



Introduzione ai microCHP con celle a combustibile

Prof. Massimo Santarelli, Dipartimento Energia Politecnico di Torino

Micro-cogenerazione a celle a combustibile Workshop nell'ambito del progetto europeo ene.field in Trentino

Venerdì 31 gennaio 2014 Ore 8:15 - 13:00

Sala Congressi della Federazione
Trentina delle Cooperative, Trento



DIRECTIVE 2012/27/EU on Energy Efficiency

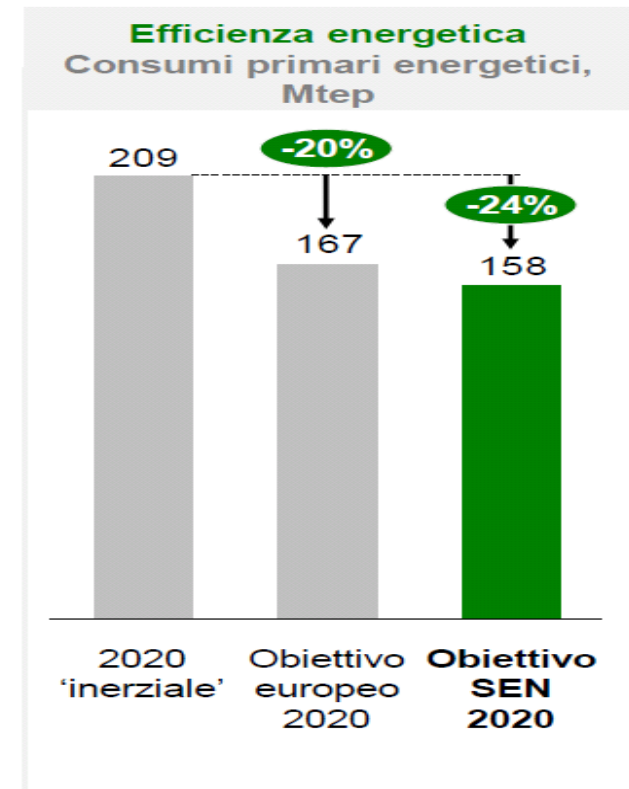
“Member States should carry out a comprehensive assessment of the potential for high-efficiency cogeneration and district heating and cooling.”

Microcogenerazione domestica: COGEN Europe Position Paper 2013

«Micro-CHP: a cost effective solution to save energy, reduce GHG emissions and partner with intermittent renewable»

Caratteristiche:

- Co-produzione elettrica e termica
- Produzione energia elettrica in corrispondenza di utenza (no perdite di trasmissione)
- Recupero energia termica per utilizzo presso utenza
- Con adeguati dispositivi, riduzione di consumo di energia primaria rispetto a ipotesi 0 (acquisto elettricità da rete e produzione termica in caldaia locale)
- Come conseguenza, minore impatto ambientale
- Con adeguati dispositivi, vantaggi economici per l'utente finale
- Integrazione e complemento di tecnologie rinnovabili locali



Fonte: SEN 2013

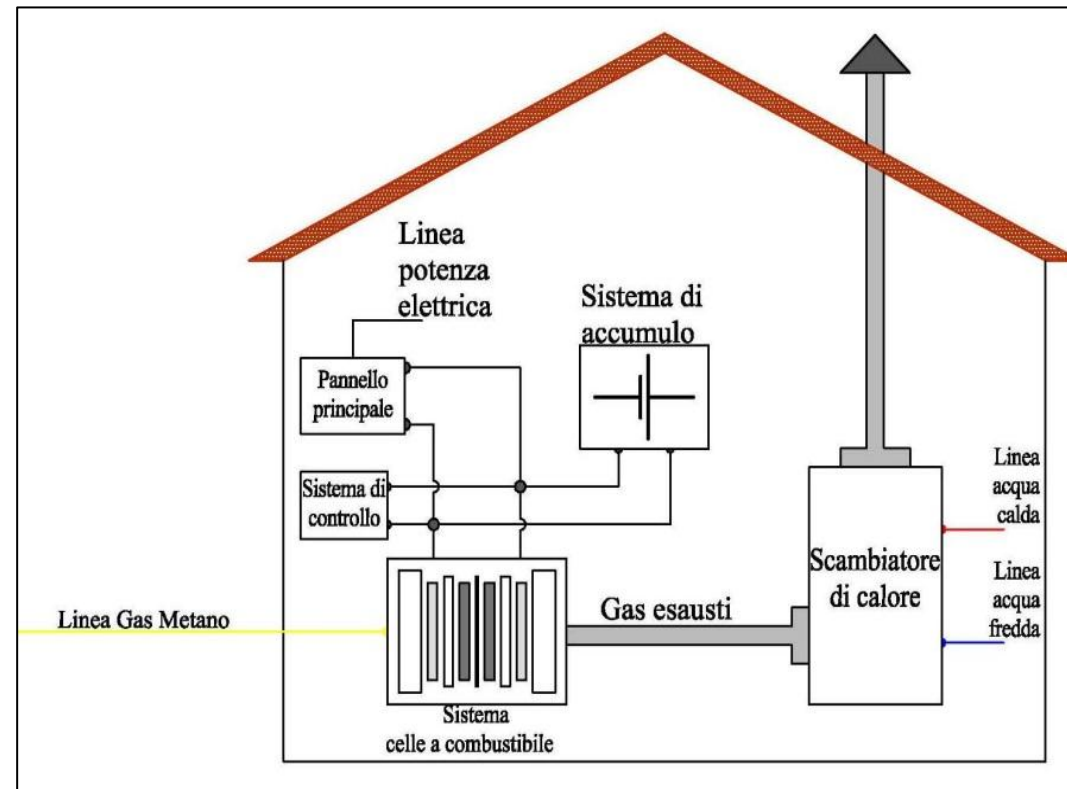
Microgenerazione basata su celle a combustibile

Sistemi che utilizzano come motore primo un generatore elettrochimico (cella a combustibile) al posto di un motore termico. Due tipologie principali:

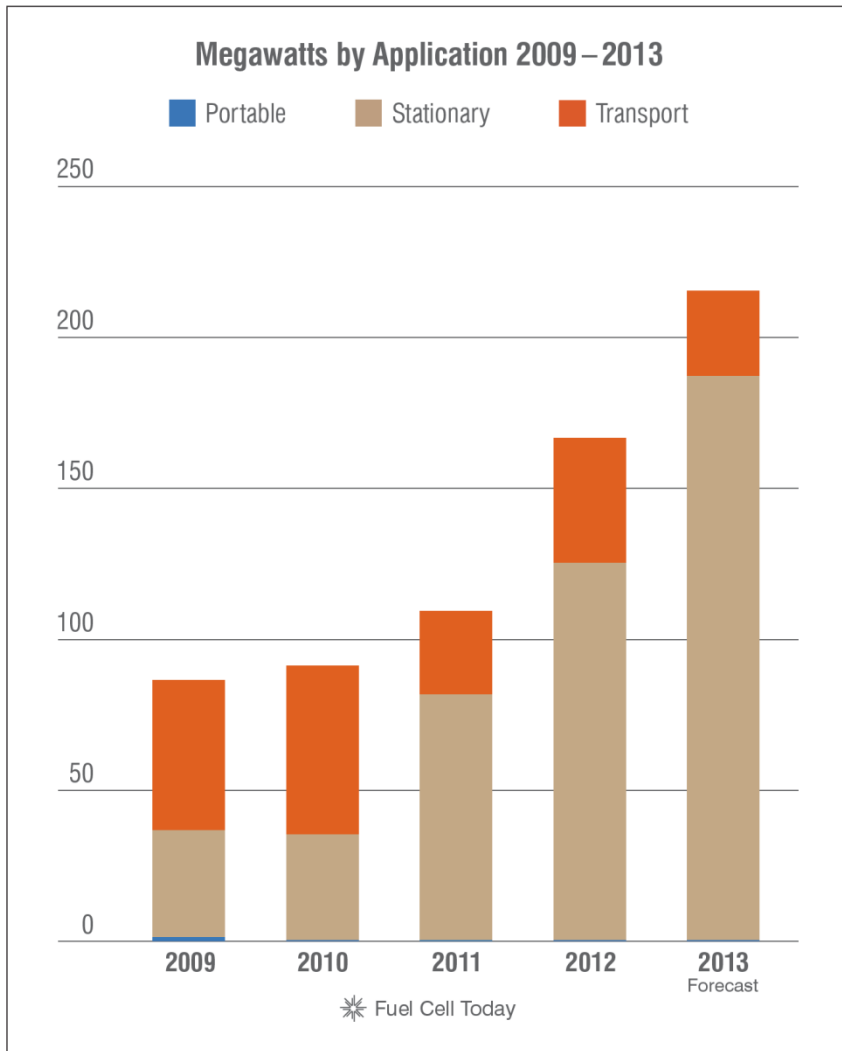
- FC-based microCHP con celle PEMFC (celle a elettrolita polimerico): T di lavoro $\sim 60-80^{\circ}\text{C}$
- FC-based microCHP con celle SOFC (celle a elettrolita polimerico): T di lavoro $\sim 750^{\circ}\text{C}$

Caratteristiche:

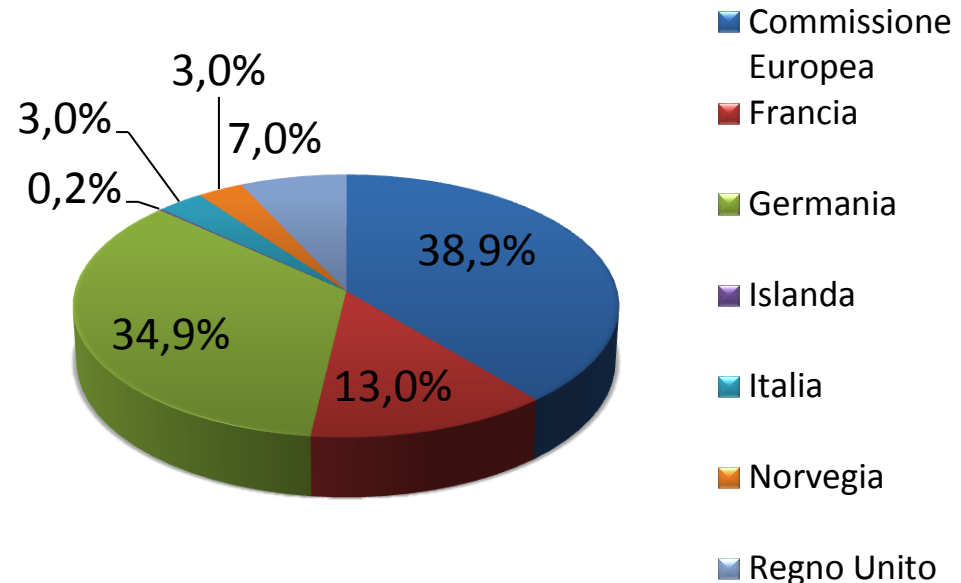
- Elevata efficienza elettrica (massimizzazione della efficienza di trasformazione del combustibile)
- Basso heat-to-power ratio (fitting con residenziale moderno)
- Basso impatto ambientale (maggiore efficienza riduce emissione CO₂, ridotta combustione riduce NO_x, assenza di SO_x e VOC)
- Elevata modularità di taglia
- Significativa riduzione consumo fonti primarie
- Flessibilità del combustibile (state-of-the-art è gas naturale di rete)
- Vantaggi economici per l'utente finale



Celle a combustibile: MW installati e investimenti in EU



- 215.3 MW installati per il 2013 (76% delle unità installate in Asia).
- Maggior parte delle installazioni nel settore stazionario.
- Crescita soprattutto in Giappone grazie ad Enefarm (residenziale), ed in Corea del Sud (generazione distribuita multi-MW).

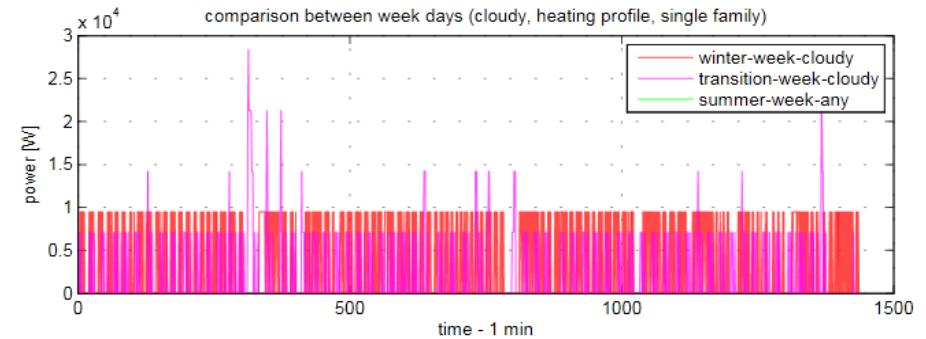
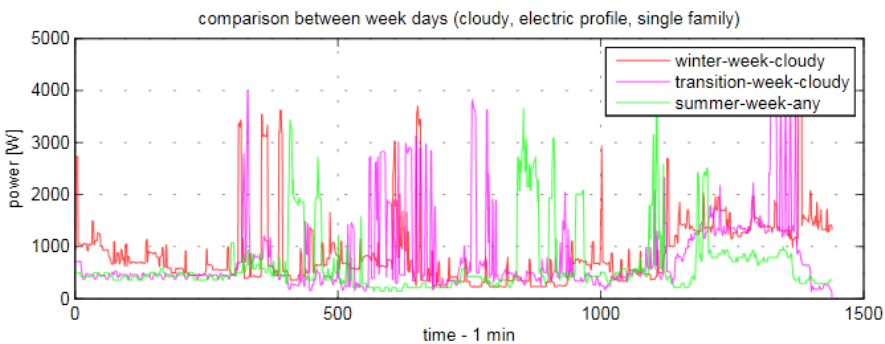
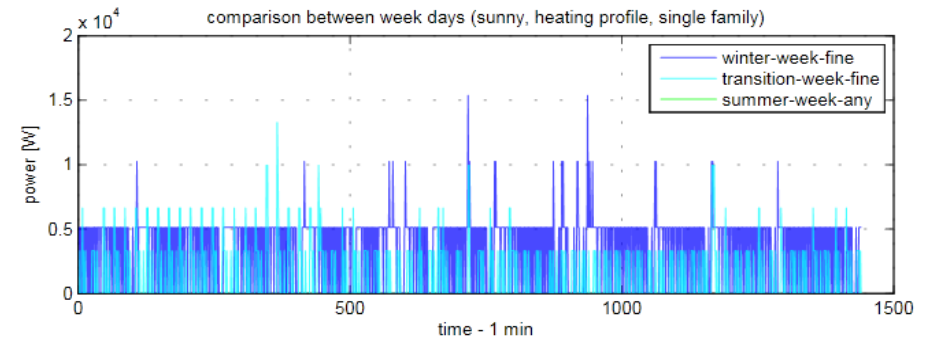
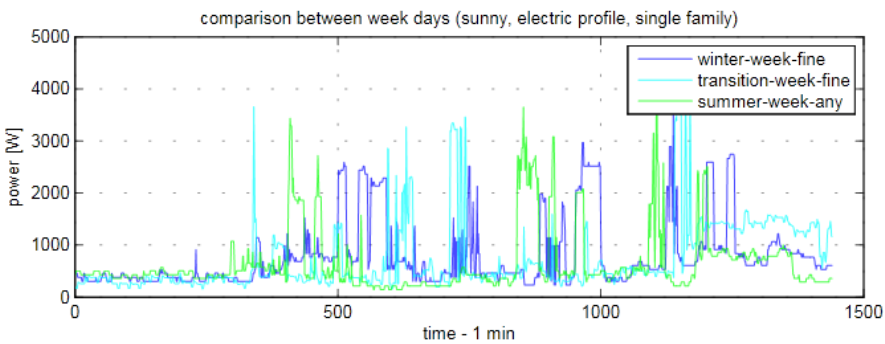


FC-based microCHP: analisi energetica con profili di carico residenziali

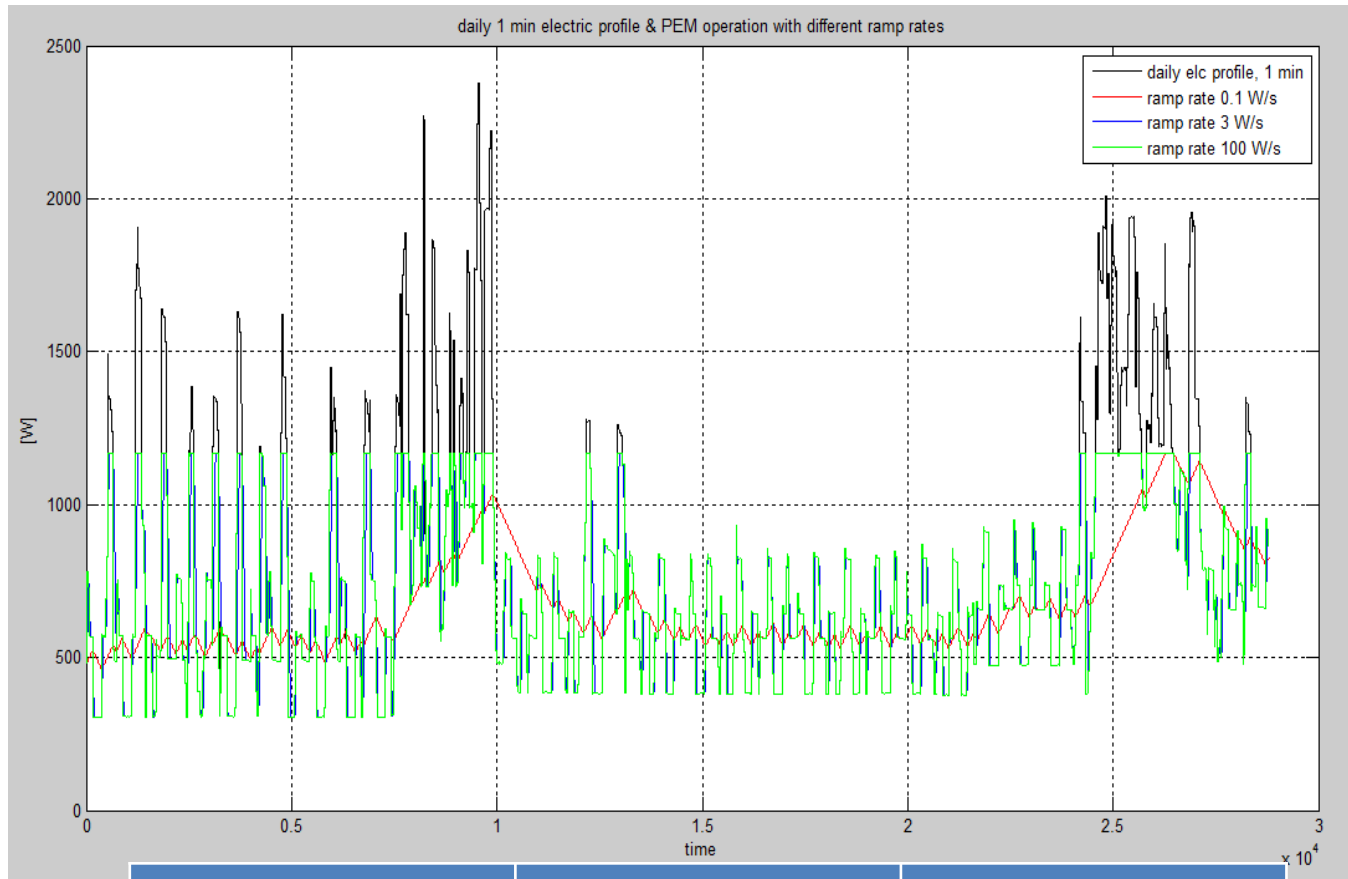
"Verein Deutscher Ingenieure, Reference load profiles of single-family and multifamily houses for the use of CHP systems, May 2008."

Electric load, single family, week day

Heating load, single family, week day



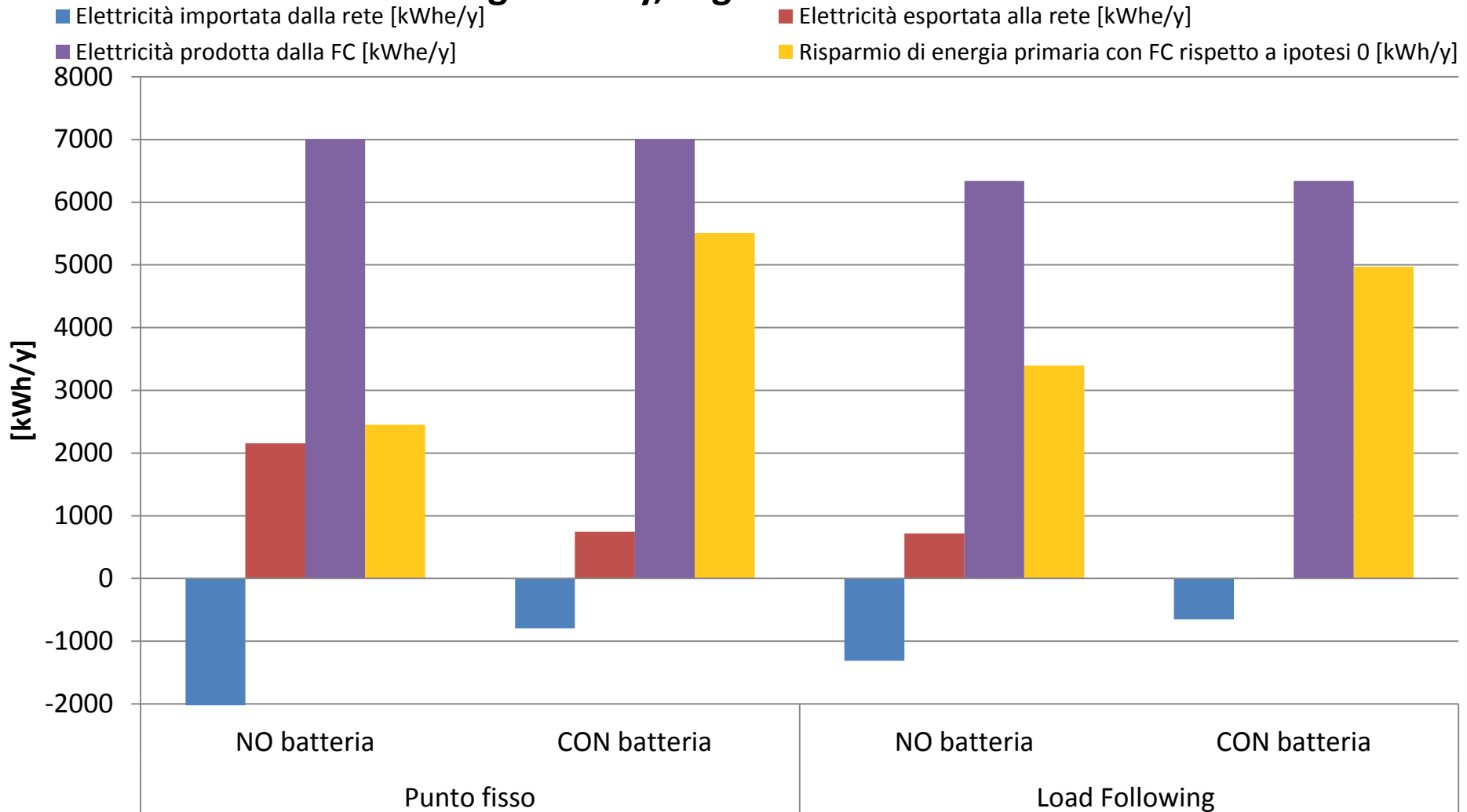
FC-based microCHP: analisi energetica con profili di carico residenziali



**Fattore di
copertura
elettrico**

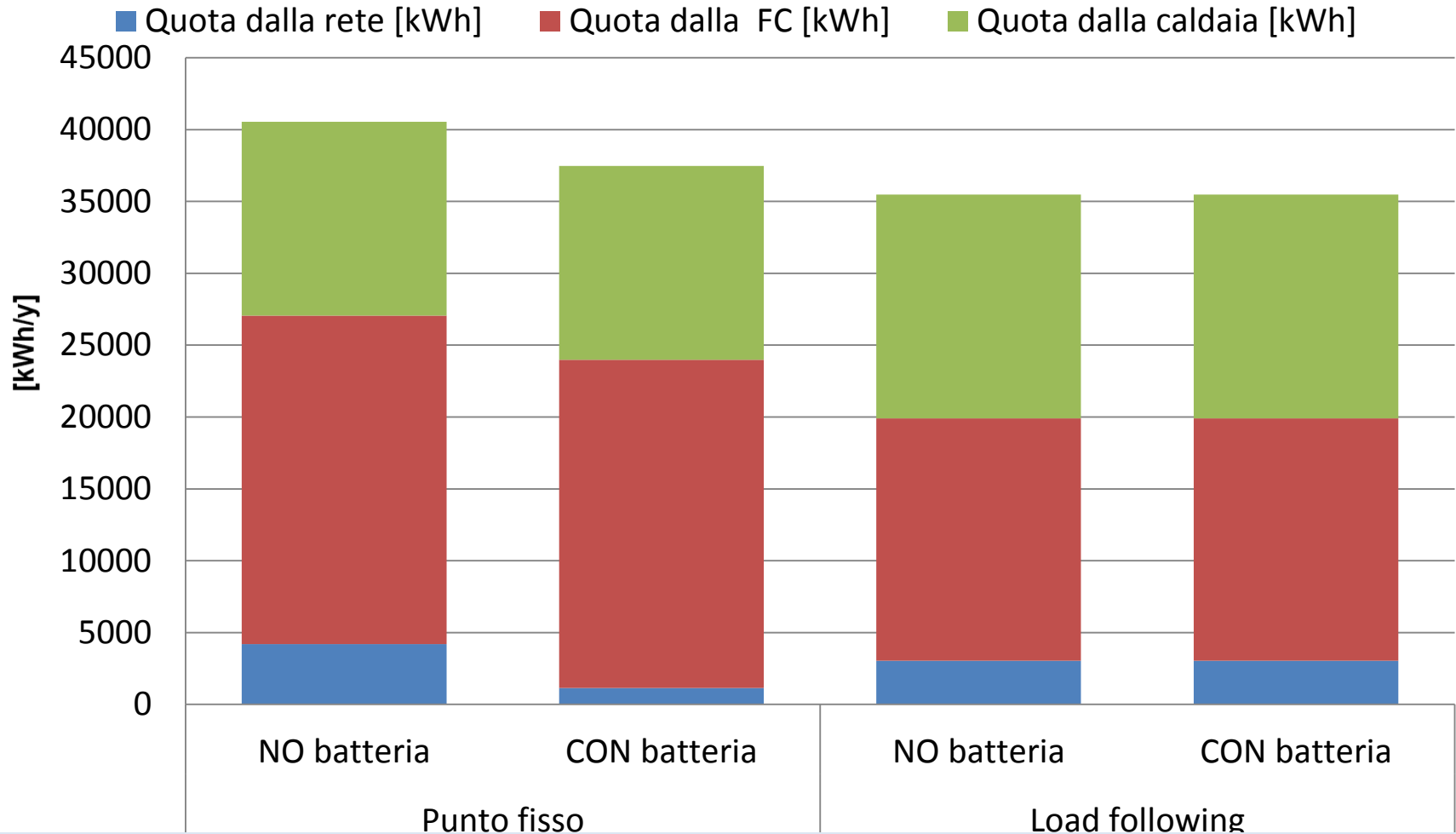
Ramp rate	3 s profile	1 min profile
0.1 W/s	0.87	0.87
3 W/s	0.92	0.92
100 W/s	0.92	0.92

FC-based microCHP: analisi energetica con profili di carico residenziali Single family, segue carico elettrico



FC-based microCHP: analisi energetica con profili di carico residenziali

Single family, segue carico elettrico - Energia primaria

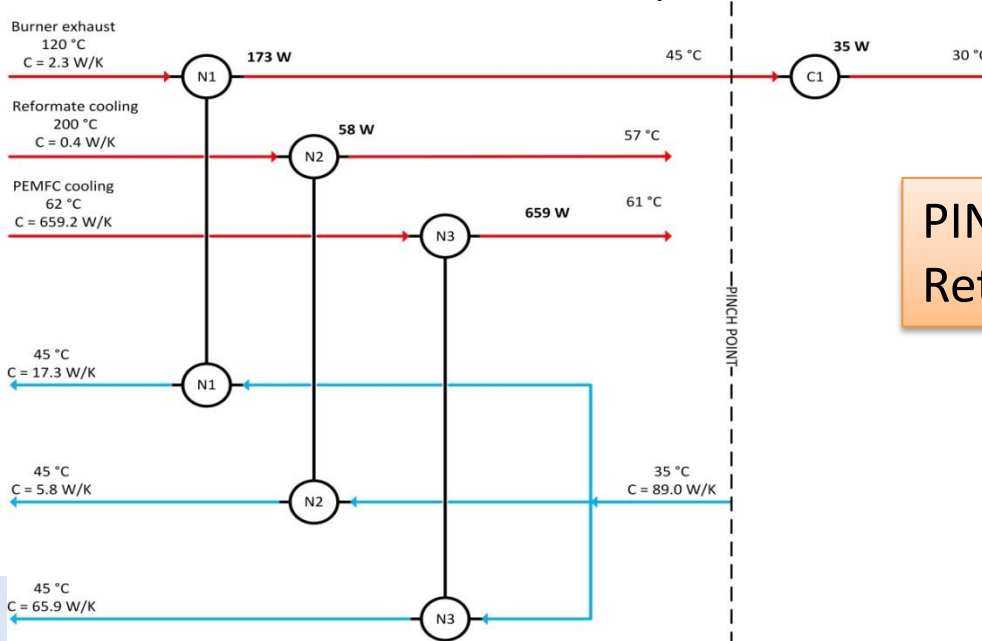


FC-based microCHP: analisi energetica con profili di carico residenziali

Ottimizzazione recupero termico (esempio PEMFC, la più penalizzata in termini di livello termico)

#	Flusso	Φ [W]	G·cp [W/K]
1	FUEL CELL	659.2	659.2
2	Esausti bruciatore	207.6 (172.9 recuperabili)	2.3
3	Cooling del Riformato	58.0	0.4
4	Utenza termica – Acqua demi	890.1	89.0

Pinch analysis: potenza termica ceduta all'utenza determinata in modo da minimizzare il calore disperso all'esterno e senza necessità di fonti esterne di



PINCH ANALYSIS:
Rete di scambiatori

FC-based microCHP: analisi energetica con profili di carico residenziali

Ottimizzazione recupero termico (esempio PEMFC, la più penalizzata in termini di livello termico)

UNI EN 1264

carico termico riferito ad un edificio (ESEMPIO: classe 'E') in base alla classificazione energetica EU.

Parametri	Valore	Unità
Superficie edificio	50	m ²
Carico termico	3210	W _{th}
Temperatura ambiente	20	°C
Temperatura dell'ambiente inferiore	10	°C
Temperatura acqua di mandata	45	°C
Temperatura acqua di ritorno	35	°C

Sensibilità rispetto alla classe energetica dell'abitazione

1) Fabbisogno di energia primaria

Tabella 1. Valori limite per il fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale per metro quadrato di superficie utile dell'edificio espresso in kWh/m² anno

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica										
	A		B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	a 601 GG	a 900 GG	a 901 GG	a 1400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG	
≤0,2	10	10	15	15	25	25	40	40	55	55	
≥0,9	45	45	60	60	85	85	110	110	145	145	

Milano, gradi giorno = 2404

CLASSIFICAZIONE ENERGETICA EDIFICIO	E	C	A++
Carico termico – φ [W/m ²]	64.20	34.42	9.38
Acqua richiesta dal sistema di riscaldamento a pavimento [kg/s]	0.09	0.05	0.02
Percentuale di riscaldamento fornito dal sistema PEM CHP	22.4%	39.7%	111.9%

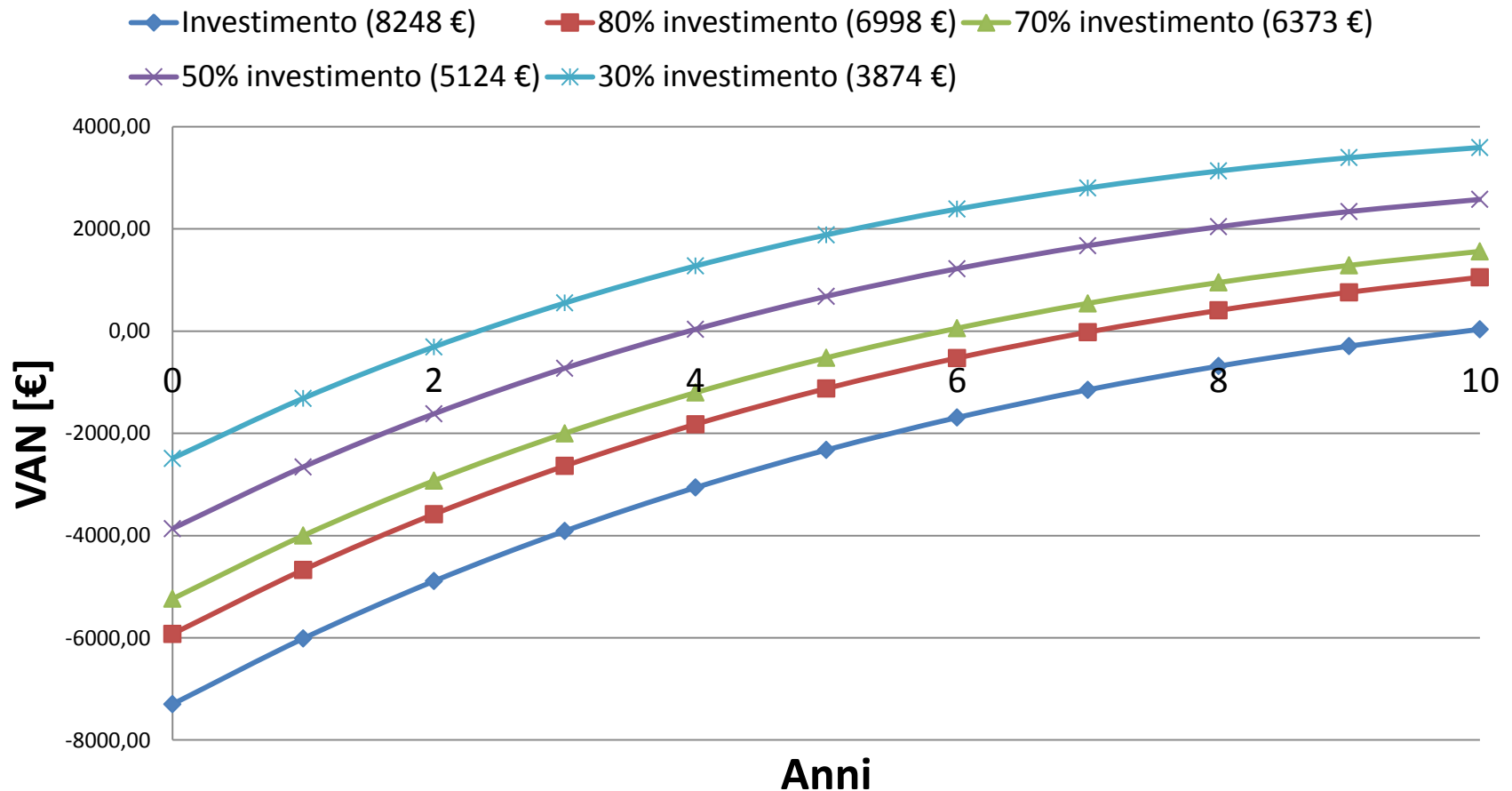
FC-based microCHP: analisi economica con profili di carico residenziali

Principali assunzioni economiche

Assunzioni: Single family		
Prezzo gas naturale di rete (produzione energia termica)	€/m ³	0,9262
Prezzo gas naturale di rete (produzione energia elettrica)	€/m ³	0,8953
Prezzo energia elettrica (da 0 a 1800 kWh/anno)	€/kWh	0,1686
Prezzo energia elettrica (da 1800 a 2640 kWh/anno)	€/kWh	0,2301
Prezzo energia elettrica (da 2640 a 4440 kWh/anno)	€/kWh	0,3010
Prezzo energia elettrica (oltre 4440 kWh/anno)	€/kWh	0,3524
Prezzo vendita energia elettrica alla rete	€/kWh	0,07841
Costo specifico microCHP FC	€/kW	6248
Costo impianto (completo di caldaia ausiliaria e batteria accumulo)	€/kW	8248
discount rate	%	7.0

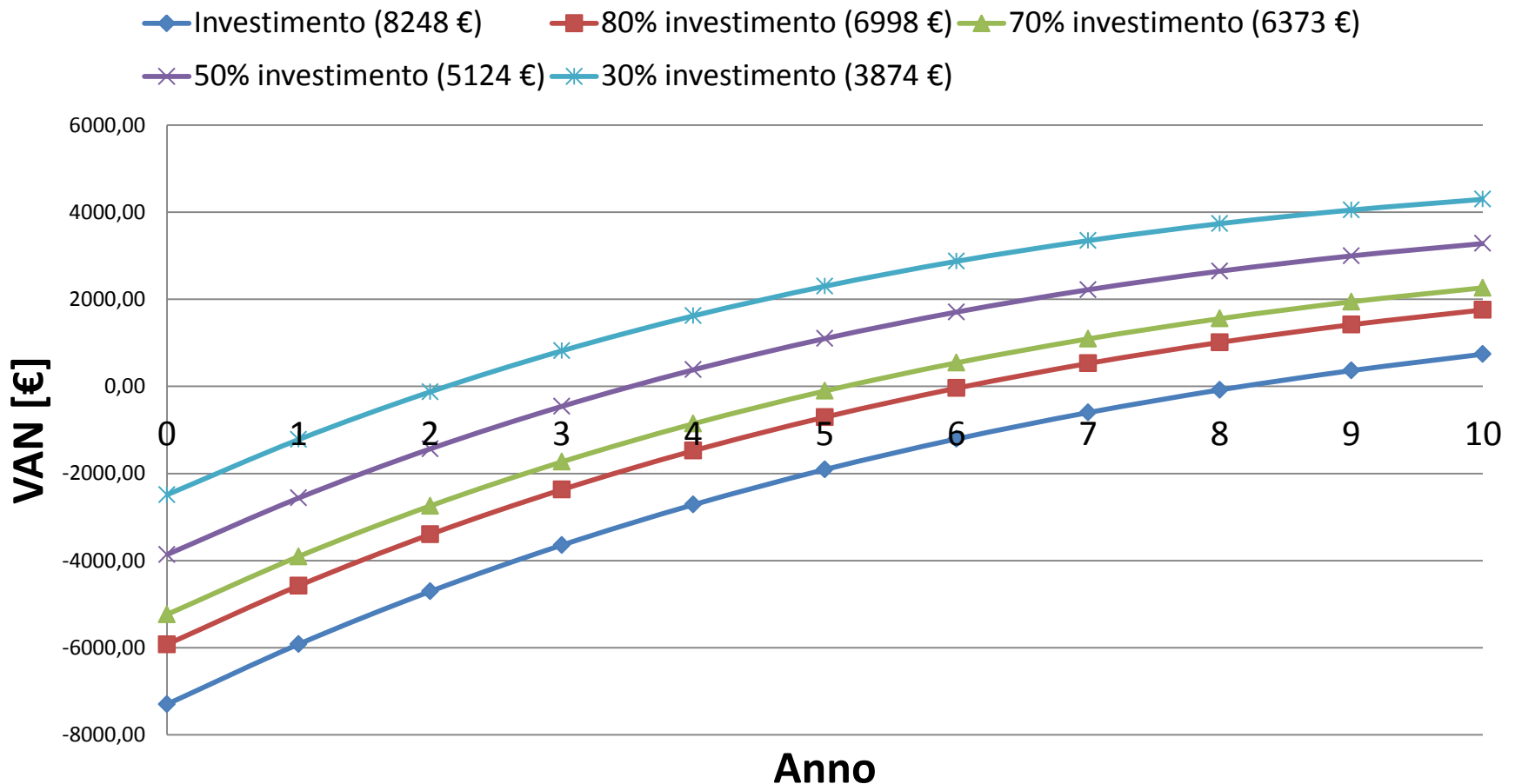
FC-based microCHP: analisi economica con profili di carico residenziali Analisi VAN confrontato con ipotesi 0: sensitività costo investimento (1 kWel)

Risparmio rispetto ipotesi 0 - Punto fisso



FC-based microCHP: analisi economica con profili di carico residenziali Analisi VAN confrontato con ipotesi 0: sensitività costo investimento (1 kWel)

Risparmio rispetto ipotesi 0 - Load following



Microcogenerazione basata su celle a combustibile: TARGETS al 2020

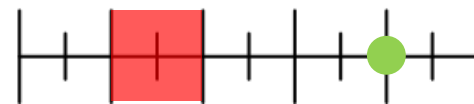
Indicatore

State-of-Art e Target

Fattore di scala

0 20 40 60 80 100

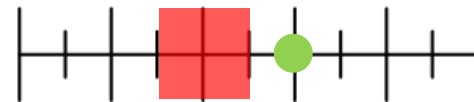
Durabilità: vita utile dello stack (hours×1000)



4

0 20 40 60 80 100

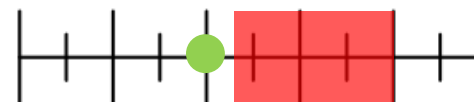
Efficienza elettrica:



2

0 2 4 6 8 10

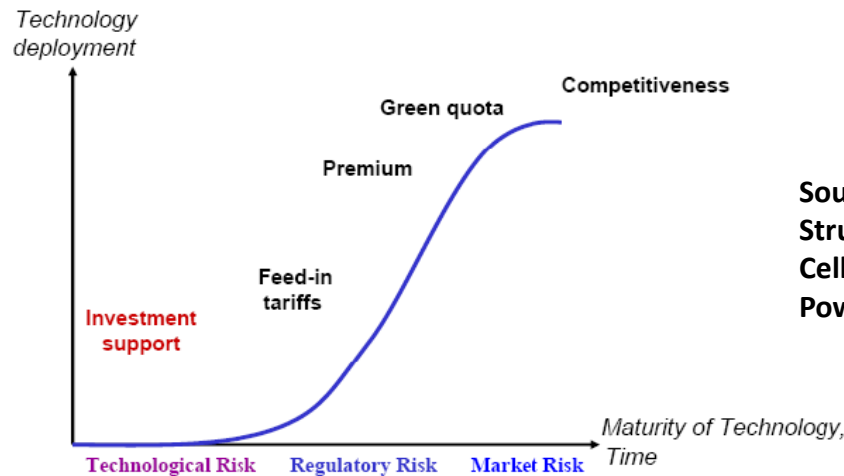
Costo di produzione: (k€/kW)



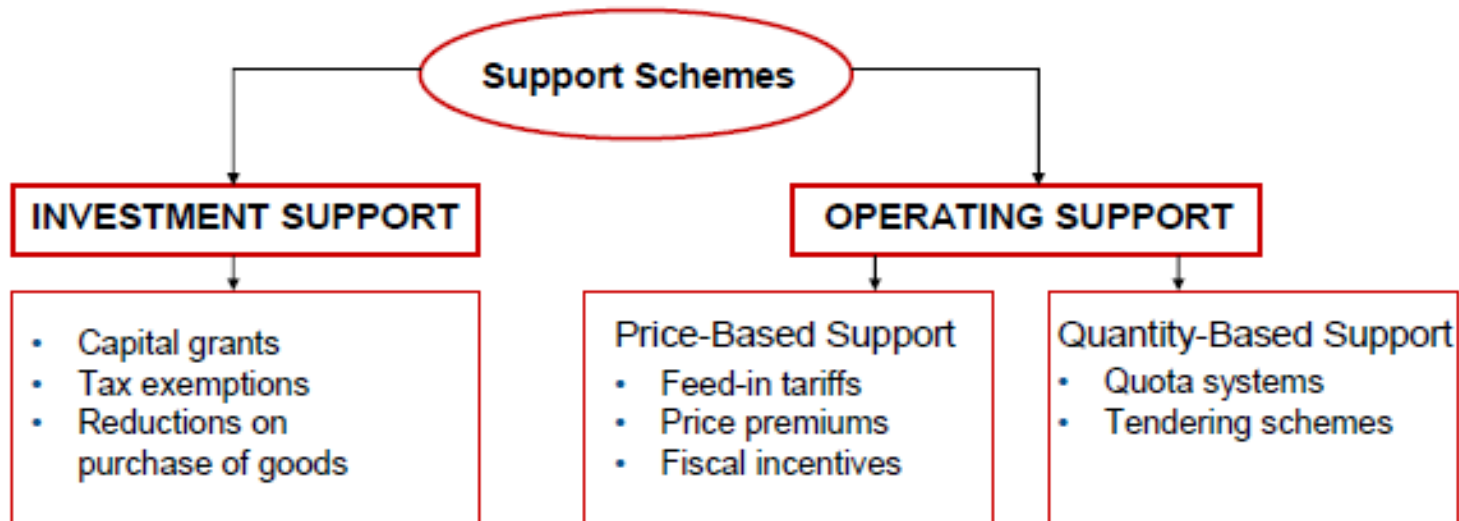
2

FC-based microCHP: analisi economica con profili di carico residenziali

Analisi schemi di premialità



Source: Support Schemes and Ownership Structures. The Policy Context for Fuel Cell Based Micro-Combined Heat and Power, DTU, 2010

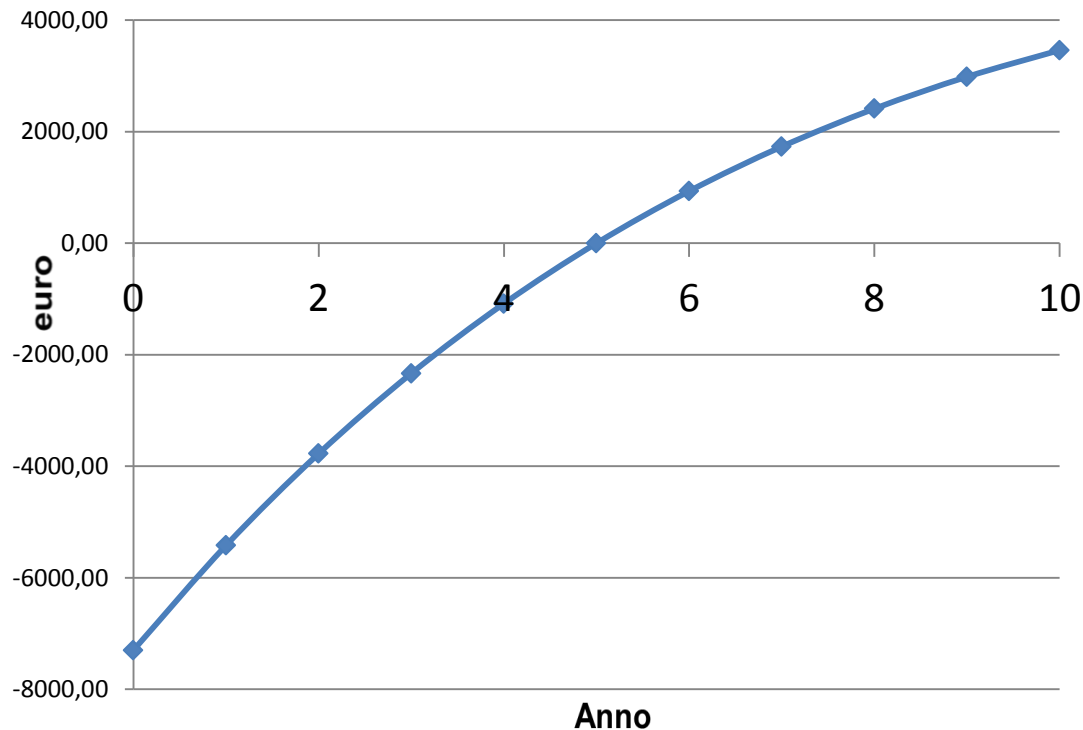


FC-based microCHP: analisi economica con profili di carico residenziali

Analisi schemi di premialità: Price Premium per autoconsumo

Finalità: incentivo al kWh per garantire ritorno investimento al 5 anno

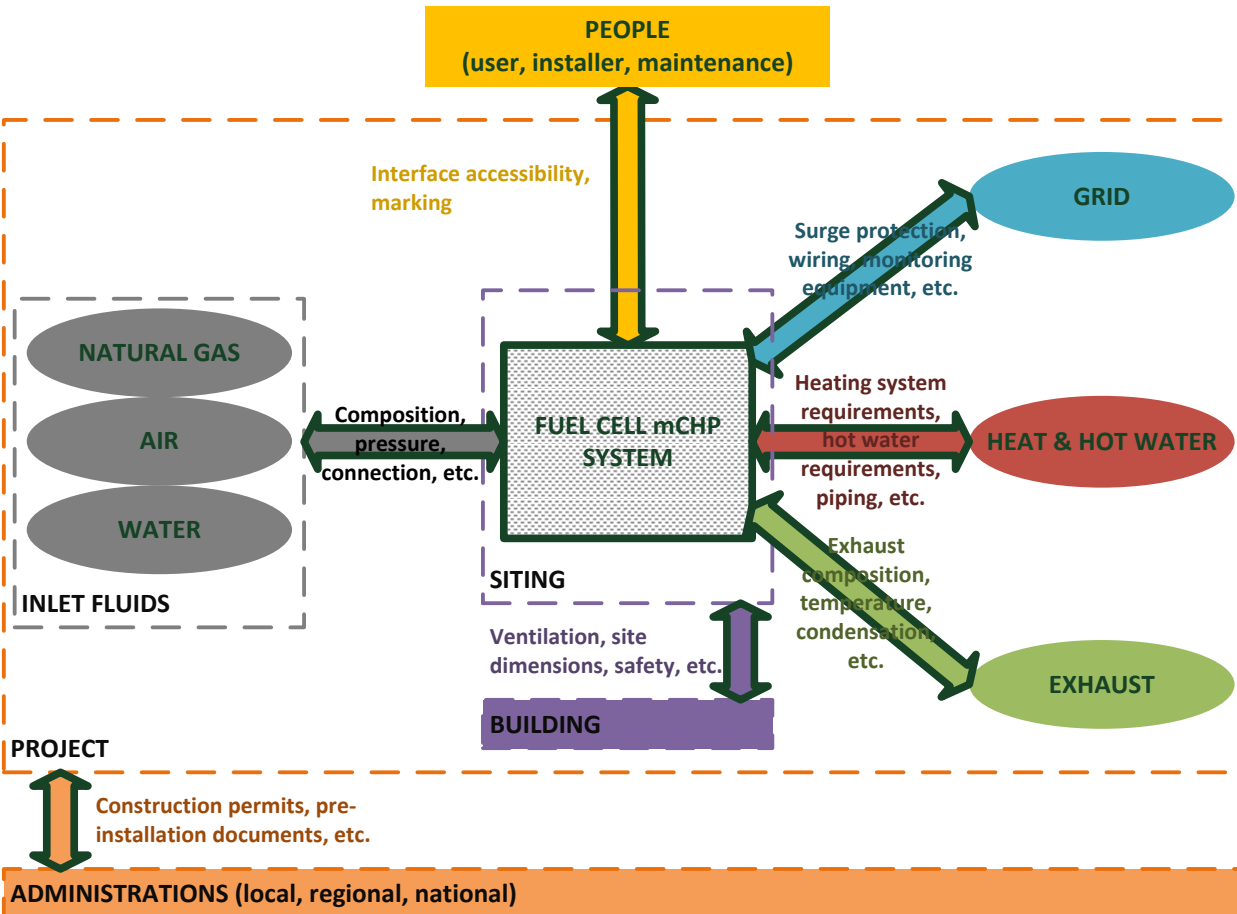
Risparmio rispetto ipotesi 0 - Load following



SINGLE FAMILY – seguio elettrico	
	Price Premium NPV=0 anno 5 (c€/kWh)
Punto fisso	9,90
Load following	9,47

Equivale a valorizzare il kWh elettrico ($7,84+9,47=17,31$ c€/kWh) ad un valore simile al prezzo di acquisto da rete per primi 1800 kWh ($16,86$ c€/kWh)

FC-based microCHP: Codes & Standards



European standards	
Topic	Issue
Connection to low-voltage distribution networks (EN 50438)	Each European Country has its own national version that supplements this standard.
IEC EN 62282 series	These standards are considered highly, but they refer to Fuel Cell Power Systems and not to microCHP system. Therefore, the values of the parameter limits (e.g., CO limits) are not adequate.
MicroCHP systems	There is a lack of consistency between the standards that deal with similar topics.
National standards	
Topic	Issue
Gas pipeline installations	There are different ranges of pressure values concerning the applicability of standards related to this topic.
Heating system sizes	The range of outputs for this system is not leveled throughout Europe.
Natural gas quality, air quality	A lack of harmonization has been observed in the former case, while the second topic is not even considered.

FC-based microCHP: EU Regulations

Commission Delegated Regulation supplementing Directive 2010/30/EU, specifica che:

"Two years after the entry into force of the Regulation, a scale from G to A for conventional heaters (G-D for electric boilers, C-B for non-condensing boilers in collective buildings, B-A for condensing boilers) with higher classes A+ for cogeneration and A++ for heat pumps will be introduced"

$$\eta_{son} = \frac{Q_{heat\ out} + Q_{prim\ in\ for\ electricity}}{Q_{prim\ in\ total}} = \eta_{thermal} + 2,5 \cdot \eta_{electrical}$$

CHP HIGH HEAT TO POWER		CHP LOW HEAT TO POWER		HEAT PUMP	
thermal load (kWh)	15000	thermal load (kWh)	15000	thermal load (kWh)	15000
electric load (kWh)	4000	electric load (kWh)	4000	electric load (kWh)	4000
electric efficiency	0,2	electric efficiency	0,5897	COP	4
thermal efficiency	0,8	thermal efficiency	0,355		
primary energy (kWh)	18750	primary energy (kWh)	6783	primary energy (kWh)	19375
heat (kWh)	15000	heat (kWh)	2408	heat (kWh)	15000
electricity (kWh)	3750	electricity (kWh)	4000	electricity (kWh)	4000
electricity imported (kWh)	250	heat imported (kWh)	12592	electricity imported (kWh)	7750
primary energy of elect. imp (kWh)	625	primary energy of elect. imp. (kWh)	0	prima energy of elect. imp. (kWh)	19375
TOT PRIMARY ENERGY (kWh)	19375	TOT PRIMARY ENERGY (kWh)	19375	TOT PRIMARY ENERGY (kWh)	19375
eta son	1,3	eta son	1,8	eta son	1,6

Conclusioni

Significativa **riduzione consumo fonti primarie**: i sistemi μ CHP hanno un contributo potenziale fino al **20% di risparmio energetico nel settore residenziale**.

Recupero energia termica per utilizzo presso utenza: impianto ottimale se integrato con edifici ad alta efficienza energetica (**classe A++**); nel caso di superficie non elevata, la potenza termica recuperata può essere sufficiente a **sostenere per intero il carico termico invernale**.

Vantaggi economici per l'utente finale.

Opportunità per le *utilities* energetiche:

1. Le *utilities* possono diventare fornitori leader di servizi e prodotti ad alta efficienza energetica.
2. Partnership con enti finanziari (banche) per dare l'opportunità al consumatore finale di un acquisto o affitto agevolato di sistemi ad alta efficienza.

Nuove figure professionali come promotori/rappresentanti commerciali ed installatori/manutentori specializzati possono essere create a supporto dei nuovi servizi e prodotti energetici.