

Turbogeneratori ORC:

Adeguamento ai requisiti delle recenti regole tecniche di connessione alle reti pubbliche e regolazione secondaria di potenza



Roberto Bini, Managing Director

Renewables. Grid. Energy Storage.

Milano, 2 luglio 2015



Turbogeneratori ORC

ORC: Organic Rankine Cycle

Biomassa



Geotermia



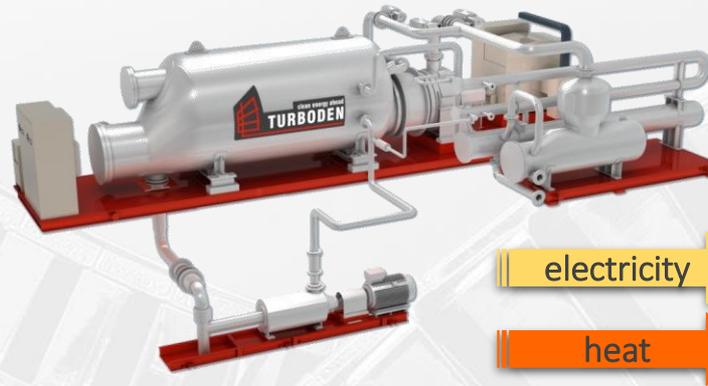
Recupero calore



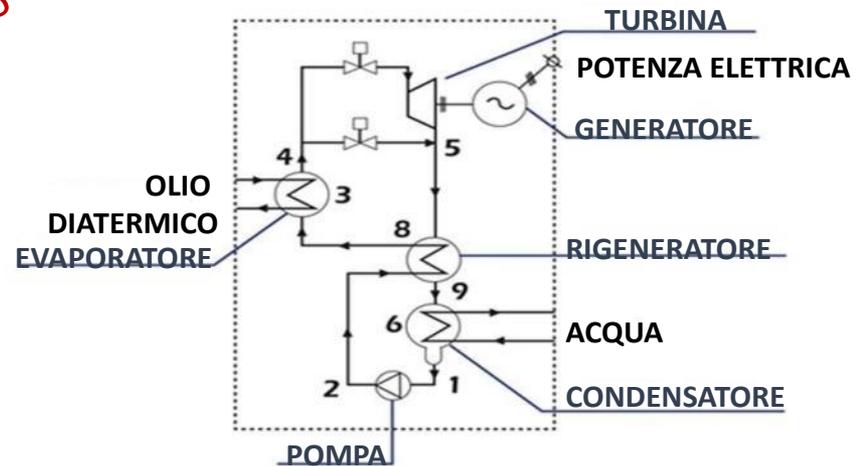
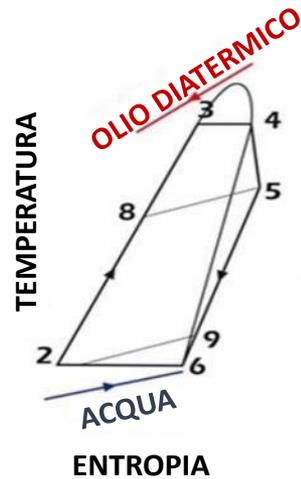
Waste to energy



Solare termodinamico

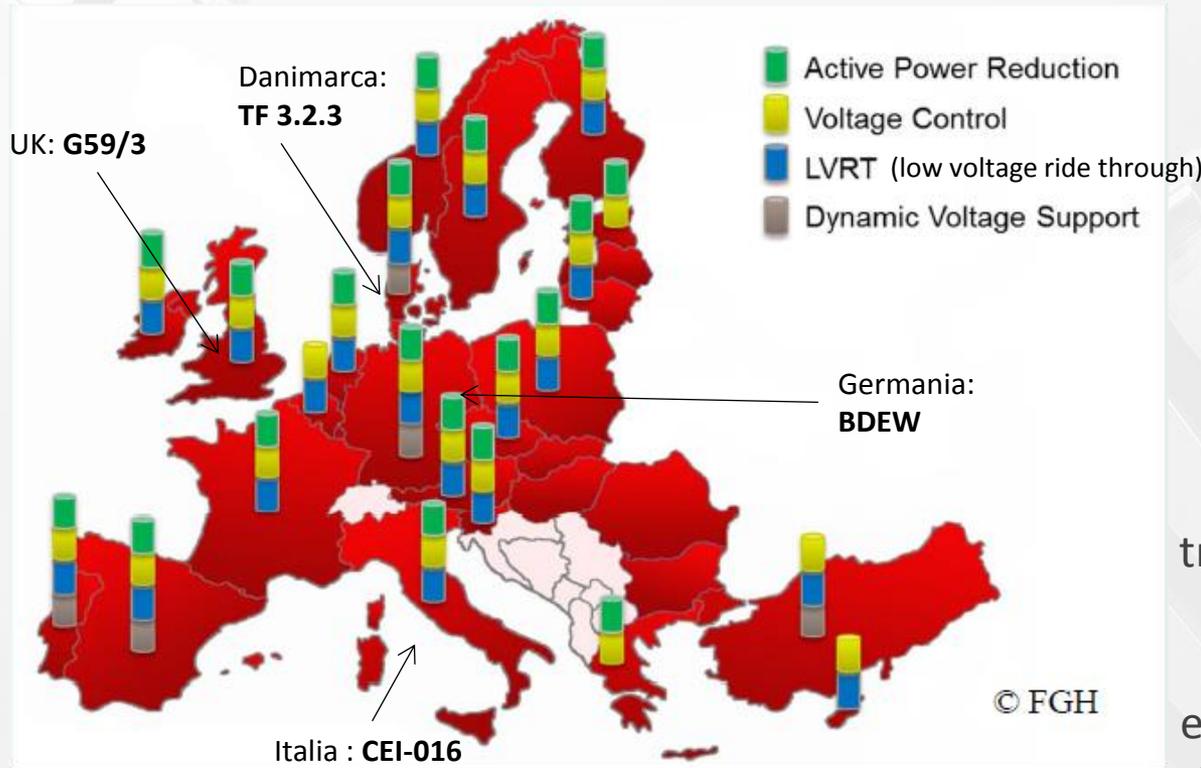


PAESI: 32
IMPIANTI TOT: 303
MW_{el} TOT: 421



Grid code e rinnovabili

Snapshot on European Grid Codes (End of 2011)



Forte generazione distribuita e da fonti non programmabili



Rischio instabilità delle reti



ENTSOE (European network of transmission system operators for electricity) emana una direttiva sulla base della quale gli stati europei stabiliscono nuove regole tecniche di connessione alle reti pubbliche (media tensione)

Requisiti grid code

Le nuove regole tecniche di connessione prevedono diversi requisiti, tra cui:

- | | | |
|---|---|---|
|  Voltage Control | → | - Regolazione potenza reattiva |
|  LVRT | → | - Stabilità a transitori e supporto dinamico |
|  Dynamic Voltage Support | → | - Stabilità a transitori e supporto dinamico |
|  Active Power Reduction | → | - Regolazione potenza attiva |



E' necessario installare nuovi dispositivi e quindi sostenere extra-costi per essere conformi ai requisiti

In alcuni casi, es. **BDEW** tedesca, la conformità ai requisiti deve essere accompagnata da:

- Certificazione da ente terzo
- Sviluppo di un modello della macchina
- Prove in campo per verifica requisiti e corrispondenza modello/realtà

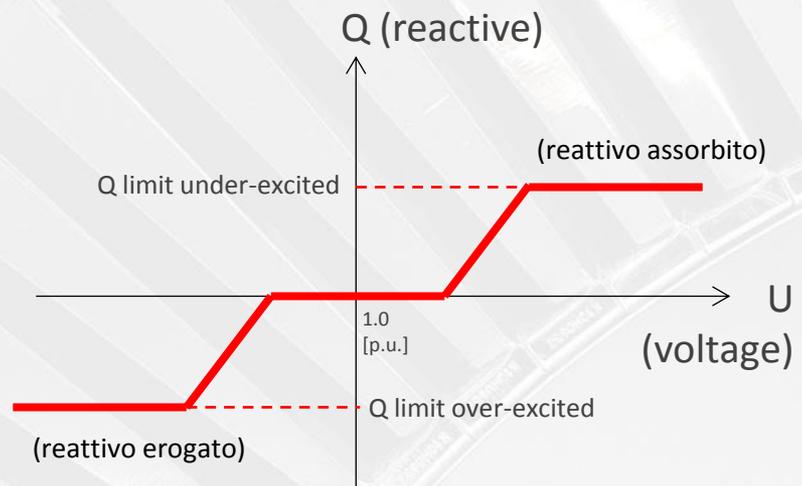
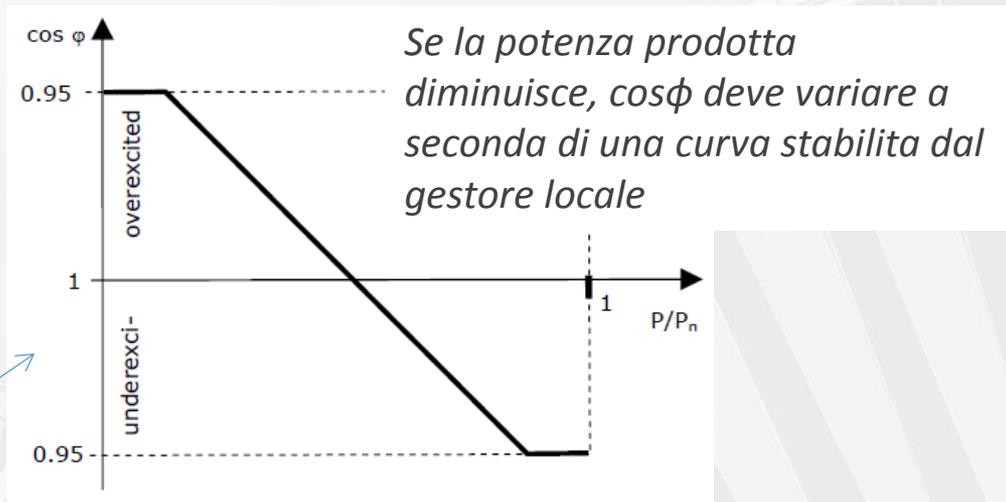


Ulteriori extra-costi per dimostrare di essere conformi

Regolazione potenza reattiva → serve per compensare le variazioni di tensione sulla rete

La potenza reattiva può essere variata in funzione di:

- Segnale di $\cos\phi$ o potenza reattiva in MVAR inviato dal gestore
- Curva $\cos\phi$ in funzione della potenza attiva prodotta
- Curva potenza reattiva in funzione della tensione



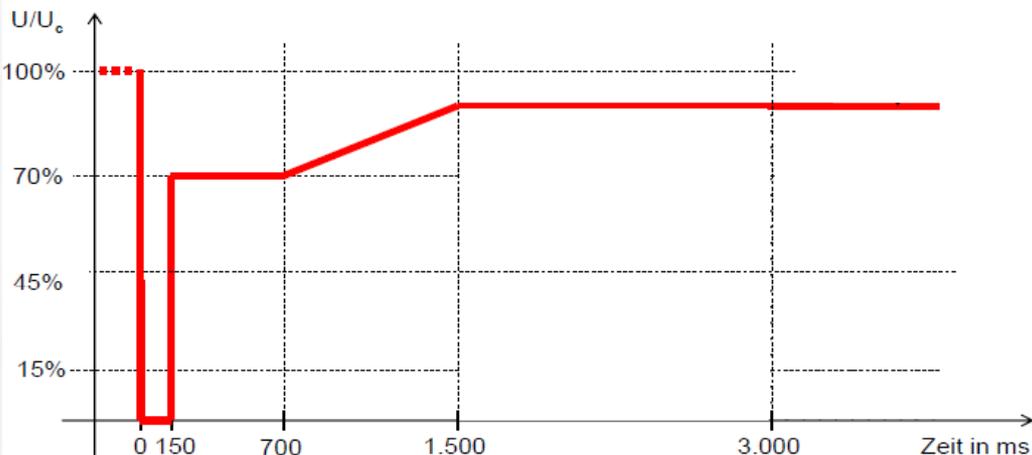
Copyright © – Turboden S.r.l. All rights reserved

 LVRT
 Dynamic Voltage Support

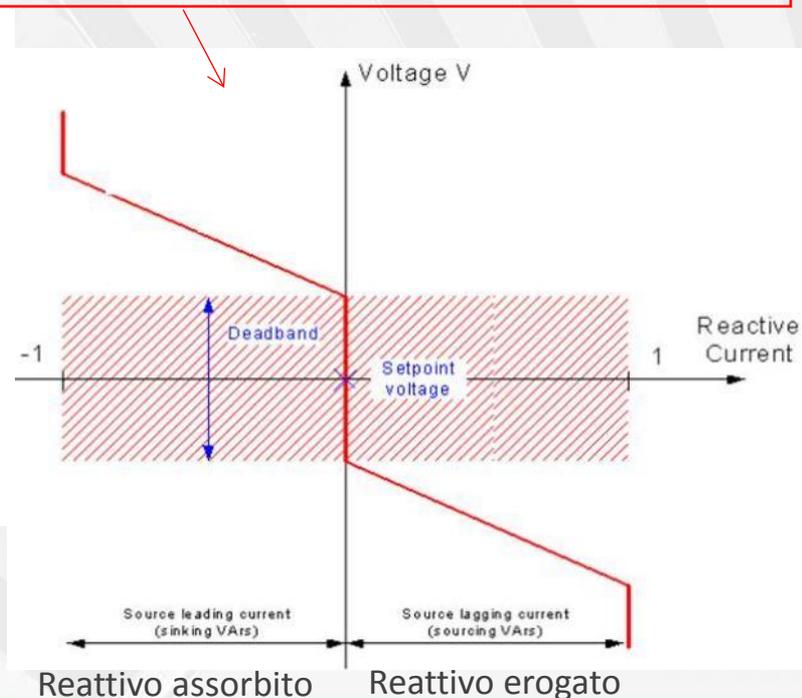
Requisiti grid code – Esempi **BDEW** (Germania)

Stabilità ai transitori di tensione e supporto dinamico → la macchina deve continuare a funzionare in presenza di variazioni anche consistenti della tensione e fornire supporto dinamico tramite regolazione del reattivo

- Stabilità in presenza di piccole oscillazioni di tensione → -20% della tensione nominale
- Stabilità in presenza di buchi di tensione profondi e prolungati → fino a -100% della tensione nominale per 150 ms (per impianti CHP, fino a -70% della tensione nominale)
- Supporto dinamico alla tensione (durante il transitorio, se la tensione cala, devo erogare più reattivo e viceversa)



(La curva di tensione esatta che l'impianto deve tollerare varia a seconda del tipo di generatore installato e di impianto)



Voltage Control

LVRT

Dynamic Voltage Support

Controllo reattivo e tolleranza transitori

Possibili soluzioni:

1) Generatore asincrono

- + Poco costoso
- + Facilmente reperibile a 2 poli (per accoppiamento diretto con turbina ORC rotante a 3000 rpm)



Risponde ai requisiti?

Controllo statico del reattivo

Stabilità durante piccole oscillazioni di tensione

Stabilità durante buchi profondi di tensione

Supporto dinamico alla tensione

NO

SI

NO

NO

Controllo tensione e tolleranza transitori

 Voltage Control
 LVRT
 Dynamic Voltage Support

Possibili soluzioni:

2) Asincrono + STATCOM

3) Sincrono

Risponde ai requisiti ? (*):

Controllo statico del reattivo

Stabilità durante piccole oscillazioni di tensione

Stabilità durante buchi profondi di tensione

Supporto dinamico alla tensione



SI

SI

SI

SI

SI

SI

SI

SI

(*): entrambi i sistemi sono concettualmente in grado di rispondere ai requisiti, ma uno studio di stabilità dell'impianto è necessario per verificare l'effettiva capacità

 STATCOM molto costoso (**)

 Sincrono richiede riduttore (***)



La soluzione più economica in grado di rispondere ai requisiti è il generatore sincrono

(**): es. STATCOM 2,5 MVAR + relativo trasformatore 6 kV/440V : circa 500 k€

(***): generatori sincroni a 2 poli sono difficilmente reperibili e in generale molto costosi

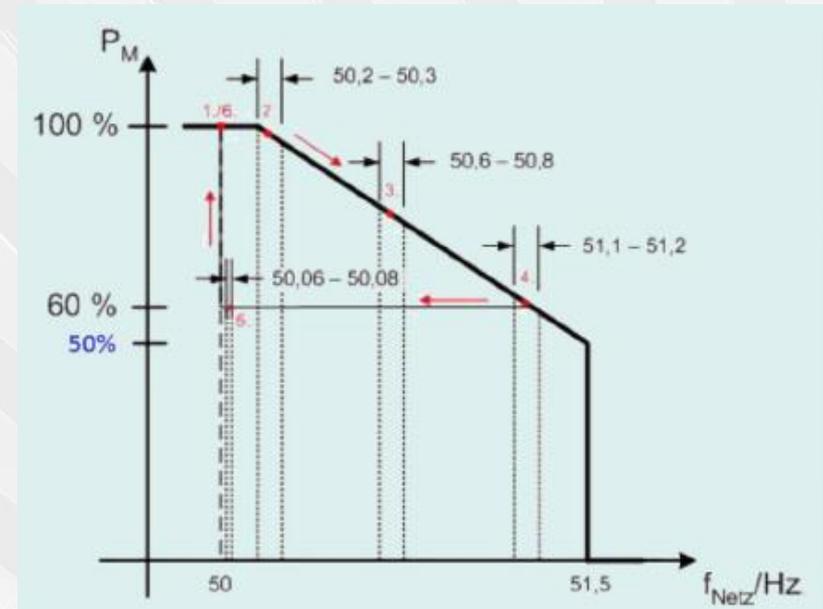
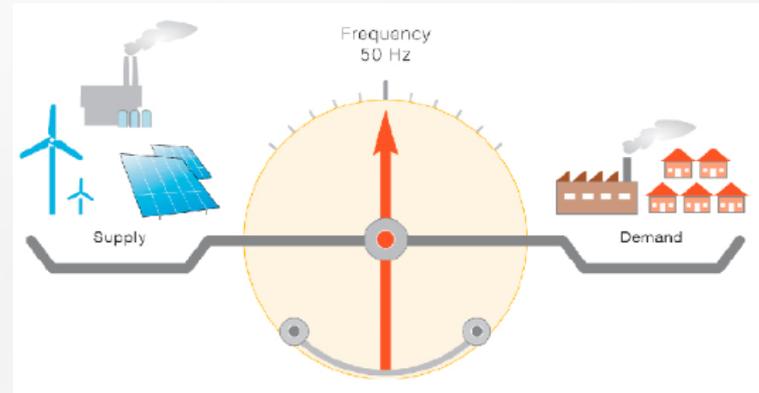
Requisiti grid code – Esempi BDEW (Germania)

Regolazione potenza attiva
→ Stabilità frequenza di rete



Segnale
proveniente dal
gestore

Attraverso un droop di
frequenza (se la
frequenza aumenta,
devo ridurre la potenza
prodotta)



ORC

Tipo regolazione	Caratteristiche
Primaria	<ul style="list-style-type: none">- Regolazione entro pochi secondi dalla richiesta / guasto- Riservato alle grandi centrali
Secondaria	<ul style="list-style-type: none">- Regolazione entro pochi minuti
Terziaria	<ul style="list-style-type: none">- Tempi di intervento lunghi (tipicamente > 15 min)- Richiesta dal gestore di rete durante il normale funzionamento

Potenza attiva – Regolazione secondaria

Soluzione per un impianto ORC

Regolazione sorgente termica



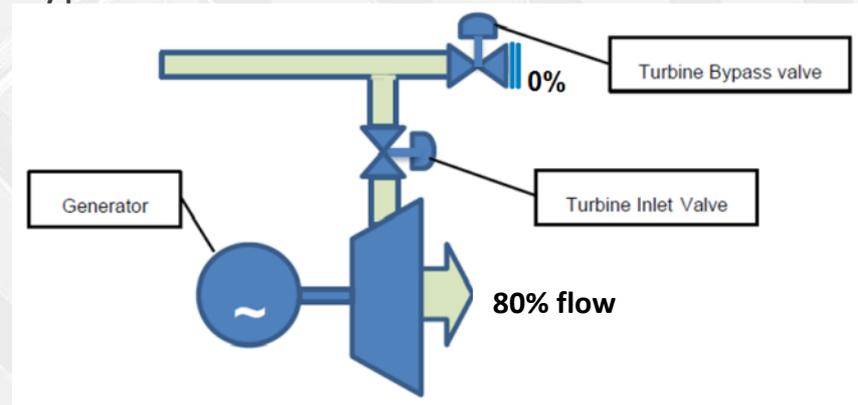
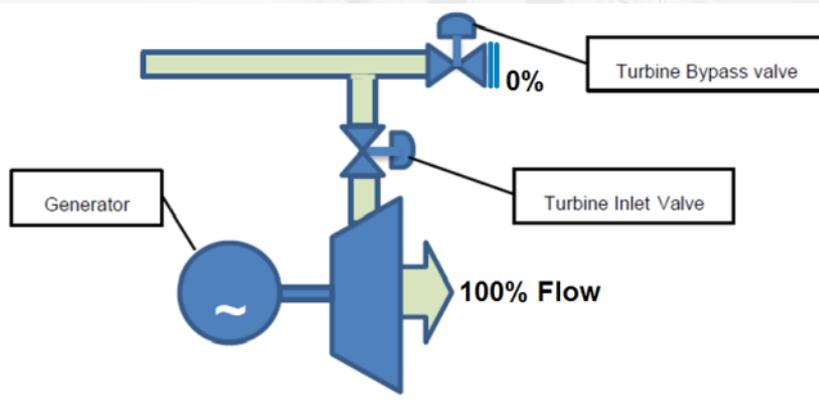
Lenta (causa elevata inerzia termica del sistema)

Regolazione con valvole turbina (solo per diminuire la potenza prodotta)



Funzionamento normale:

Ammissione parzializzata senza regolazione del bypass:

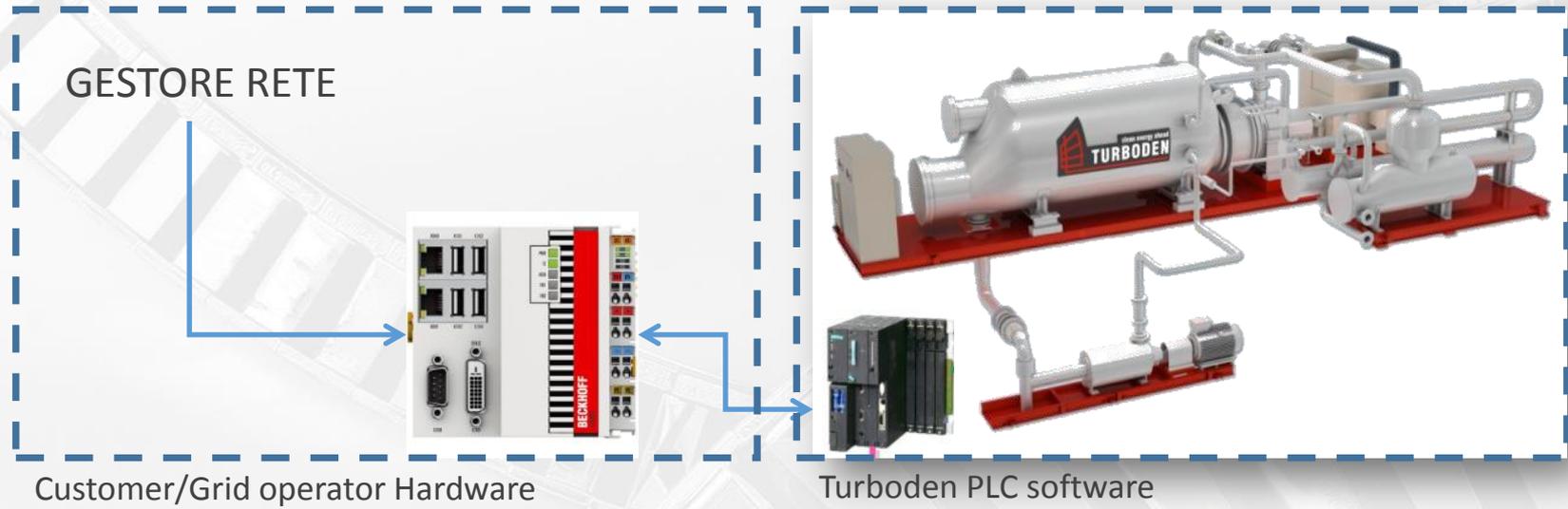


100% della portata passa per la turbina

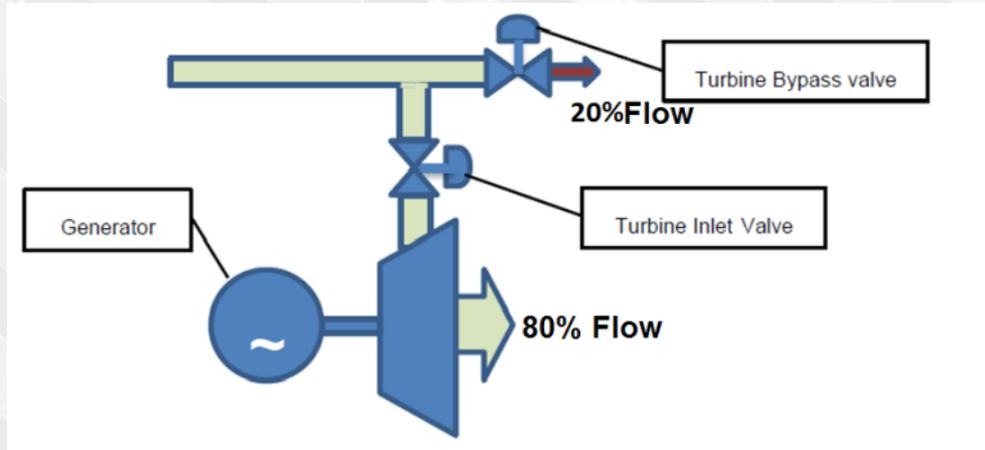
La portata che attraversa la turbina si riduce → l'evaporatore genera più portata di quella elaborata dalla turbina → possibili instabilità nella regolazione del ciclo e shut-down dell'impianto

Potenza attiva – Regolazione secondaria

Soluzione Turboden (*):



Oltre alla valvola di ammissione, viene regolata anche quella di bypass, in modo da mantenere la portata complessiva invariata



Copyright © – Turboden S.r.l. All rights reserved

(*): domanda di brevetto depositata

Soluzione Turboden (*):

Principio semplice ma di difficile applicazione, perchè:

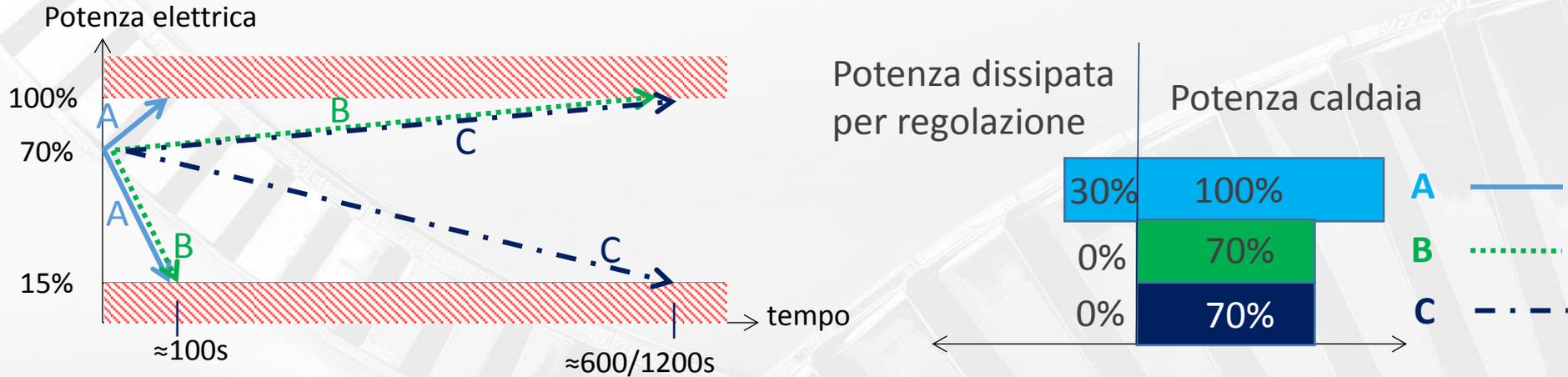
- 1) Possono instaurarsi instabilità nel controllo della pompa di alimento del ciclo
- 2) Valvola di ammissione e bypass hanno spesso curve caratteristiche e velocità di attuazione diverse
- 3) Tipicamente negli ORC le valvole di ammissione sono grosse valvole a farfalla poco adatte ad una regolazione fine e continua
- 4) Comportamento non lineare della caratteristica della valvola (chiudere la valvola del 10% non significa diminuire la potenza del 10%)



Difficoltà superate grazie allo sviluppo di modelli e algoritmi dedicati

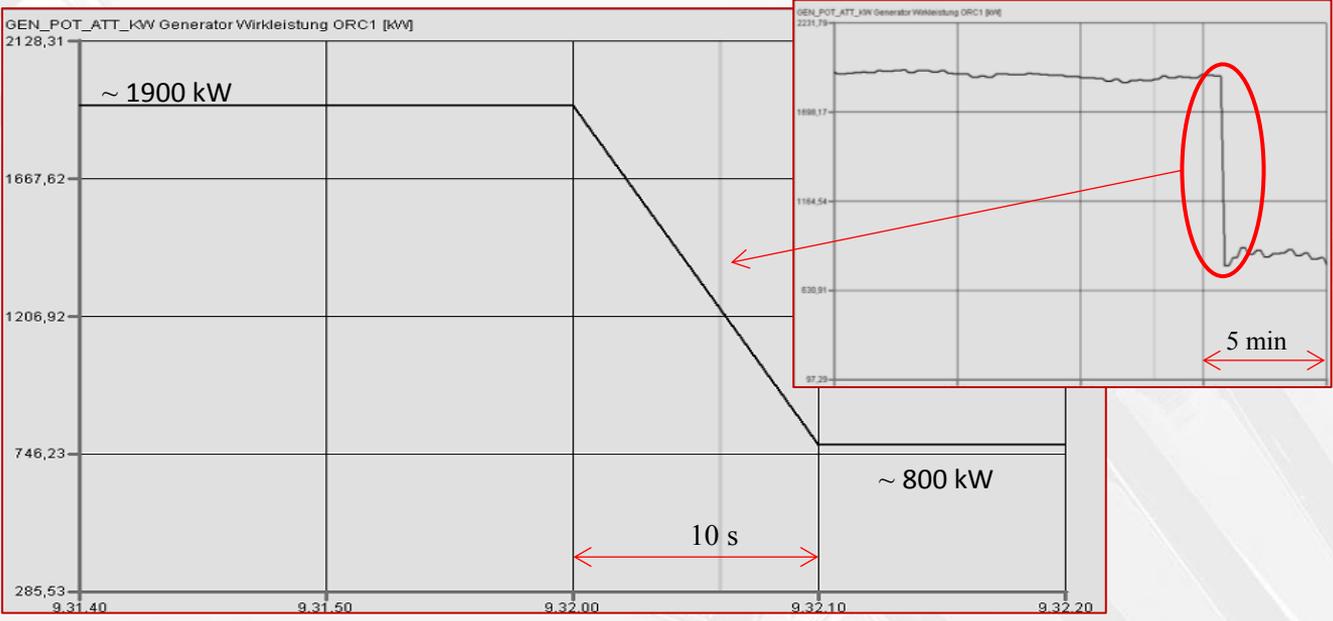
Potenza attiva – Aumento/riduzione

Esempi di assetti di funzionamento con ORC alimentato da caldaia a biomassa:

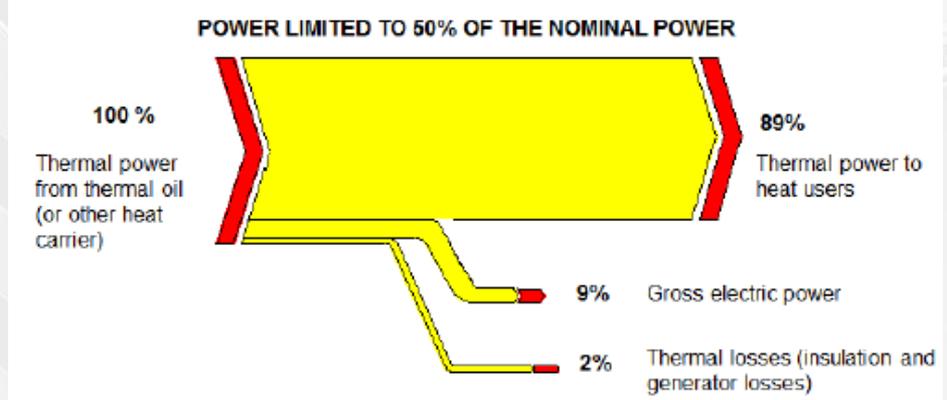
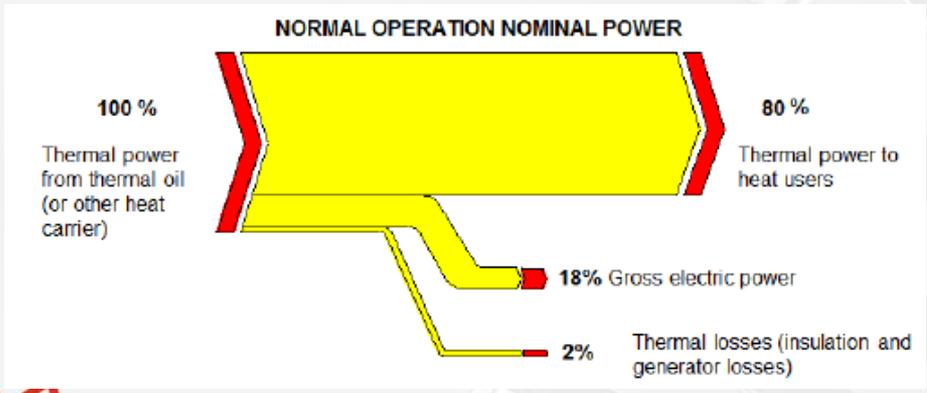


- A) La caldaia funziona al 100%, ma produco solo il 70% attraverso la regolazione di ammissione e bypass
 - vantaggio: aumento e riduzione potenza veloci
 - svantaggio: il 30% della potenza viene costantemente dissipato
- B) La caldaia funziona al 70 % e produco il 70%; uso ammissione e bypass per limitare la potenza
 - vantaggio: non ho dissipazione mentre lavoro al 70%; posso ridurre la potenza velocemente con le valvole
 - svantaggio: l'incremento di potenza è lento perché ottenuto aumentando la sorgente calda (fornace a biomassa) che ha grande inerzia
- C) La caldaia funziona al 70 % e produco il 70%; non uso le valvole per regolare
 - vantaggio: non ho dissipazione mentre lavoro al 70%
 - svantaggio: il processo di regolazione è molto lento a causa dell'inerzia termica molto grande della caldaia

Esempio regolazione potenza attiva



- Prestazioni effettive:***
- ✓ Range limitazione di potenza: **100% - 15%** della potenza nominale.
 - ✓ Tempo reazione: **-80% entro 30 secondi**
 - ✓ Max overshooting: **± 9%**
 - ✓ Oscillazioni durante la limitazione: **± 2%**

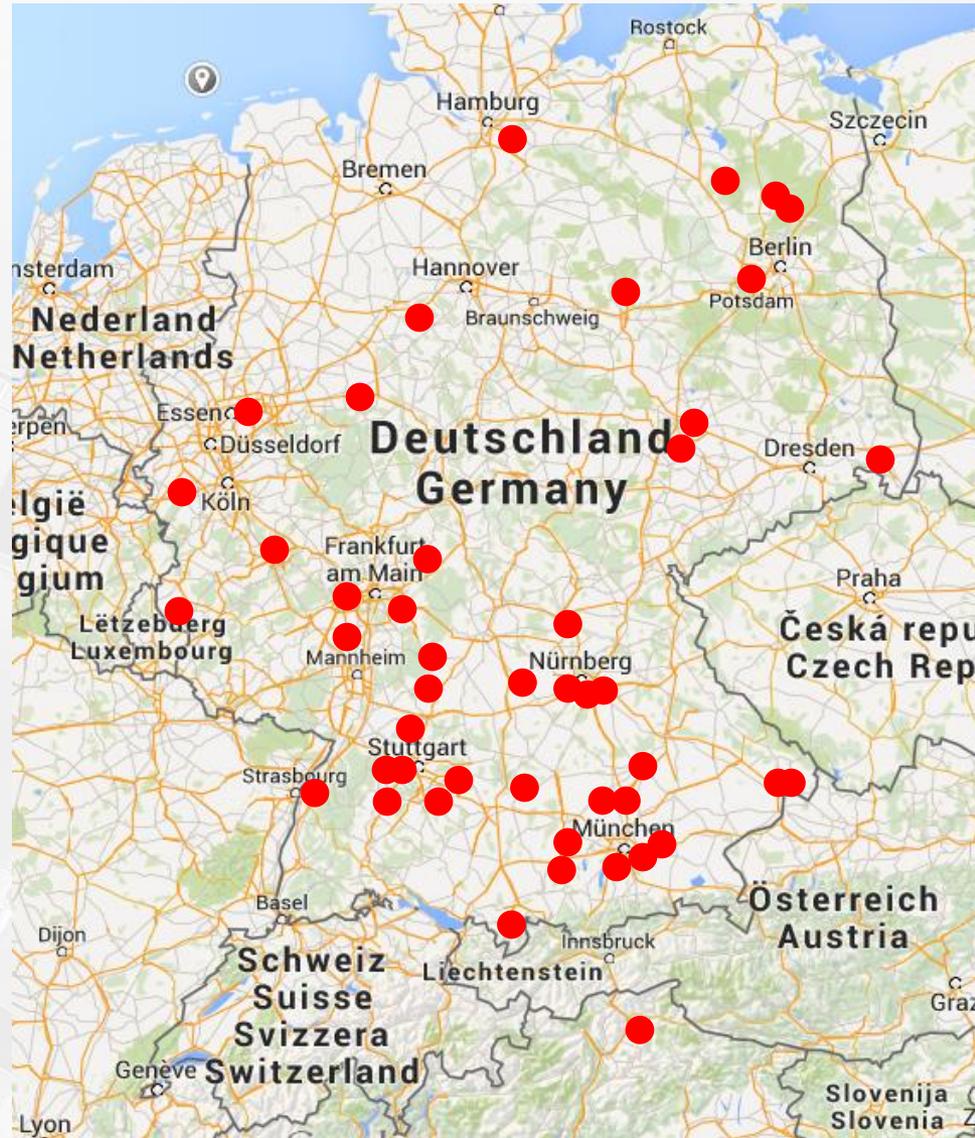


NB: la potenza elettrica è stata ridotta del 50%, ma la potenza termica al condensatore non si è ridotta (importante per impianti cogenerativi)

Active Power

Impianti con regolazione di potenza

Più di 50 impianti sono stati aggiornati con questa logica di regolazione della potenza attiva



Copyright © – Turboden S.r.l. All rights reserved

Conclusioni

Controllo reattivo e stabilità a transitori di tensione



Adozione di generatori sincroni

Controllo potenza attiva



Sviluppo logica di controllo

Extra-costi



- Differenza tra generatore sincrono (+ riduttore) e generatore asincrono
- Studio di stabilità
- Certificazione
- Test e modellazione

Grazie per l'attenzione



Roberto Bini, Managing Director

