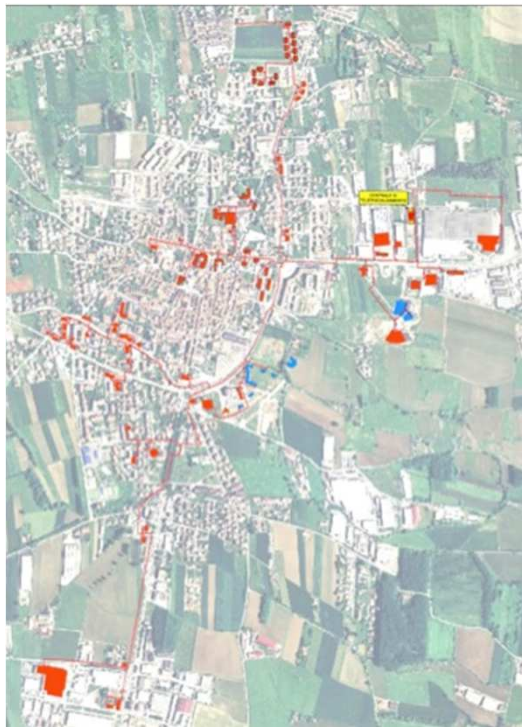
Noissan M., Cerino Abdin G., Roberto R., Poggio A., "Simulation of a district heating system with biomass-fired chp and heat storage system", MICROGEN III International Conference, Naples, April 2013



Simulazione e ottimizzazione: un caso studio



Simulazione del funzionamento reale in rete di teleriscaldamento con CHP ed accumulo termico: teleriscaldamento con caldaie a biomassa in cui viene inserito un cogeneratore ORC di 1 MW_{el} (rete con sviluppo di circa 12 km, 500.000 m³ di edifici)



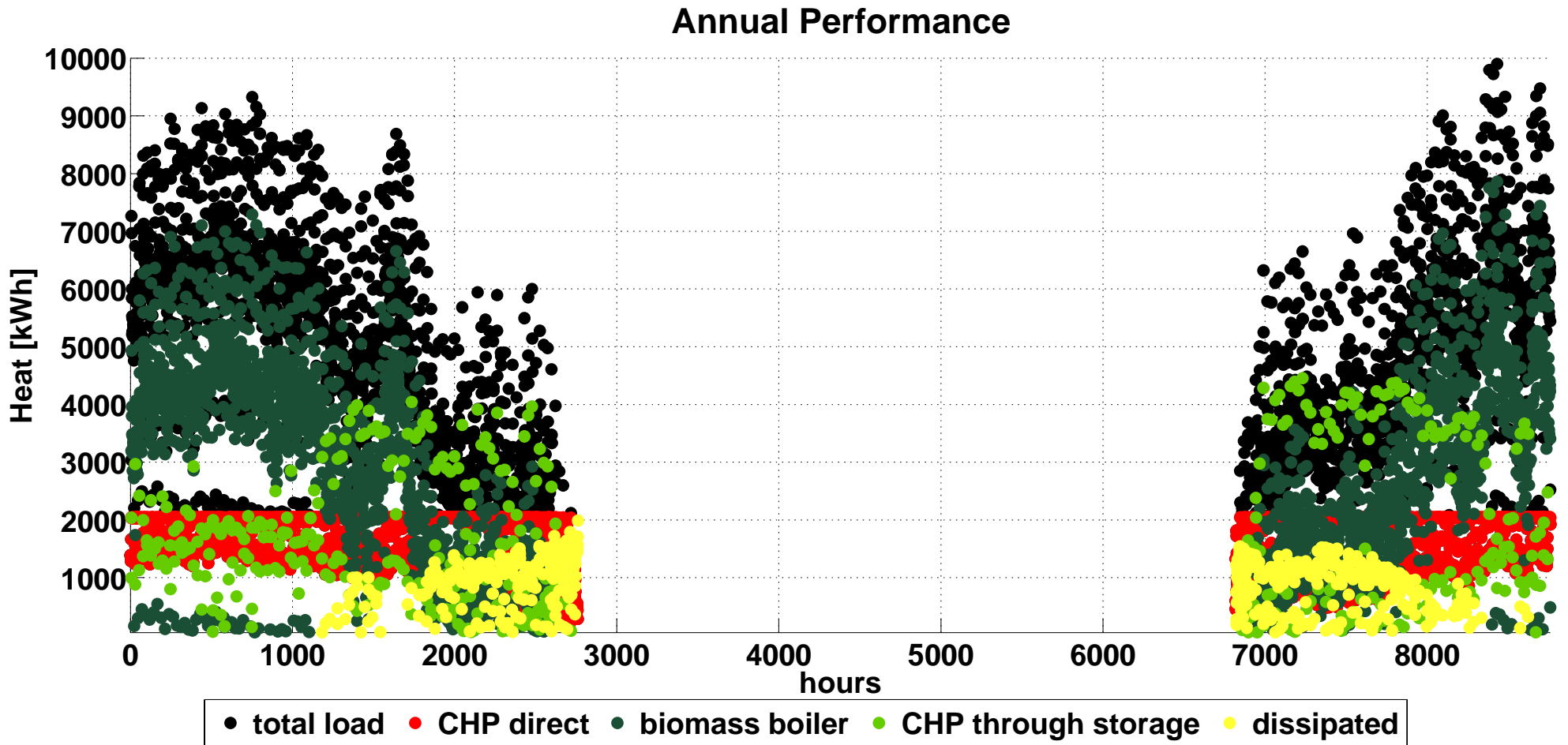
| Sistema di teleriscaldamento | | |
|------------------------------|----------------|---------|
| Volumetria servita | m ³ | 500,000 |
| Sviluppo della rete | km | 12 |
| Potenza termica nominale | MW | 13.5 |
| • Caldaie a biomassa | MW | 10.0 |
| • Caldaia a gas (backup) | MW | 3.5 |
| Energia annuale prodotta | GWh | 17 |
| Consumo annuo di biomassa | t | 9,500 |
| Perdite di rete medie | - | 15.4 % |



Simulazione e ottimizzazione: un caso studio



Dati annui di esercizio

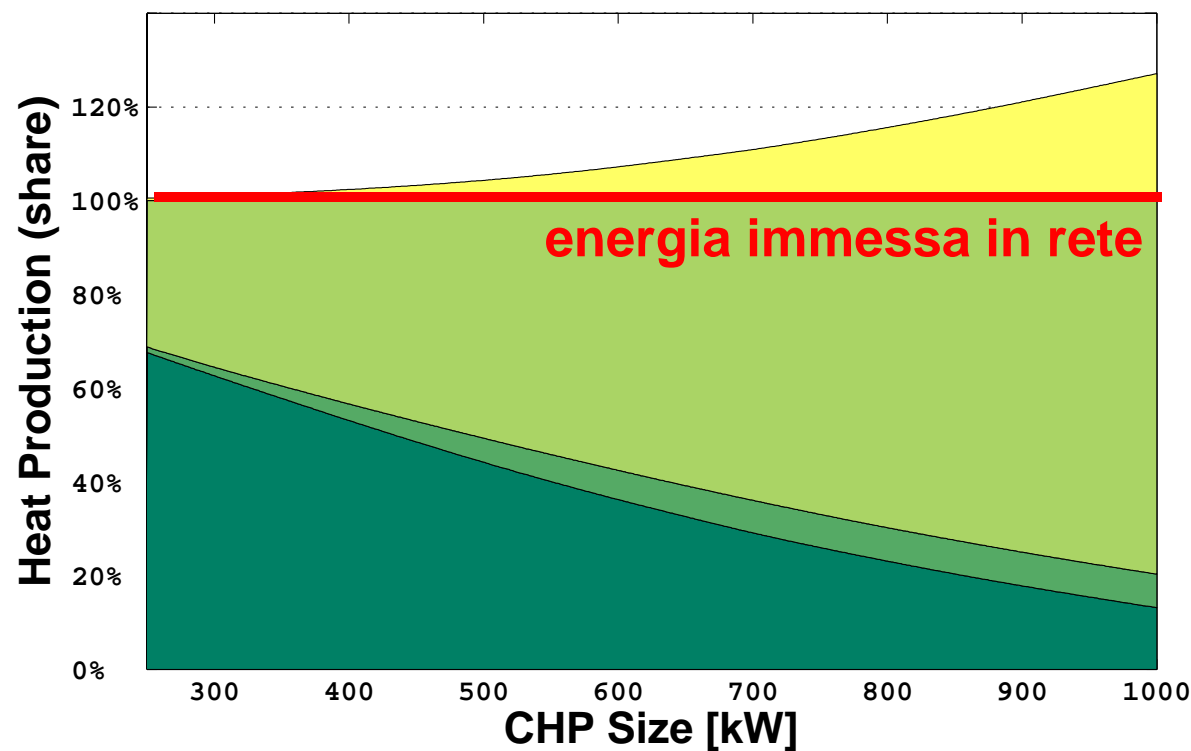




Simulazione e ottimizzazione: un caso studio



Annual Energy Production



| 450 kWe | |
|-------------------|-------|
| Caldaie | 48.8% |
| CHP (diretto) | 46.9% |
| CHP (accumulo) | 4.3% |
| Energia dissipata | 3.2% |

| 1,000 kWe | |
|-------------------|-------|
| Caldaie | 13.4% |
| CHP (diretto) | 79.4% |
| CHP (accumulo) | 7.2% |
| Energia dissipata | 26.8% |



Grazie per l'attenzione....

Roberta ROBERTO

ENEA – Unità Tecnica Tecnologie Saluggia

roberta.roberto@enea.it

0161 48-3410/3531



Valori limite di emissione in atmosfera

| inquinante | valori limite di emissione ¹ (mg/Nm ³) | | | | | |
|---|---|---------------------------------|-----------|------------|------|-----|
| | @ fumi secchi, 11% O ₂ , 0°C, 0,1013 MPa | | | | | |
| | periodo di misura | potenza termica installata (MW) | | | | |
| > 0,035 ÷ ≤ 0,15 | | > 0,15 ÷ ≤ 3 | > 3 ÷ ≤ 6 | > 6 ÷ ≤ 20 | > 20 | |
| polveri totali | orario | 200 | 100 | 30 | | |
| | giornaliero | - | | | | |
| monossido di carbonio (CO) | orario | - | 350 | 300 | 250 | 200 |
| | giornaliero | - | | | 150 | 100 |
| carbonio organico totale (COT) | orario | - | | | 30 | 20 |
| | giornaliero | - | | | | 10 |
| ossidi di azoto (NO _x) ^b | orario | - | 500 | | 400 | |
| | giornaliero | - | | | 300 | 200 |
| ossidi di zolfo (SO _x) ^b | orario | - | 200 | | | |
| | giornaliero | - | | | | |

¹ Limite di emissione riferiti ad un'ora di funzionamento dell'impianto nelle condizioni di esercizio più gravose, esclusi i periodi di avviamento, arresto e guasti