



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

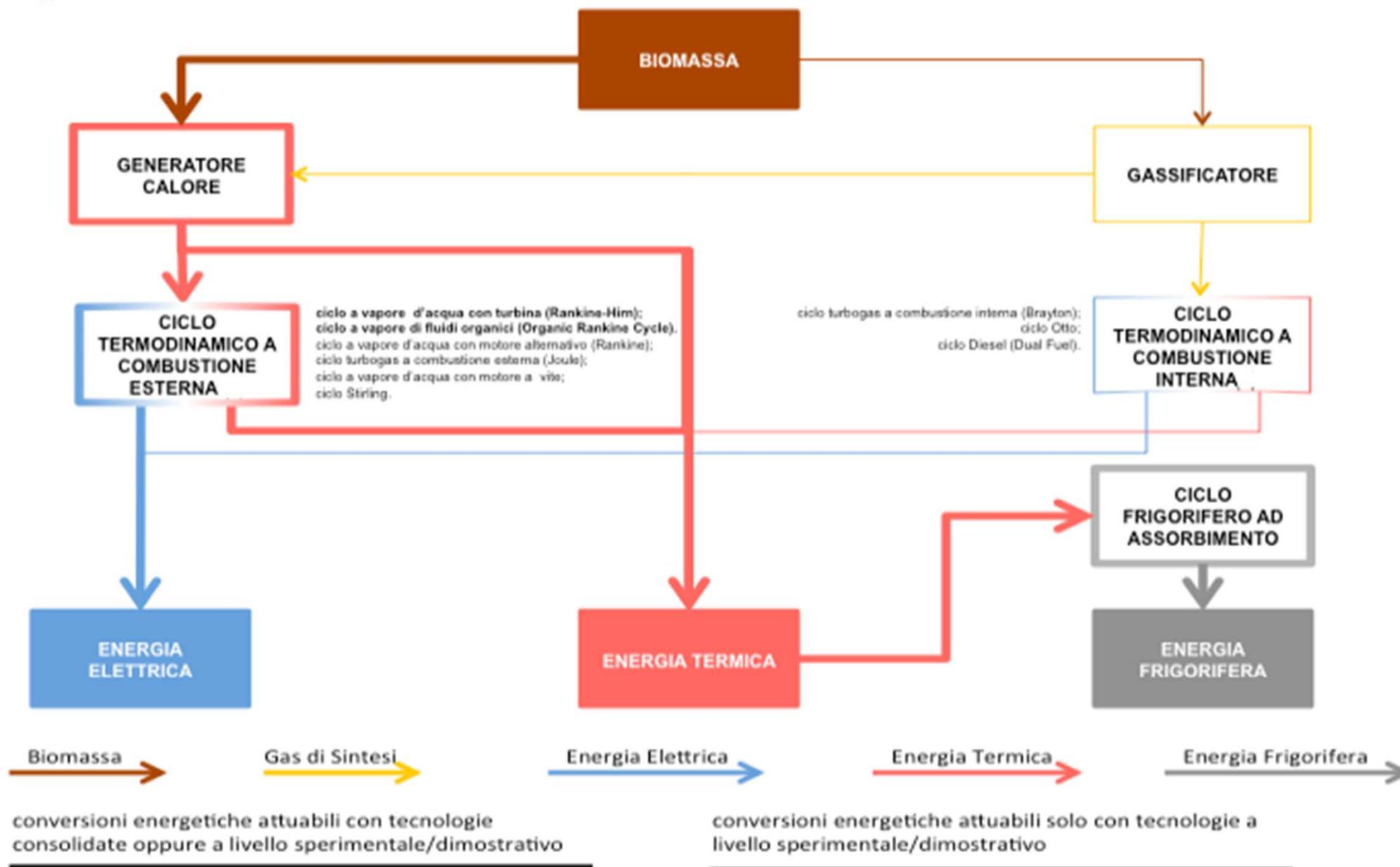


Aspetti chiave:

- 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



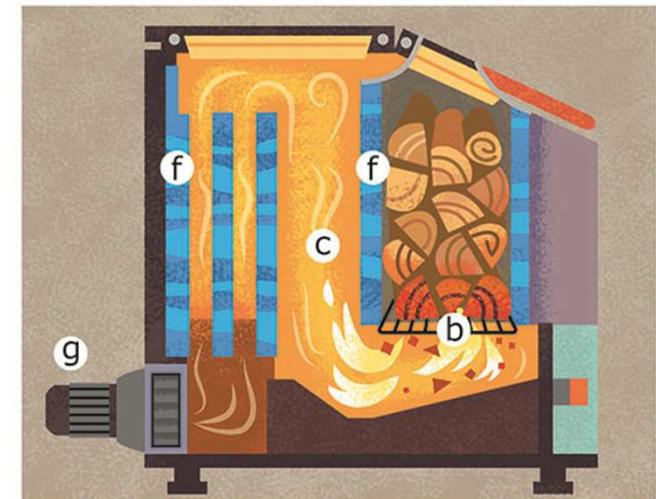
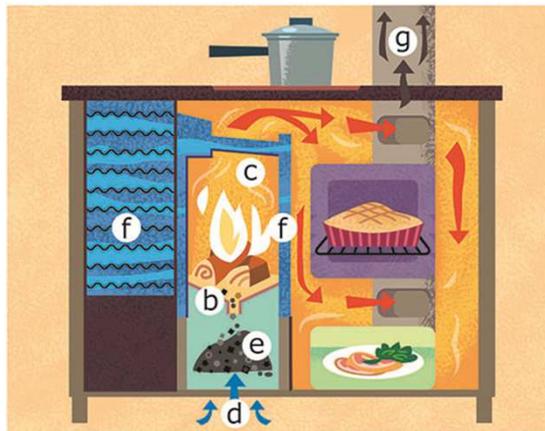
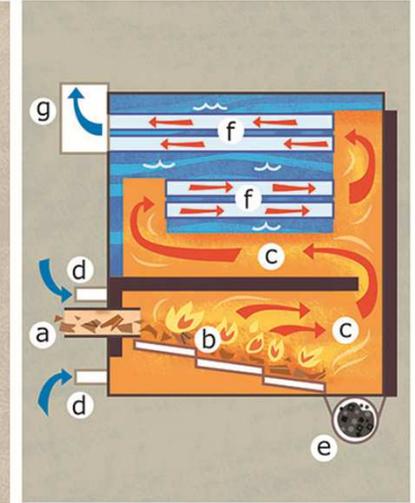
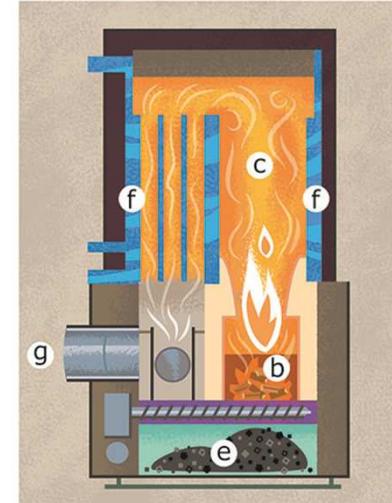
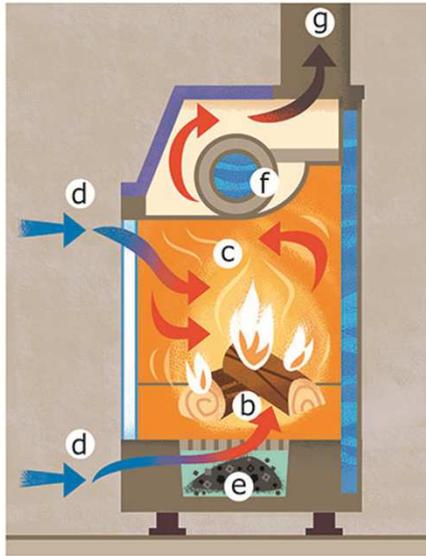
Produzione di energia termica



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

a l c o t r a

TECNOLOGIE
CONSOLIDATE

TECNOLOGIE IN
FASE DI SVILUPPO

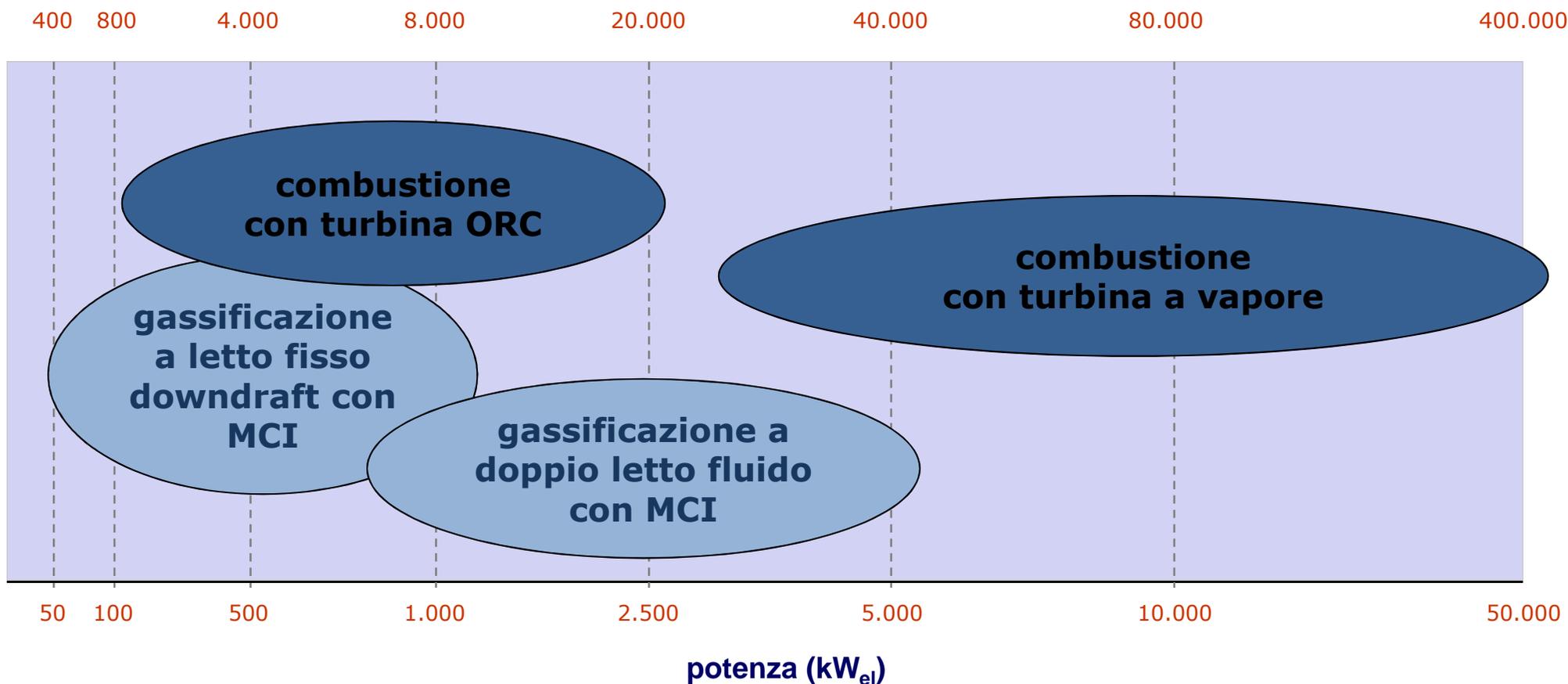
rendimento conversione	rendimento ciclo termodinamico	rendimento totale	potenza elettrica tipica	potenze termica tipica
η_{GC} [%]	η_{CT} [%]	η_e [%]	P_e [kW _e]	P_{th} [kW _{th}]
generatore calore 80÷85	ORC 12÷24	10÷20	500 ÷ 1.500	2.500 ÷ 5.000
generatore calore 85	turbina a vapore 25÷35	21÷30	5.000 ÷ 150.000	15.000 ÷ 350.000
generatore calore 85	motore a vapore (a pistoncini 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

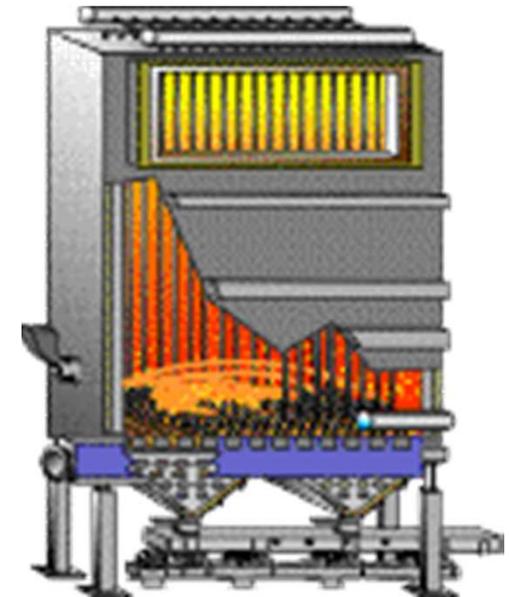
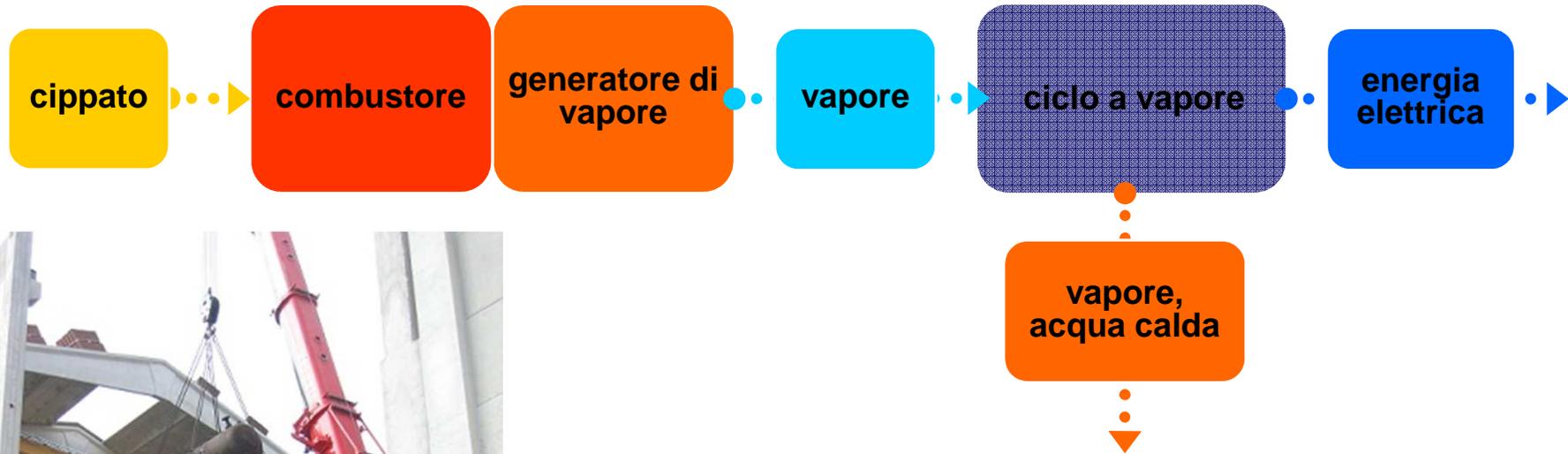


necessità annua biomassa
(tonnellate di sostanza secca)





Cogenerazione – cicli a vapor d'acqua





Cogenerazione – cicli a vapor d'acqua

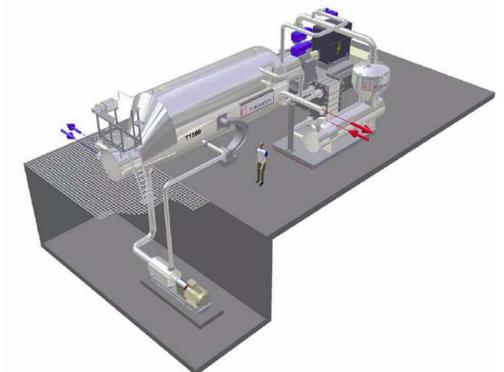
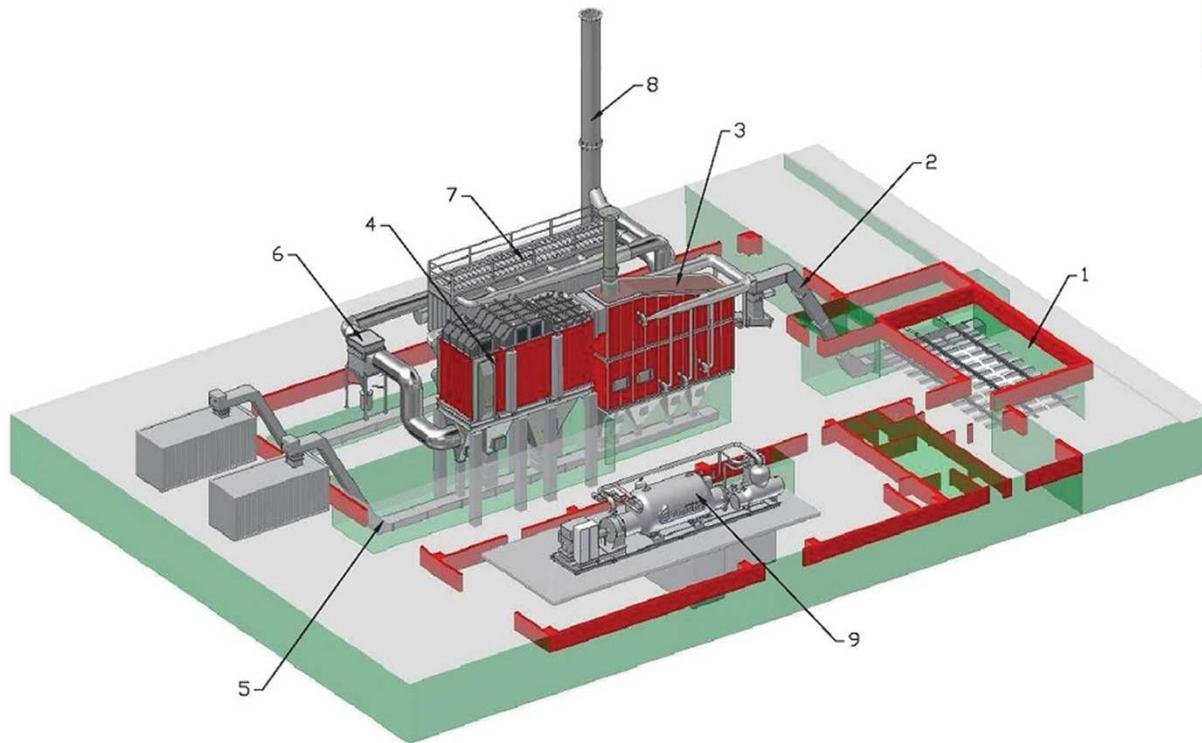
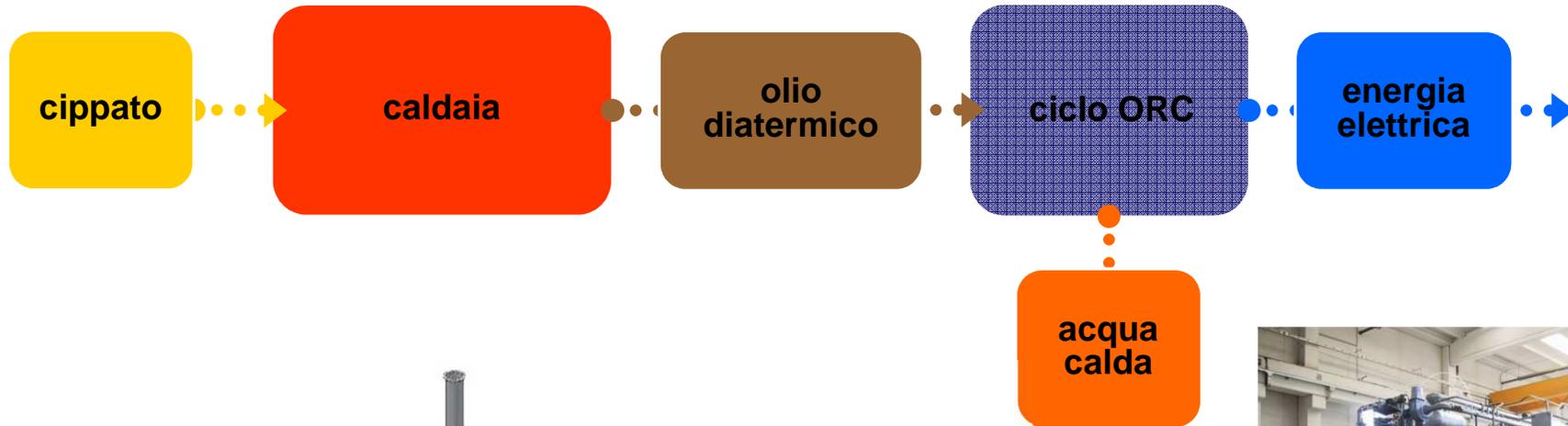


Cicli a vapor d'acqua con espansione in turbina – parametri caratteristici

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:

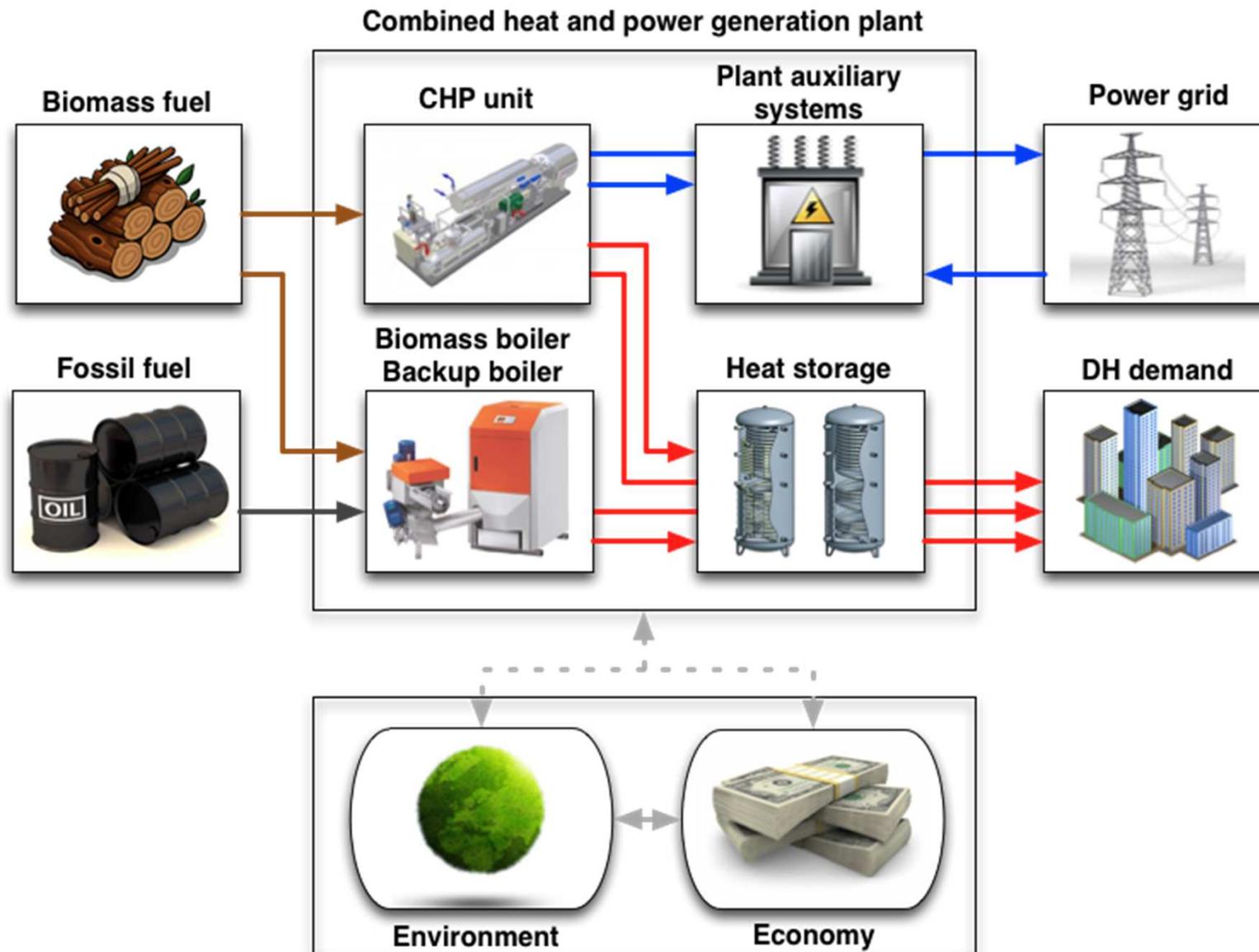
- **pianificazione** e **verifica obiettivi energetici (LEB)**;
- **simulazione** e **ottimizzazione** di configurazioni impiantistiche.

Attività di ricerca e sviluppo su:

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



Simulazione e ottimizzazione



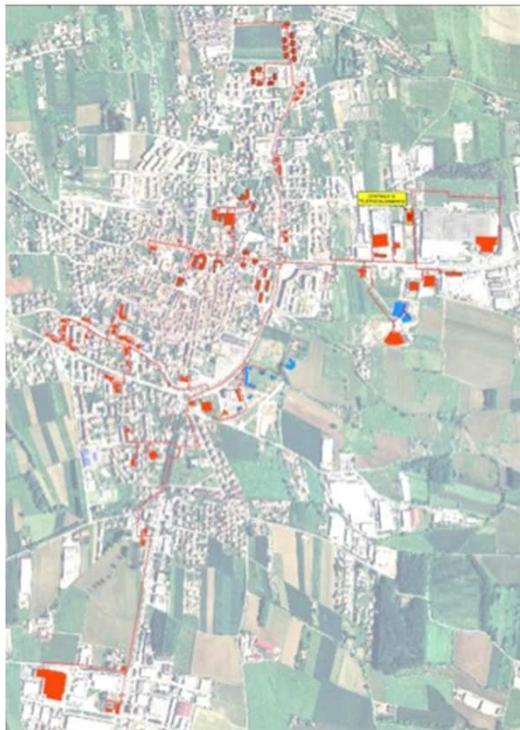
Noissan M., Cerino Abdin G., Roberto R., Poggio A., "Simulation of a district heating system with biomass-fired chp and heat storage system", MICROGEN III International Conference, Naples, April 2013



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)



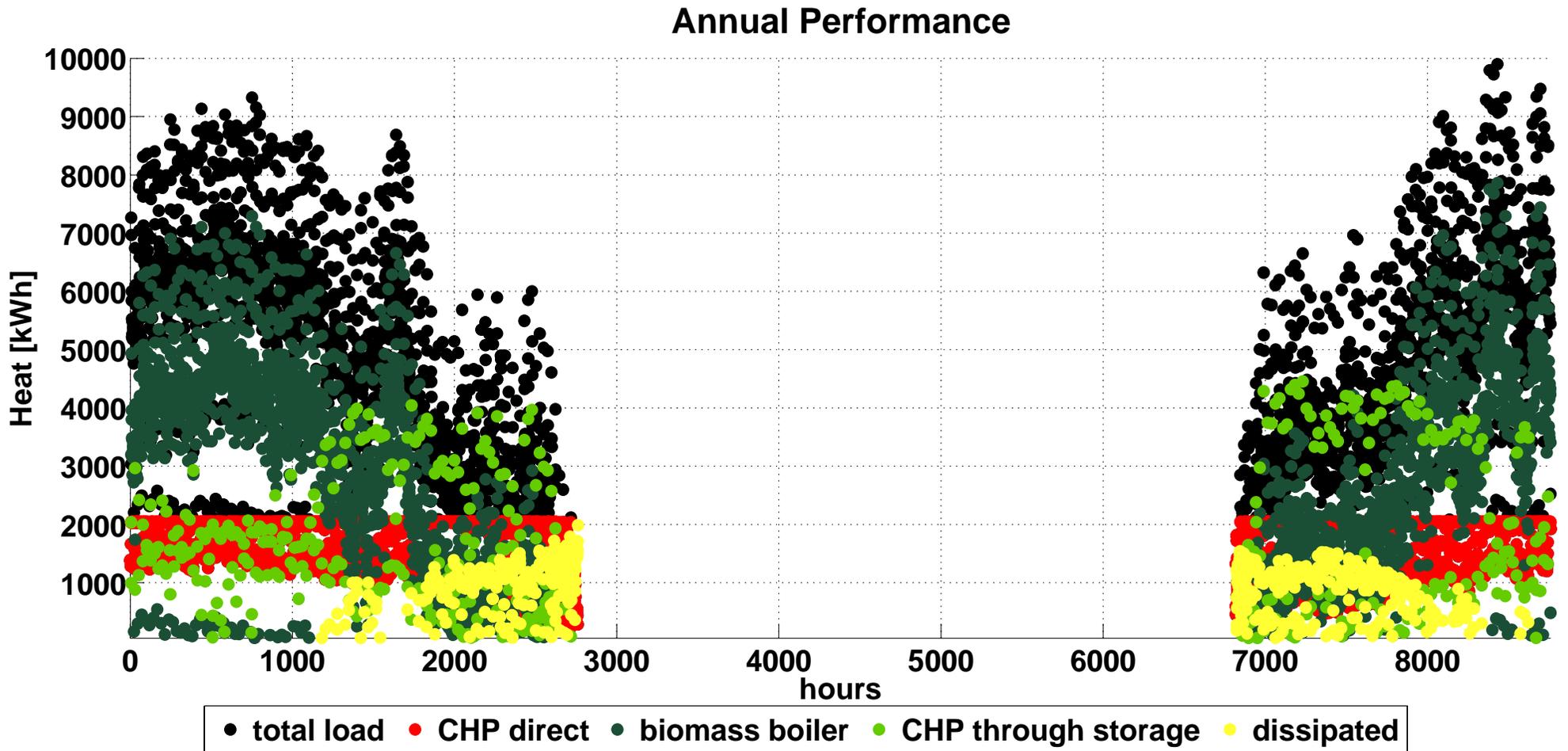
Sistema di teleriscaldamento		
Volumetria servita	m ³	500,000
Sviluppo della rete	km	12
Potenza termica nominale	MW	13.5
• Caldaie a biomassa	MW	10.0
• Caldaia a gas (backup)	MW	3.5
Energia annuale prodotta	GWh	17
Consumo annuo di biomassa	t	9,500
Perdite di rete medie	-	15.4 %



Simulazione e ottimizzazione: un caso studio



Dati annui di esercizio

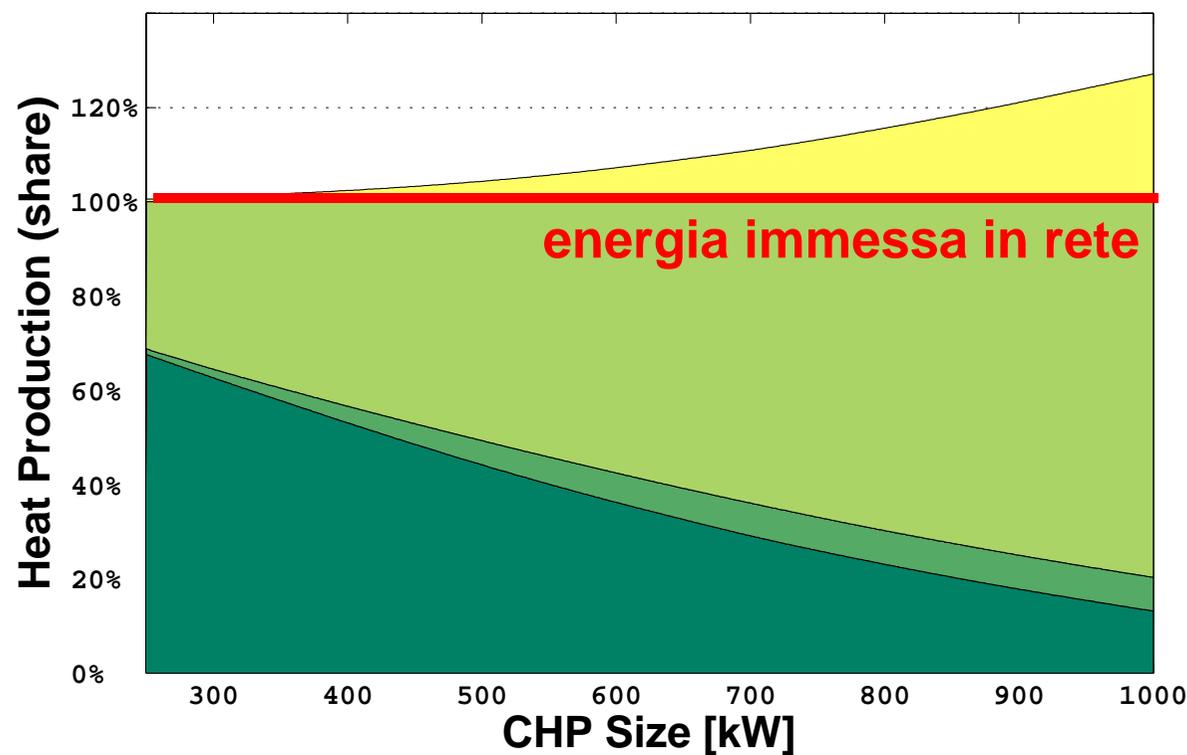




Simulazione e ottimizzazione: un caso studio



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