

La produzione distribuita d'electricità con FUEL CELL e Sistemi innovativi

Bologna, 1 giugno 2001 – Oratorio di San Filippo Neri

L'interfaccia con la rete elettrica: aspetti tecnici

Carlo Alberto Nucci

Università di Bologna, Facoltà di Ingegneria

Indice

1. Introduzione
2. Connessione alla rete BT (utilizzatore o rete pubblica)
 - a. diretta
 - b. attraverso apparecchi elettronici di potenza
3. Regolazione della potenza e della tensione
4. Qualità della tensione
5. Protezioni
6. Funzionamento in parallelo alla rete e utilizzo come generazione di back-up in isola
7. Impianti di micro-cogenerazione
8. Conclusioni

Indice

1. Introduzione
2. Connessione alla rete BT (utilizzatore o rete pubblica)
 - a. diretta
 - b. attraverso apparecchi elettronici di potenza
3. Regolazione della potenza e della tensione
4. Qualità della tensione
5. Protezioni
6. Funzionamento in parallelo alla rete e utilizzo come generazione di back-up in isola
7. Impianti di micro-cogenerazione
8. Conclusioni

1. Introduzione

Gli impianti a pile a combustibile producono energia a corrente continua, come i sistemi di accumulo elettrochimico.

Anche se non ce ne occuperemo, si menzionano gli studi su sistemi di distribuzione in corrente continua a bassa tensione negli impianti utilizzatori.

Esamineremo qui solo il caso di impianti utilizzatori in BT da alimentare in corrente alternata a frequenza industriale.

Indice

1. Introduzione
2. Connessione alla rete BT (utilizzatore o rete pubblica)
 - a. diretta
 - b. attraverso apparecchi elettronici di potenza
3. Regolazione della potenza e della tensione
4. Qualità della tensione
5. Protezioni
6. Funzionamento in parallelo alla rete e utilizzo come generazione di back-up in isola
7. Impianti di micro-cogenerazione
8. Conclusioni

2. Connessione alla rete

a) Connessione diretta (di generatori asincroni e sincroni)

E' tipica degli impianti di produzione distribuita "tradizionali":

- impianti cogenerativi con motori a combustione interna (s e a)
- impianti eolici a velocità quasi costante (a)
- impianti idroelettrici di piccola potenza (s e a)

b) Connessione indiretta (Attraverso componenti elettronici di potenza)

Si ha sia per gli impianti "tradizionali"

- Generatori eolici a velocità variabile (Attraverso Raddrizzatore + Inverter)
- Generatori fotovoltaici (attraverso Inverter)

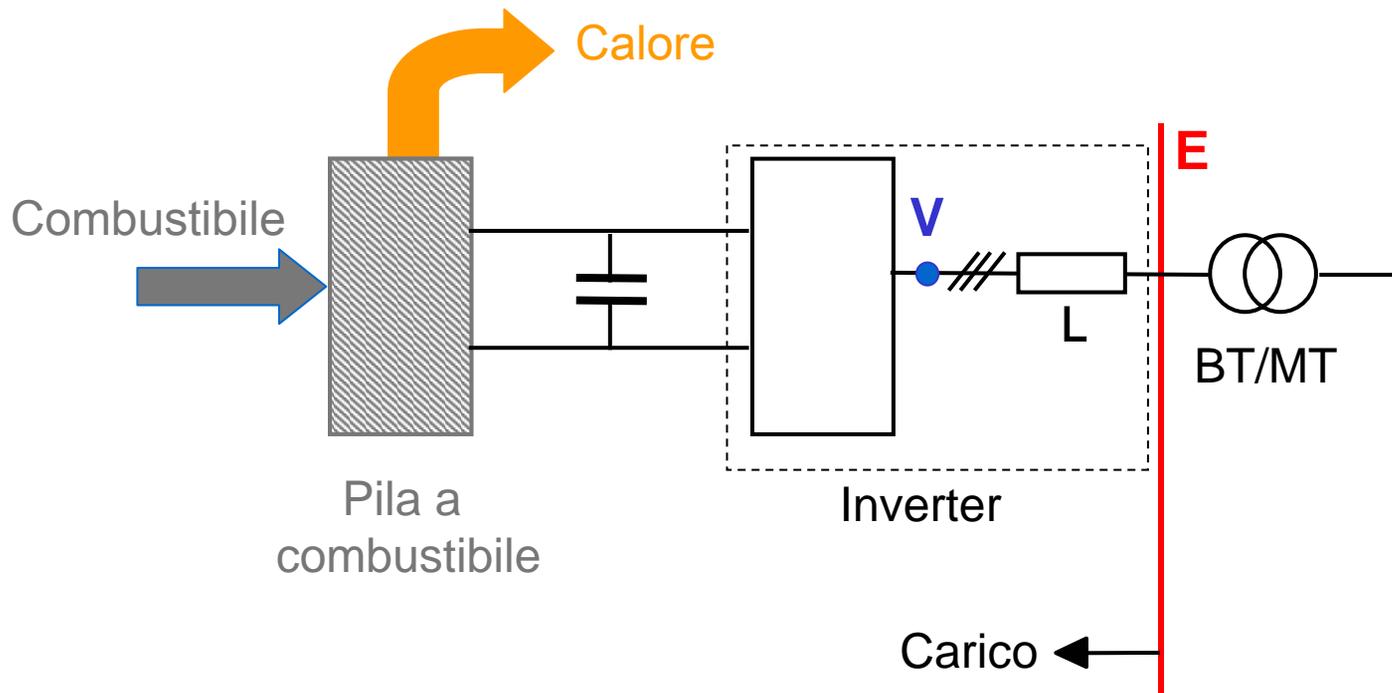
Sia per i Sistemi "innovativi"

- impianti con Pile a combustibile (attraverso Inverter)
- impianti con Microturbine a gas (Attraverso raddrizzatore + Inverter)

2. Connessione alla rete

cont.

Connessione alla rete di distribuzione di impianti con pile a combustibile

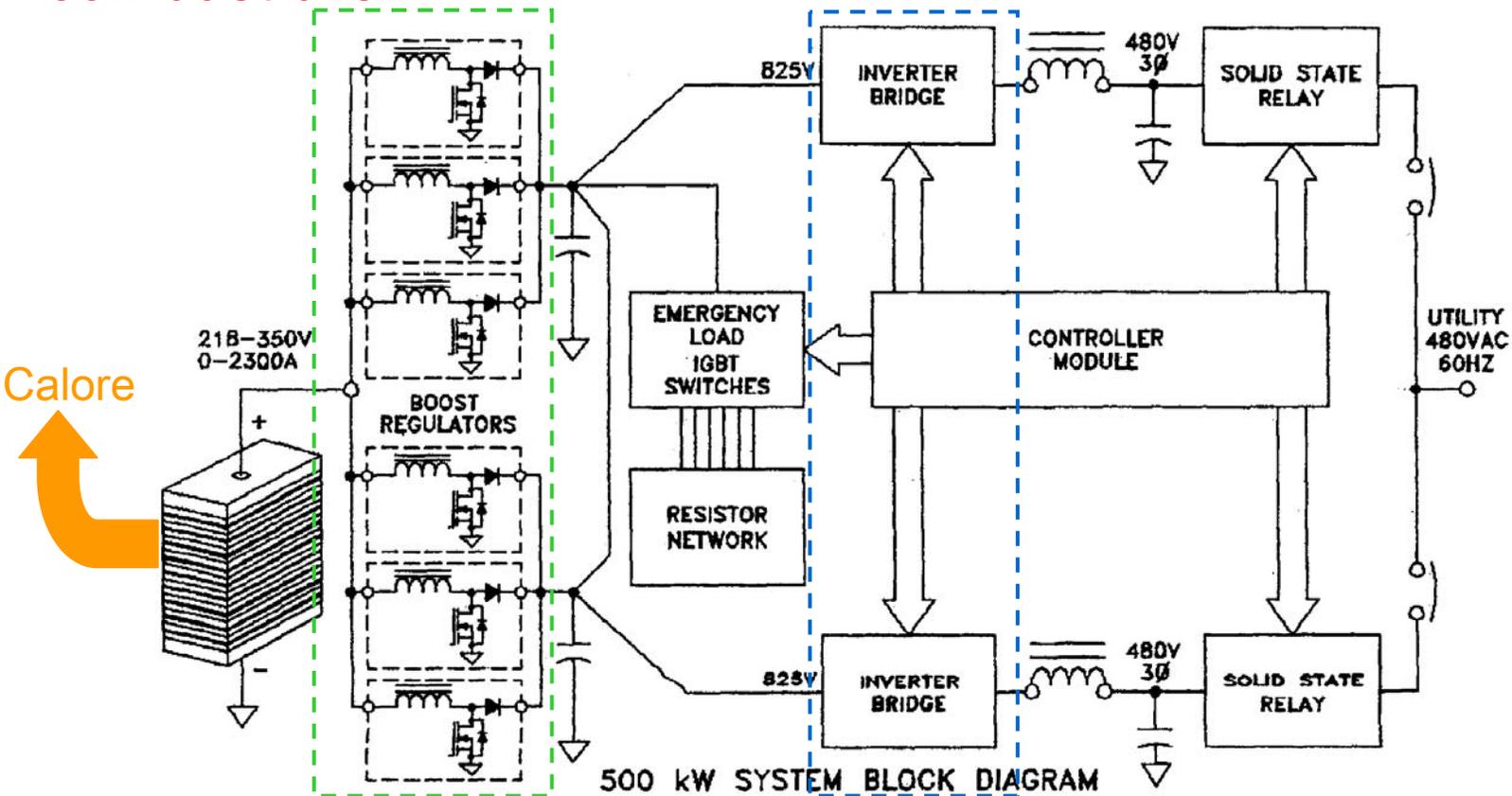


Schema di principio

2. Connessione alla rete

cont.

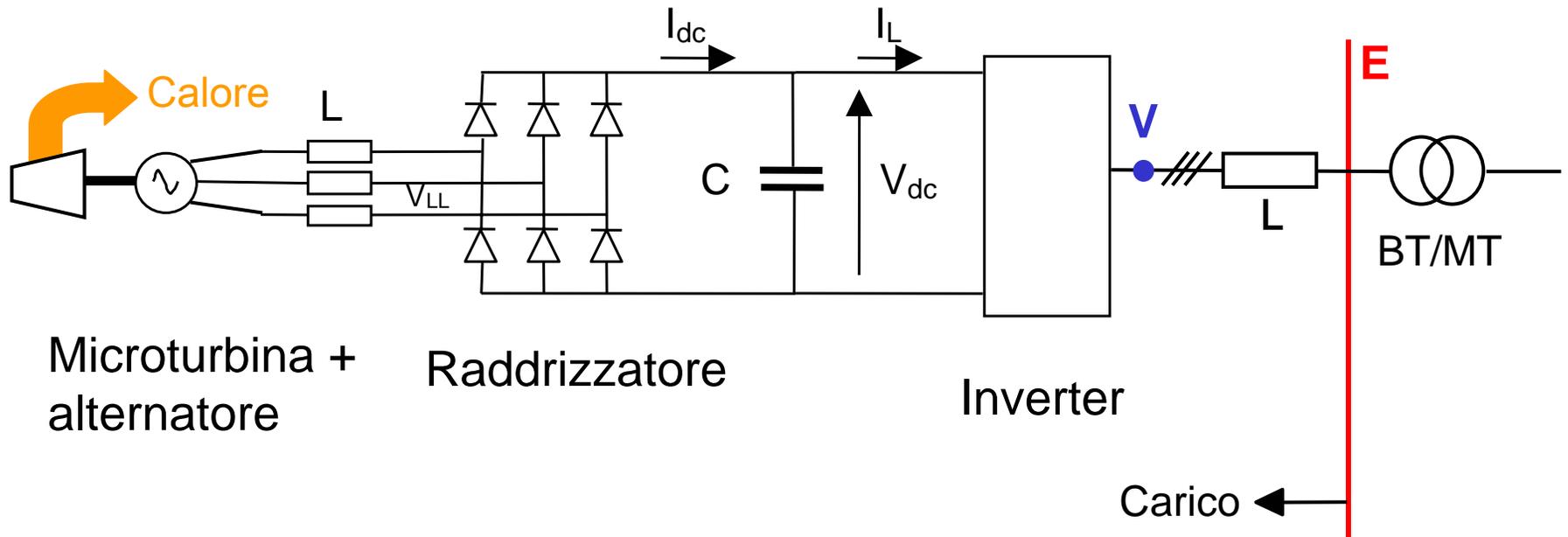
Connessione alla rete di distribuzione di impianti con pile a combustibile



2. Connessione alla rete

cont.

Connessione alla rete di distribuzione di impianti con microturbine a gas



Microturbina +
alternatore

Raddrizzatore

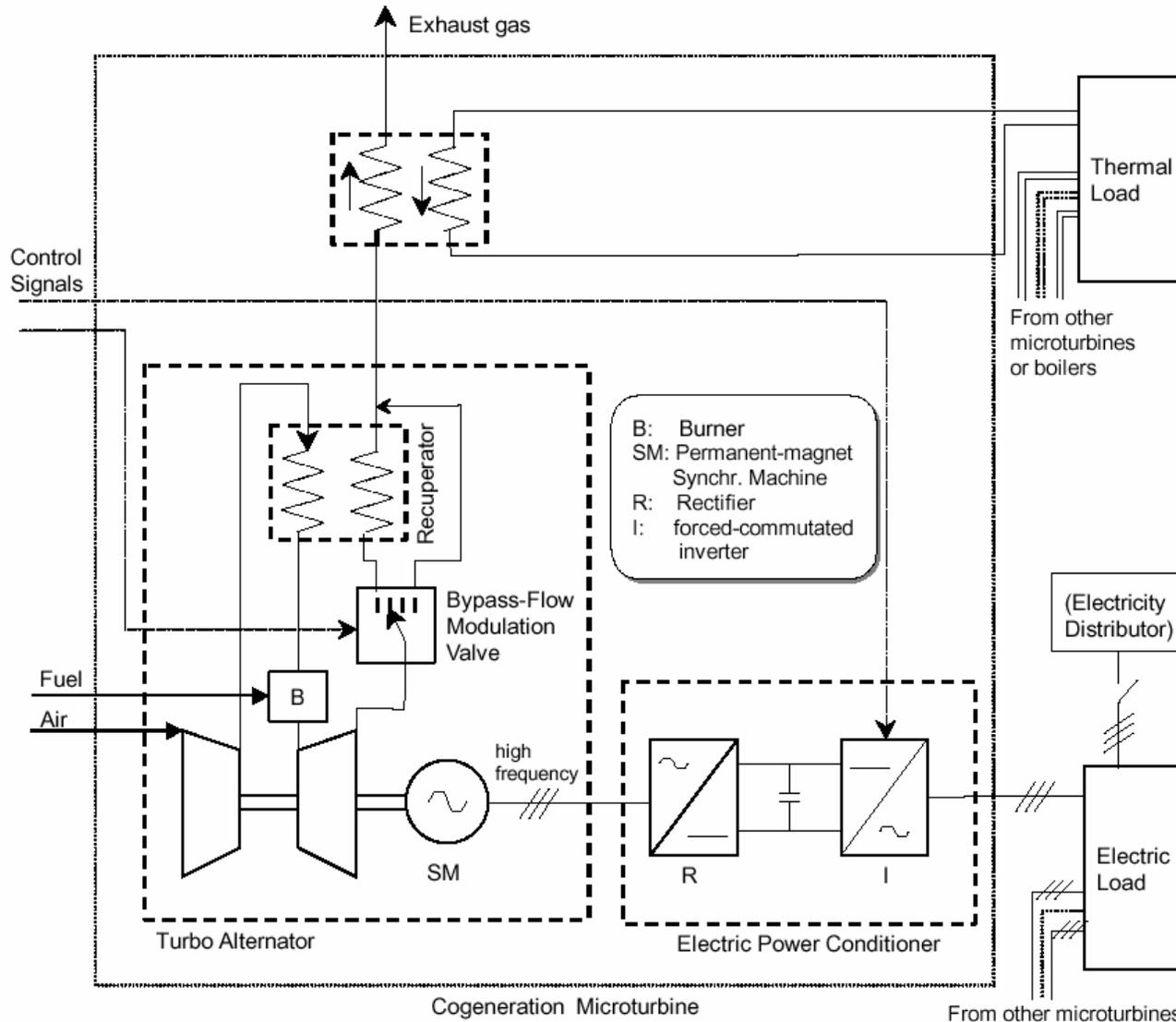
Inverter

Carico

Schema di principio

2. Connessione alla rete

cont.



Connessione alla rete di distribuzione di impianti con microturbine a gas

Indice

1. Introduzione
2. Connessione alla rete BT (utilizzatore o rete pubblica)
 - a. diretta
 - b. attraverso apparecchi elettronici di potenza
- 3. Regolazione della potenza e della tensione**
4. Qualità della tensione
5. Protezioni
6. Funzionamento in parallelo alla rete e utilizzo come generazione di back-up in isola
7. Impianti di micro-cogenerazione
8. Conclusioni

3. Regolazione

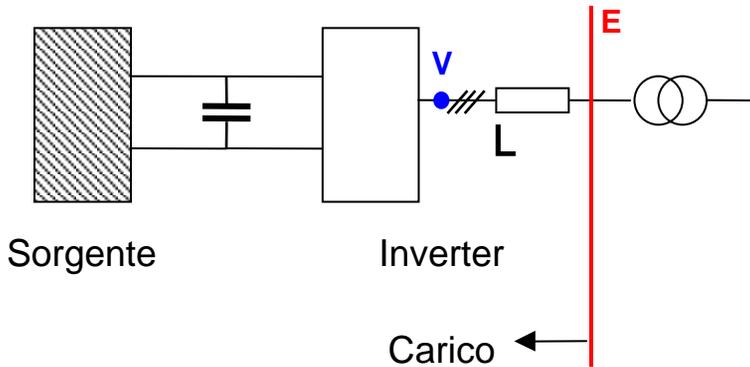
Connessione diretta:

- Generatori asincroni → regolazione P
- Generatori sincroni → regolazione P e V (Q)

3. Regolazione

cont.

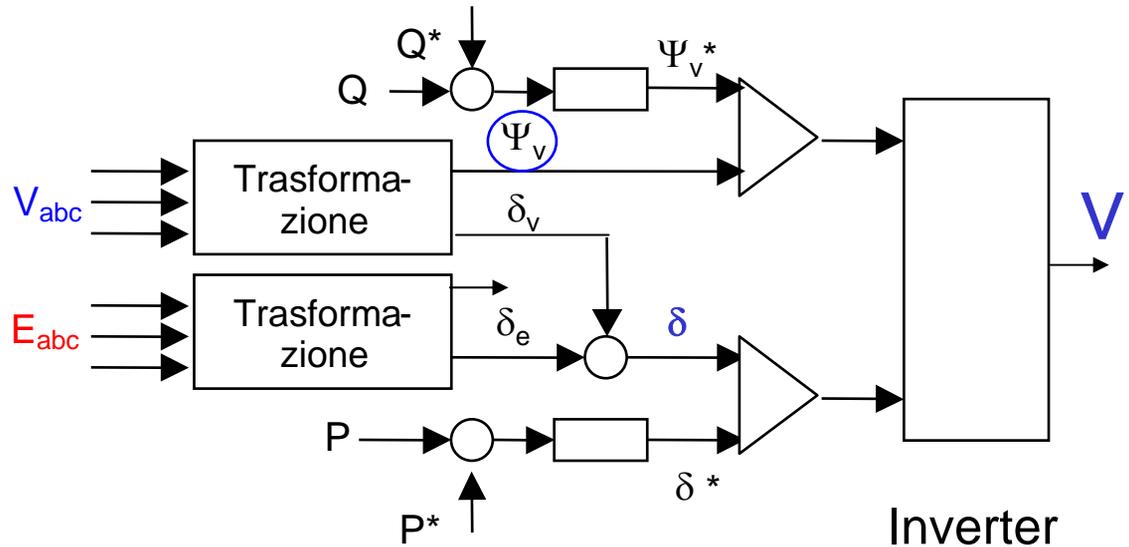
Connessione indiretta attraverso inverter:



$$P = \frac{V \cdot E}{\omega \cdot L} \cdot \sin \delta$$

$$Q = \frac{V^2}{\omega \cdot L} - \frac{V \cdot E}{\omega \cdot L} \cdot \cos \delta$$

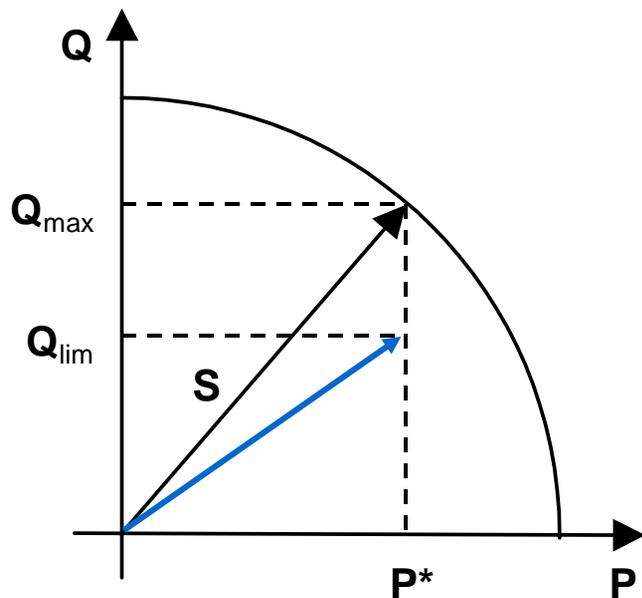
Tensione al condensatore costante



3. Regolazione

cont.

Connessione attraverso inverter:



Differenti modalità:

1. L'inverter fornisce solo potenza attiva
2. L'inverter fornisce potenza reattiva fino al valore Q_{max}
3. L'inverter fornisce potenza reattiva fino a che il $f.d.p > 0.85$ (ad esempio), ossia fino al valore Q_{lim}

Spesso viene adottato il seguente criterio:

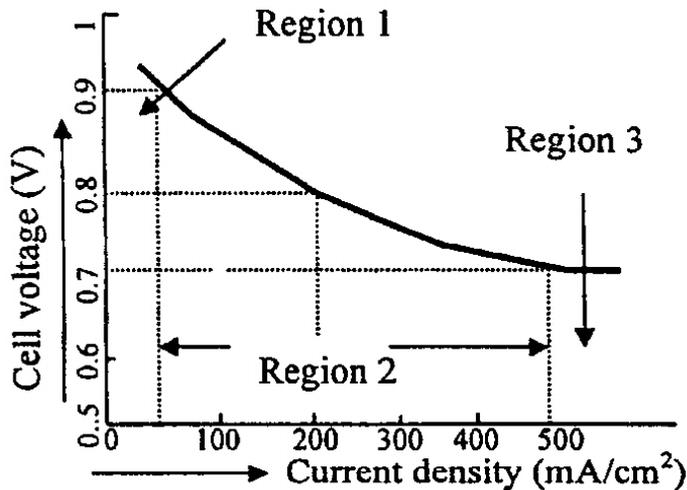
se l'impianto è connesso alla rete, allora l'inverter è controllato in corrente

se l'impianto funziona in isola, allora l'inverter è controllato in tensione

3. Regolazione

cont.

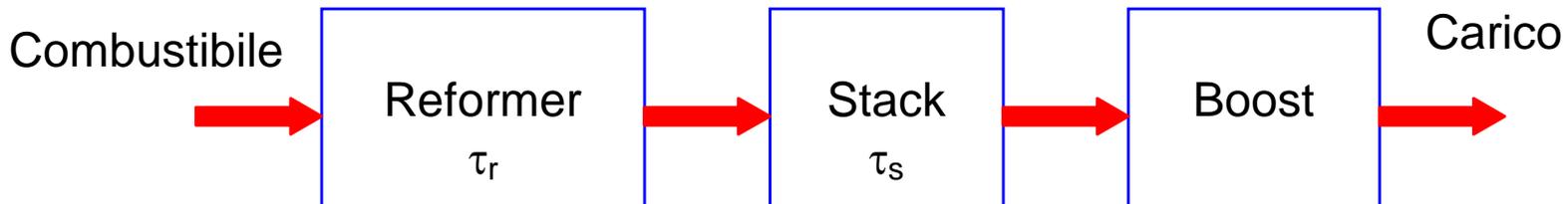
Pile a combustibile



La pila ha una caratteristica del tipo in figura (alte correnti e basse tensioni);
il suo comportamento è molto sensibile alle variazioni di carico;
la caratteristica è non lineare.

I tempi di risposta del convertitore DC/DC boost sono molto più piccoli di quelli del “reformer” e dello “stack”.

→ per mantenere costante la tensione al condensatore, la relativa regolazione agisce inizialmente solo sul boost, ma deve successivamente anche modificare la portata di combustibile.



$$\tau_r \text{ (decine di secondi)} > \tau_s$$

3. Regolazione

cont.

Pile a combustibile

Variabili controllate:

- tensione dello stack (attraverso il combustibile)
- tensione del booster (attraverso il duty ratio del booster)

Altre variabili importanti:

- utilizzo del combustibile (rapporto fra combustibile che reagisce a quello disponibile)
- pressione (all'anodo e al catodo)

Limiti:

Sovratensione o tensione troppo bassa dello stack

Utilizzo di combustibile troppo basso (corrente bassa in rapporto al combustibile) o utilizzo troppo alto (troppa corrente in rapporto al combustibile)

3. Regolazione

cont.

Pile a combustibile

Se la pila a combustibile lavora con una utilizzazione di combustibile alta (es. $>85\%$), si riduce la sua capacità di seguire rapidamente un aumento di carico a causa delle limitazioni di massimo utilizzo e di tensione troppo bassa.

Se l'utilizzo di combustibile è troppo alto (es. $>90\%$) la cella si può danneggiare.

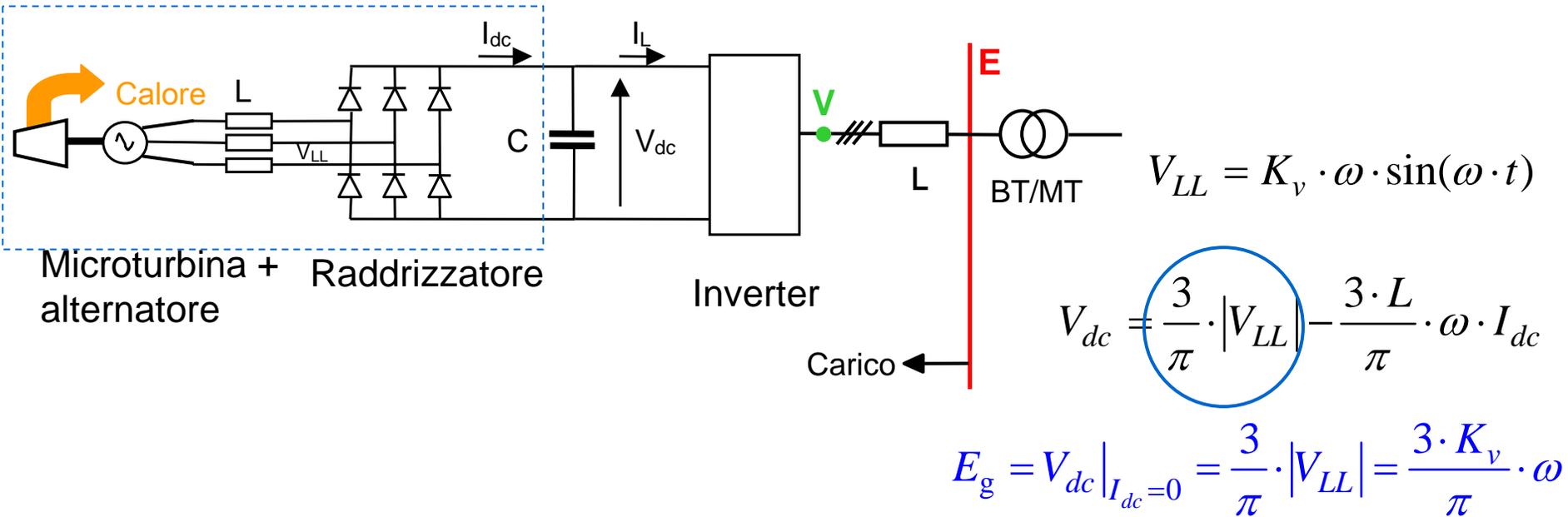
Se la tensione di stack è troppo bassa l'inverter può perdere il sincronismo con la rete

Se l'utilizzo di combustibile è basso la tensione di cella tende ad aumentare rapidamente.

3. Regolazione

cont.

Connessione attraverso raddrizzatore + inverter



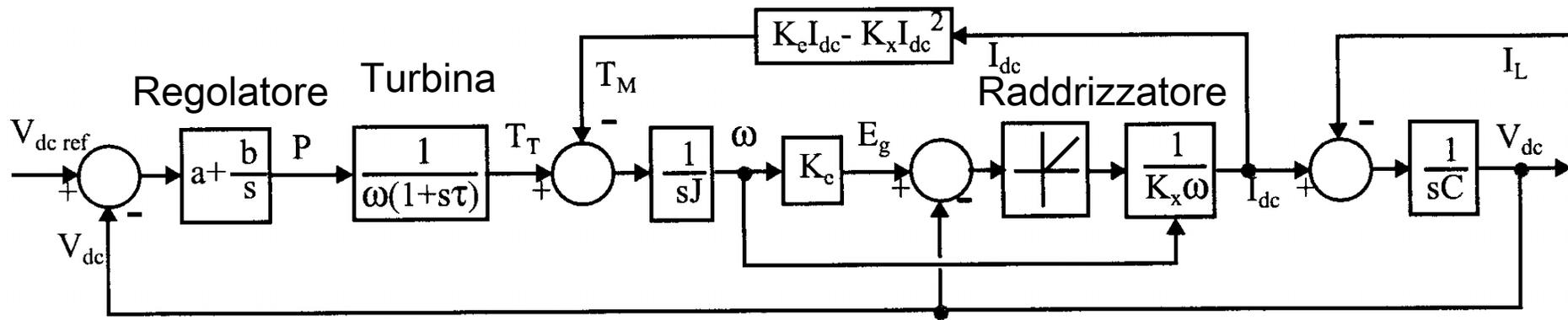
Potenza in uscita al raddrizzatore

$$P = V_{dc} \cdot I_{dc} = \frac{3 \cdot K_v}{\pi} \cdot \omega \cdot I_{dc} - \frac{3 \cdot L}{\pi} \cdot \omega \cdot I_{dc}^2$$

3. Regolazione

cont.

Microturbine a gas



La tensione ai capi del condensatore è l'input del regolatore di potenza attiva

$$T_m = \frac{P}{\omega} = \underbrace{\frac{3 \cdot K_v}{\pi}}_{ke} \cdot I_{dc} - \underbrace{\frac{3 \cdot L}{\pi}}_{kx} \cdot I_{dc}^2$$

Indice

1. Introduzione
2. Connessione alla rete BT (utilizzatore o rete pubblica)
 - a. diretta
 - b. attraverso apparecchi elettronici di potenza
3. Regolazione della potenza e della tensione
- 4. Qualità della tensione**
5. Protezioni
6. Funzionamento in parallelo alla rete e utilizzo come generazione di back-up in isola
7. Impianti di micro-cogenerazione
8. Conclusioni

4. Qualità della tensione

- Armoniche dovute a inverter
- Con un controllo raffinato e convertitori ad alta frequenza, i generatori distribuiti connessi tramite apparecchiature elettroniche di potenza possono espletare anche la funzione di filtri attivi (maggiori potenze e costi)

Indice

1. Introduzione
2. Connessione alla rete BT (utilizzatore o rete pubblica)
 - a. diretta
 - b. attraverso apparecchi elettronici di potenza
3. Regolazione della potenza e della tensione
4. Qualità della tensione
- 5. Protezioni**
6. Funzionamento in parallelo alla rete e utilizzo come generazione di back-up in isola
7. Impianti di micro-cogenerazione
8. Conclusioni

5. Protezioni

Occorre riverificarle

Protezioni di interfaccia

Normativa di riferimento:

Italia Norma CEI 11-20, “Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria”, 2000

Francia Arr..tè du 21 mai 1997 relatif aux conditions techniques de raccordement au reseau public des installations de production autonome d'énergie électrique de moins de 1 MW, Journal officiel de la République Francaise du 21 juillet 1997.

Germania VDEW, Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen mit dem Mittelspannungsnetz des Elektrizitätsversorgungsunternehmens (EVU), VWEW-Verlag, Framkfurt (1998)

Indice

1. Introduzione
2. Connessione alla rete BT (utilizzatore o rete pubblica)
 - a. diretta
 - b. attraverso apparecchi elettronici di potenza
3. Regolazione della potenza e della tensione
4. Qualità della tensione
5. Protezioni
- 6. Funzionamento in parallelo alla rete e utilizzo come generazione di back-up in isola**
7. Impianti di micro-cogenerazione
8. Conclusioni

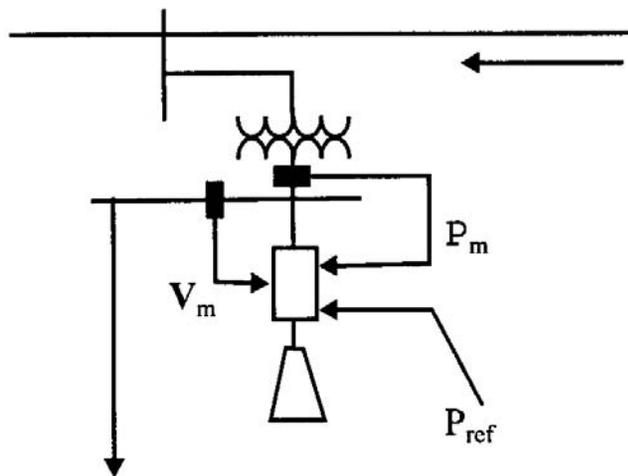
6. Utilizzo in parallelo alla rete

Sia le microturbine a gas sia le pile a combustibile hanno tempi di risposta superiori al secondo.

Non riescono perciò a seguire variazioni molto rapide del carico

Soluzioni:

- aggiungere un **dispositivo di accumulo**
- **utilizzo della rete**. La regolazione non cerca di seguire il carico ma ha come riferimento la potenza scambiata con la rete. Quando il carico varia, la rete segue il carico e il GD riporta in seguito la potenza scambiata con la rete al valore impostato.

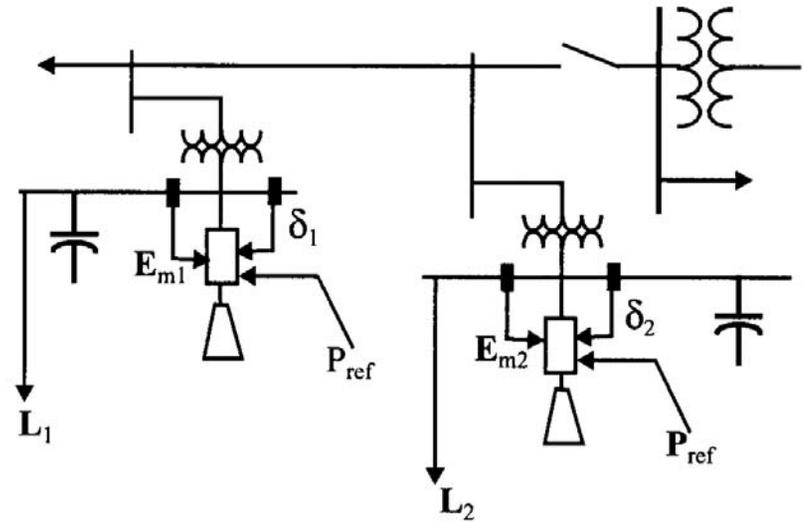


6... come generatore di backup in isola

E' necessario che il generatore rimanga in funzione e riesca a seguire il carico in isola.

Occorre il dispositivo di accumulo in gradi di seguire le variazioni rapide di carico.

Inoltre occorre che la frequenza degli inverter presenti uno statismo al variare del carico in modo da consentire la ripartizione del carico fra più GD.



Indice

1. Introduzione
2. Connessione alla rete BT (utilizzatore o rete pubblica)
 - a. diretta
 - b. attraverso apparecchi elettronici di potenza
3. Regolazione della potenza e della tensione
4. Qualità della tensione
5. Protezioni
6. Funzionamento in parallelo alla rete e utilizzo come generazione di back-up in isola
- 7. Impianti di micro-cogenerazione**
8. Conclusioni

7. Impianti di micro-cogenerazione

1. Risulta importante lo studio del carico elettrico e termico
2. Risulta fondamentale la scelta di quale parametro utilizzare per la regolazione di potenza del generatore, se la richiesta del carico elettrico o di quello termico.

In genere la condizione di maggiore resa economica si ha seguendo il carico termico. In questo caso risulta più difficile utilizzare il generatore distribuito come generatore di back up.

Soluzioni:

- a. sistema di protezione che consente di mantenere in funzione il generatore in caso di black out della rete e riduzione opportuna del carico elettrico.
- b. sistema automatico di distacco e riavvio molto rapido del gruppo cogenerativo.

7. Impianti di micro-cogenerazione *cont.*

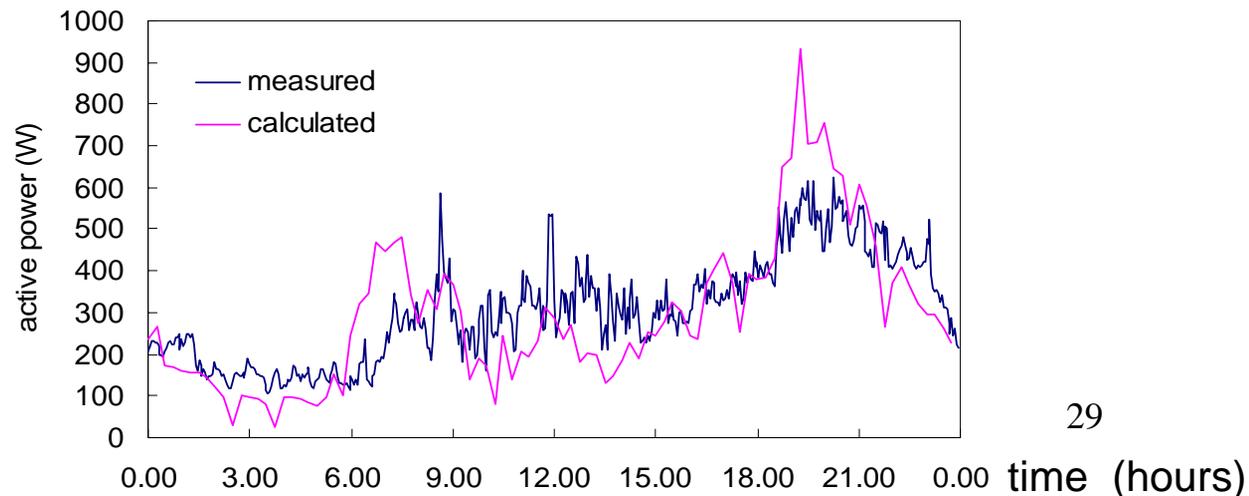
Scopo del modello di carico elettrico e termico

rappresentare le condizioni di funzionamento caratteristico per la scelta e la progettazione dei regolatori del sistema

Modello del carico elettrico

Il modello fornisce il diagramma di carico giornaliero attraverso un processo di sintesi che parte dalla conoscenza delle caratteristiche socio-economico demografiche dell'utenza residenziale, combinate con le caratteristiche dei tipici profili di carico delle apparecchiature elettriche

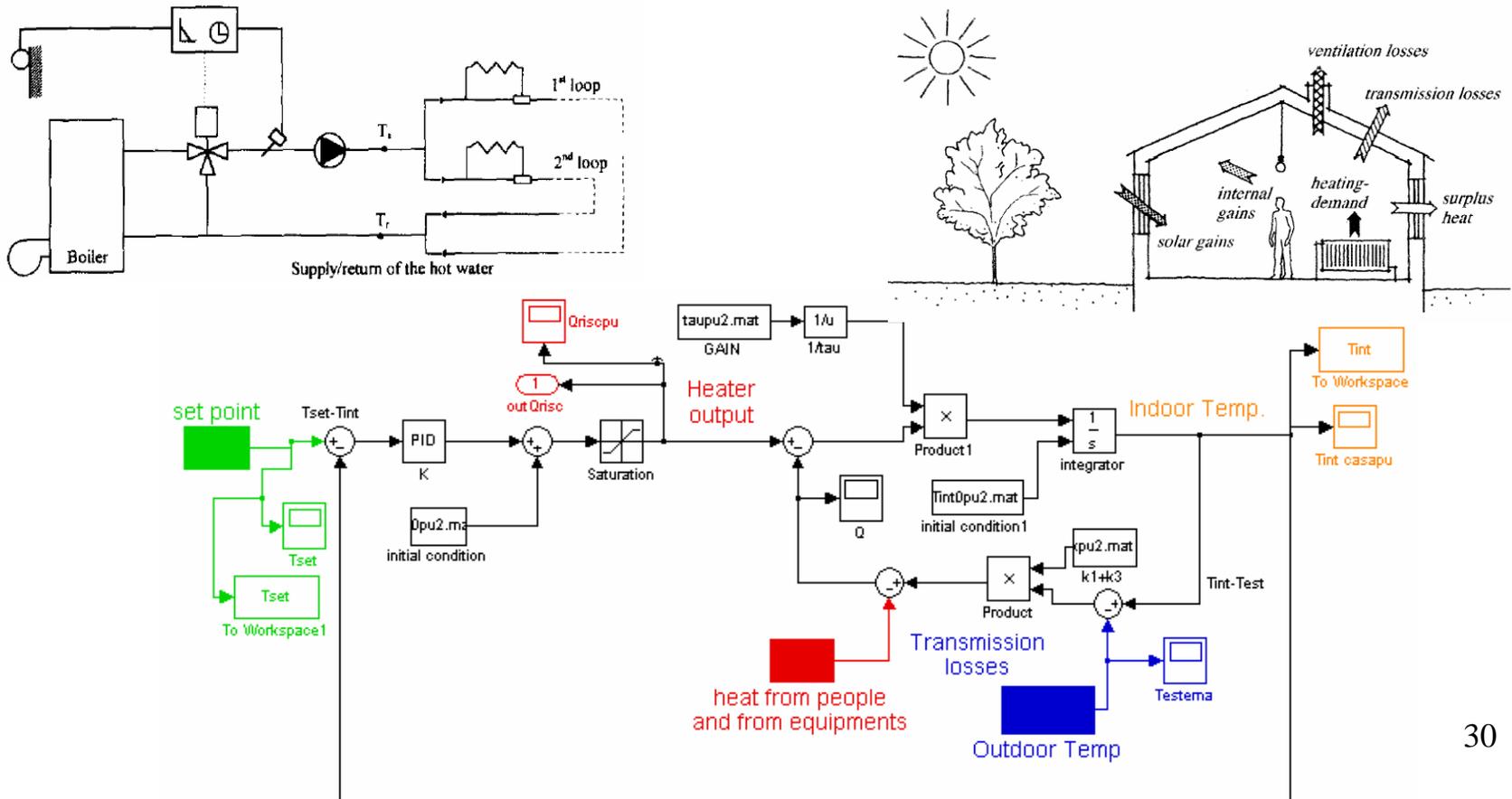
Esempio



7. Impianti di micro-cogenerazione *cont.*

Modello del carico termico

Il modello semplificato del carico termico rappresenta la trasmissione del calore attraverso le pareti dell'edificio e il bilancio termico interno



Indice

1. Introduzione
2. Connessione alla rete BT (utilizzatore o rete pubblica)
 - a. diretta
 - b. attraverso apparecchi elettronici di potenza
3. Regolazione della potenza e della tensione
4. Qualità della tensione
5. Protezioni
6. Funzionamento in parallelo alla rete e utilizzo come generazione di back-up in isola
7. Impianti di micro-cogenerazione
- 8. Conclusioni**

Conclusioni

Possibilità di un controllo P e V raffinato (aumentando la potenza dell'inverter e quindi i costi)

Possibilità di migliorare la qualità dell'energia

Parallelo e isola richiedono analisi accurata del funzionamento

Problematiche di telemisura e teleconduzione (rete distribuzione non è passiva)