

Sistemi complessi

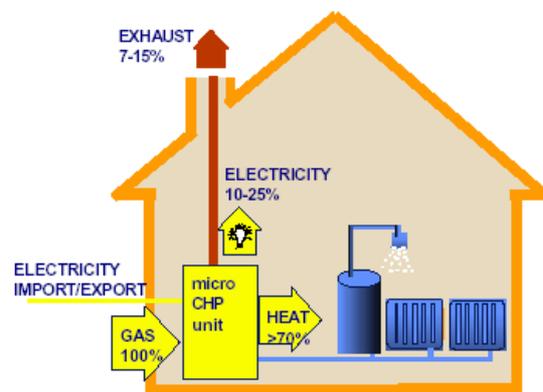
Sistemi cogenerativi e trigenerativi

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

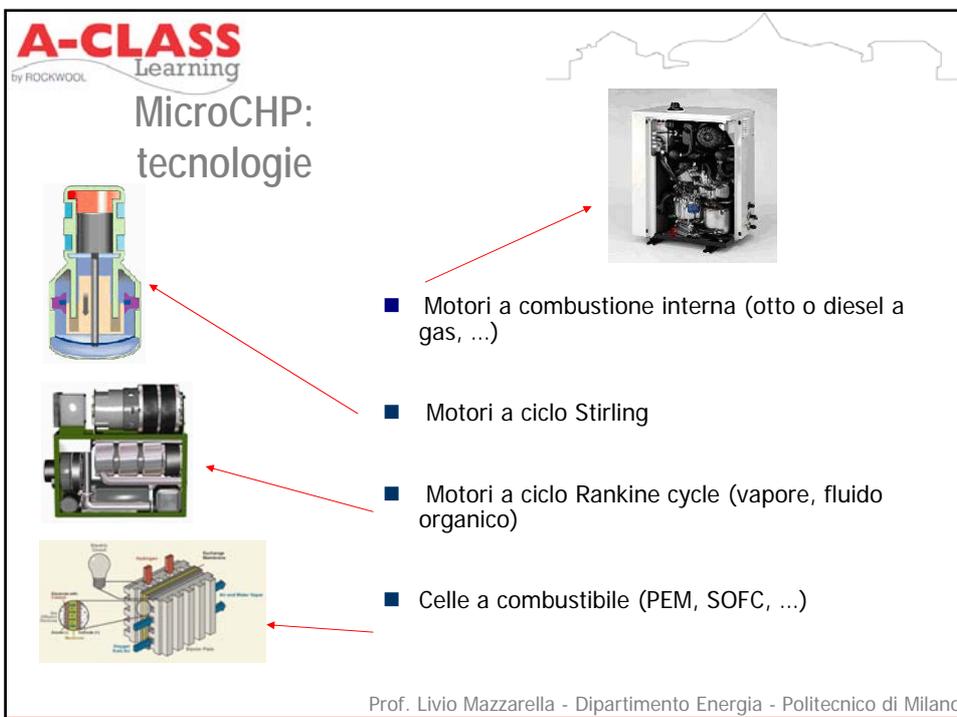
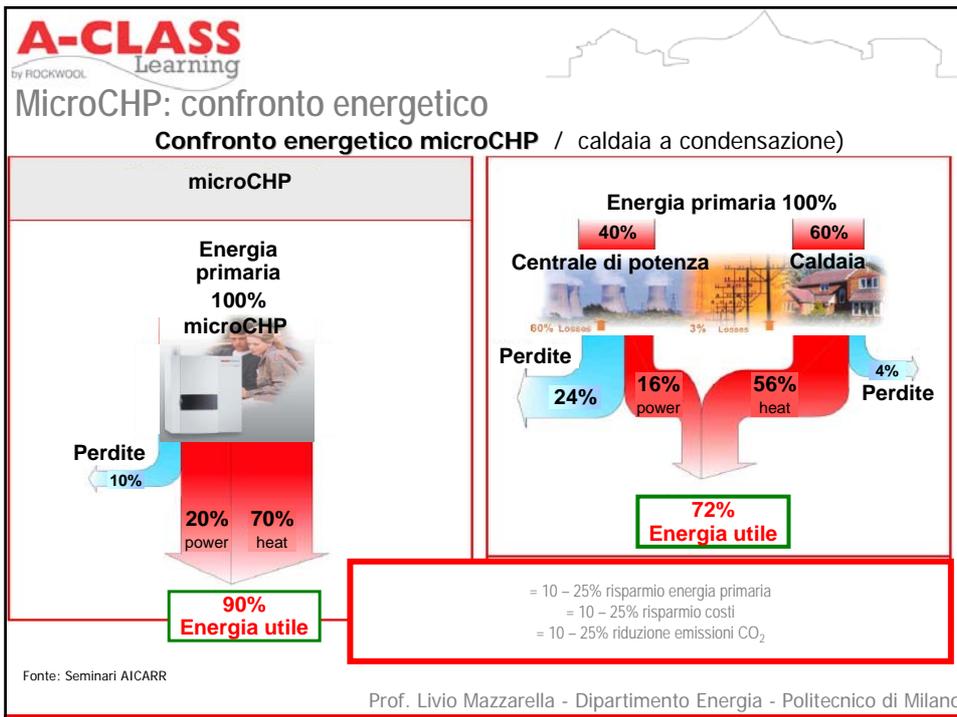
Micro cogenerazione: MicroCHP

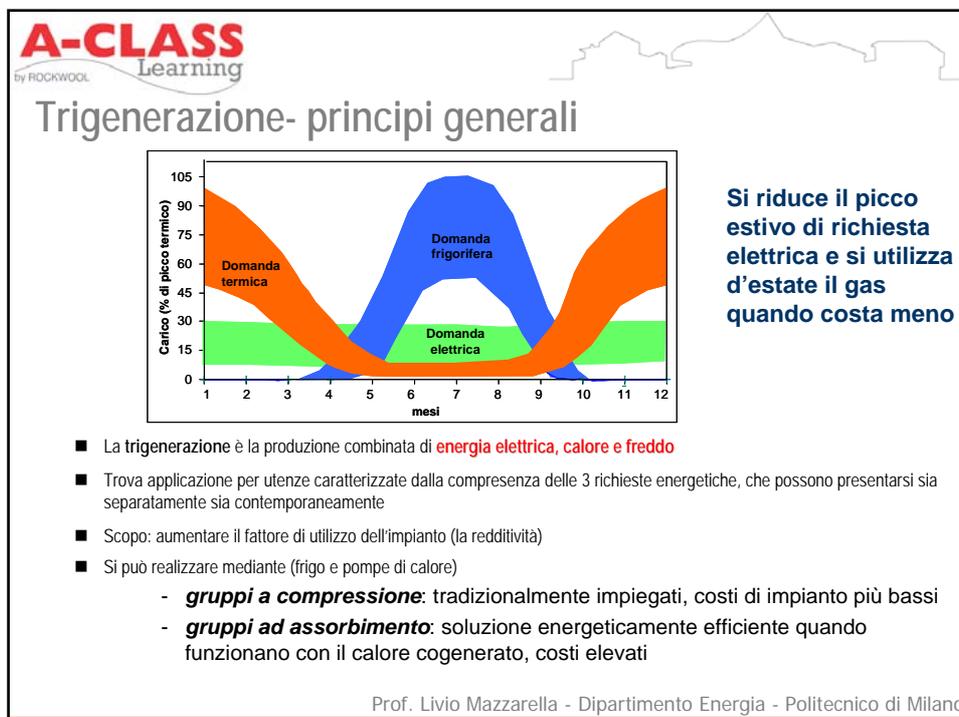
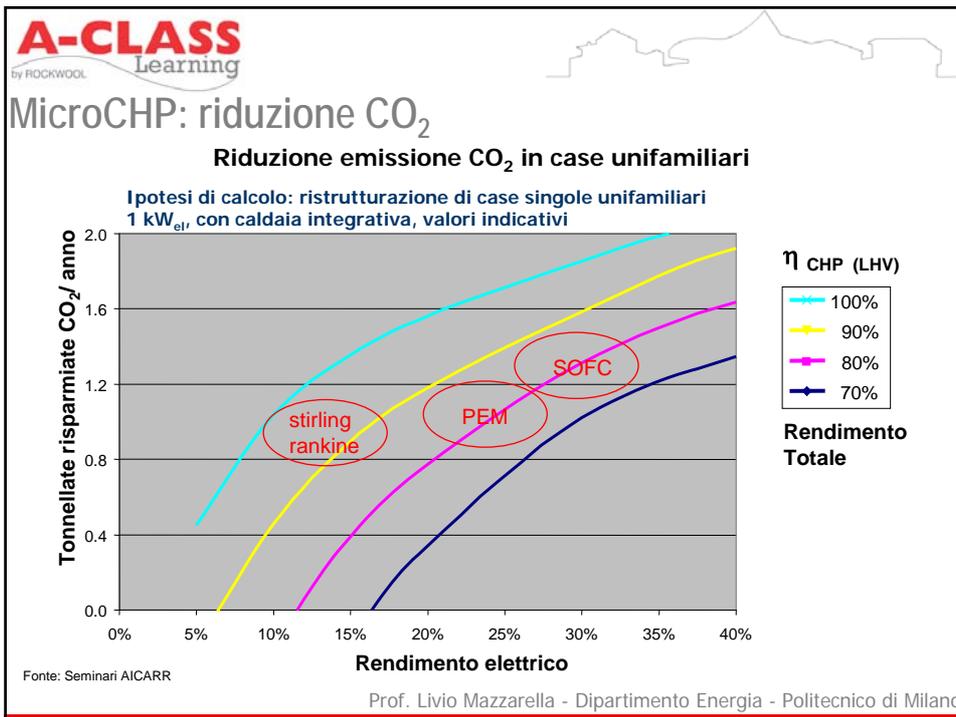
Produzione combinata di energia termica ed elettrica tramite un motore primo:

- a combustione interna alternativo
- microturbina (di derivazione automobilistica)
- con celle a combustibile



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano





MicroTrigenerazione

Poligenerazione con tecnologia di refrigerazione e climatizzazione dell'aria a energia termica

- Sistemi di trigenerazione di piccola scala (< 50 kW_{el})
- Tecnologia di produzione del freddo e di climatizzazione utilizzando sorgente termica
- In particolare sistema costituito da:
 - Cogeneratore (motore diesel a gas che trascina un alternatore)
 - Frigorifero ad assorbimento
 - Unità trattamento aria con ruota adsorbente (DEC)



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Regolazione intelligente

Come controllare efficacemente i sistemi di climatizzazione ?



	Edificio	Sistema di controllo
Passato	Uso unico	Controllo unico
Presente	Multiuso ()	Controllo di zona
Futuro	Uso ibrido ()	Controllo individuale

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

FONTI RINNOVABILI PER L'EDILIZIA

Energia solare

Fotovoltaico



Solare termico



... Energia solare + sintesi clorofilliana

Biomassa



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

SISTEMI SOLARI



Convenienza
economica

TERMICI:

- Produzione di sola ACS
- Produzione di ACS e contributo al riscaldamento (Combi-System)
- Riscaldamento ambientale
- Raffrescamento ambientale

ELETTRICI:

- Sistemi fotovoltaici per
 - Illuminazione
 - Ausiliari degli impianti di climatizzazione



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Energia solare

Sistemi fotovoltaici



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Sistemi fotovoltaici integrati

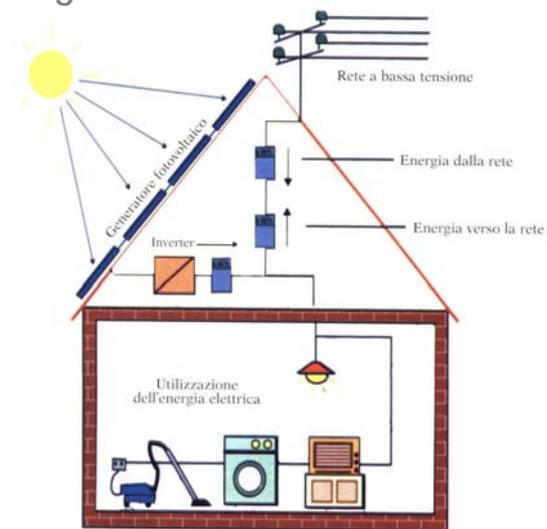
Vantaggi dei sistemi fotovoltaici integrati negli edifici ("tetti fotovoltaici")

- produzione dell'energia in prossimità del carico ed utilizzazione della stessa al momento della domanda
- nessuna occupazione di nuove superfici di territorio destinate ad altri usi produttivi
- possibilità di sostituire con i moduli fotovoltaici elementi costruttivi necessari (tettoie, vetrate, coperture, ecc.)
- risparmio dei materiali e delle strutture portanti dell'impianto fotovoltaico.

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Utenza residenziale collegata in rete

Schema tipo di un'utenza dotata di un impianto fotovoltaico collegato alla rete elettrica di bassa tensione



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Integrazione di PV negli edifici



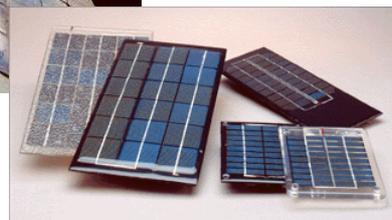
Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Integrazione di PV negli edifici



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Integrazione di PV negli edifici



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

... e NON Integrazione



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

... e NON Integrazione



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

.... e NON Integrazione



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

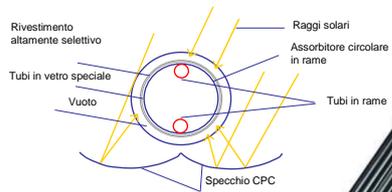
Energia solare

Sistemi solari termici



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

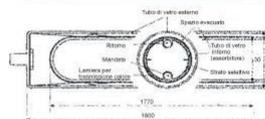
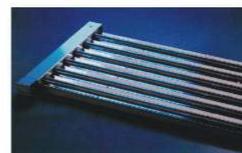
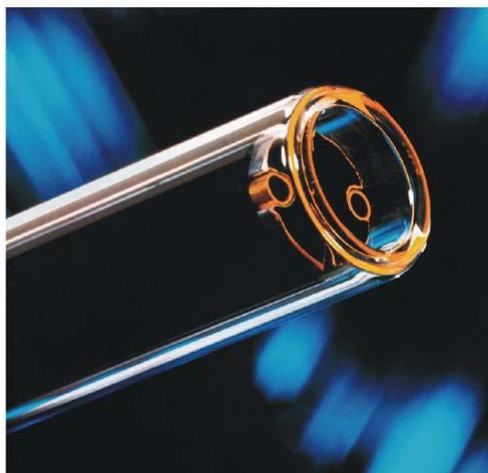
Collettori a tubi sottovuoto



Fonte: Sonnenkraft

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

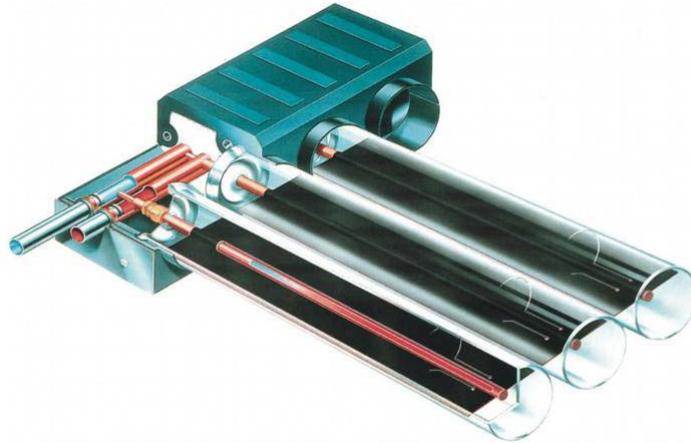
Collettore a tubi sottovuoto



Fonte: Microtherm

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

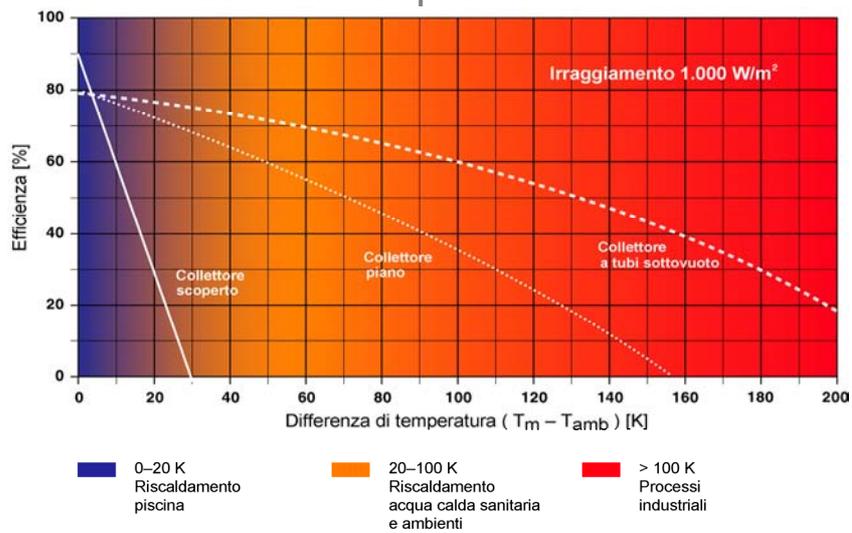
Collettore a tubi sottovuoto



Fonte: Viessmann

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Curve di efficienza di diversi tipi di collettore



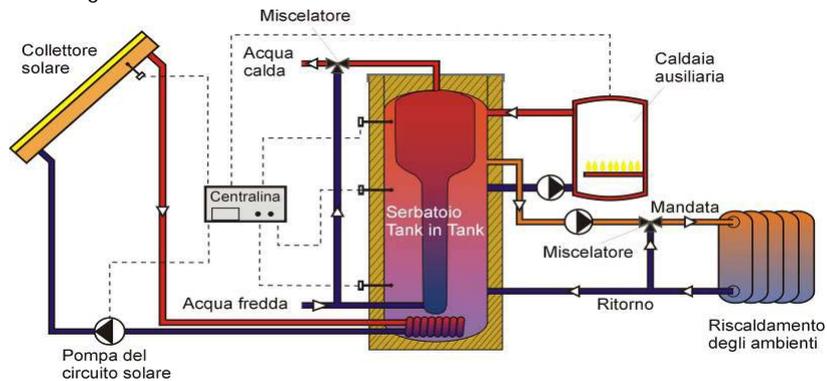
Fonte: Target/DGS

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Sistema solare termico combinato

Impianto solare combinato per il riscaldamento dell'acqua calda e degli ambienti – COMBY-SYSTEM

Per migliorare la stratificazione due accumulatori uno dentro l'altro: tank-in-tank



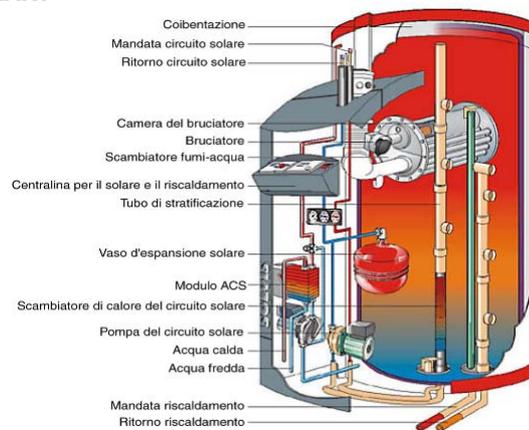
Fonte: ITW - Stuttgart

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Sistema solare termico combinato

ACCUMULATORE CON AUSILIARIO INTEGRATO PER IMPIANTI SOLARI

Accumulatore che integra al proprio interno una caldaia a condensazione quale ausiliario per il sistema solare



Fonte: Solvis

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Sistema solare termico combinato

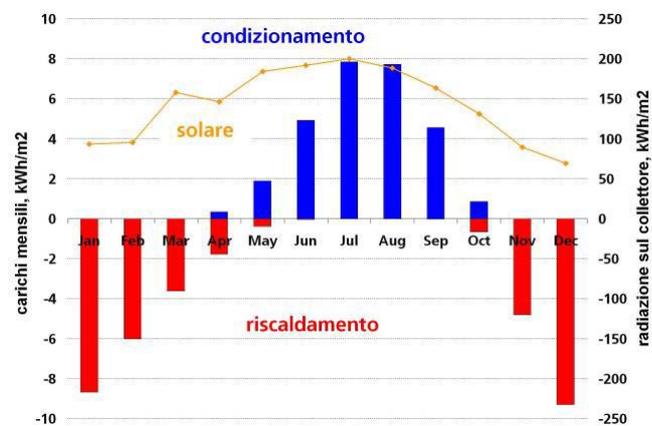
Condizioni necessarie per l'uso di impianti solari combinati

- Inclinazione del collettore elevata (40° - 90°)
- Basse temperature di ritorno del fluido termovettore nell'impianto di riscaldamento
- Terminali d'impianto a bassa temperatura (pannelli radianti, ventilconvettori, corpi scaldanti surdimensionati)
- Elevato fabbisogno di acqua calda in estate ovvero di un altro fabbisogno termico

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

CLIMATIZZAZIONE ESTIVA SOLARE

Si ha la corrispondenza tra domanda ed offerta



Esempio:
Edificio uffici Madrid

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Tecnologie per sistemi "solar cooling"

- Sistemi a ciclo chiuso (macchine di refrigerazione alimentate ad energia termica)
 - Macchine ad assorbimento (80% mercato) e ad adsorbimento
 - Usati nella maggior parte dei casi per la produzione di acqua fredda
 - Qualsiasi tecnologia di distribuzione del freddo (e.g. Sistemi di ventilazione, fan-coils, superfici radianti,...)
- Sistemi a ciclo aperto basati su combinazione raffreddamento evaporativo e deumidificazione (sistemi DEC)
 - Trattamento diretto dell'aria
 - Sempre necessario rete distribuzione del freddo basato su sistema di ventilazione
 - Sistemi sul mercato usano scambiatori rotativi o materiale adsorbente in forma liquida

I FRIGORIFERI AD ASSORBIMENTO E AD ADSORBIMENTO

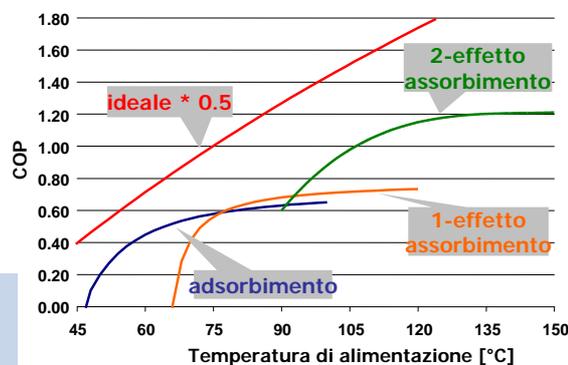
Macchine alimentate termicamente dai collettori solari

Come le pompe di calore, ma stavolta l'effetto utile è Q_c

$$COP_f = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_{s.t.}}$$

$$EER_f = \frac{Q_c}{Q_{s.t.}}$$

temperatura acqua refrigerata: 8°C
temperatura acqua di raffreddamento: 28°C



CLIMATIZZAZIONE ESTIVA SOLARE

Sistemi DEC (Desiccant and evaporative cooling systems)

- Due gruppi di tecnologie
 - Sistemi a deumidificatore rotativo: rotori disponibili in vasta gamma di dimensioni prodotti da diverse industrie nel mondo; materiale adsorbente gel di silicato o cloruro di litio; ciclo adattabile a diverse condizioni climatiche.



- Sistemi a letto fisso: pochissime realizzazioni, impianti pilota
- Sistemi a adsorbente liquido: pochi impianti pilota; in quasi tutti i casi LiCl e' il materiale adsorbente

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

CLIMATIZZAZIONE ESTIVA SOLARE

Tecnologie disponibili sul mercato

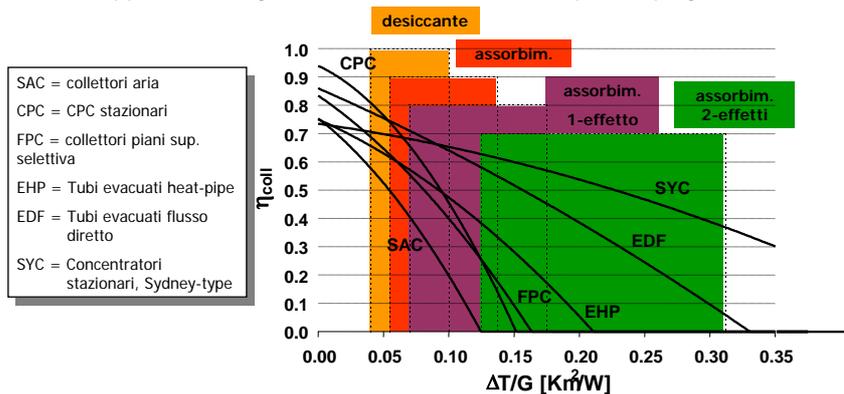
	Cicli chiusi Produzione acqua refrigerata		Cicli aperti Condizionamento aria diretto	
	solido	liquido	solido	liquido
Tipici materiali in uso	Acqua - Silicagel, Ammoniaca - Sali A.	Acqua - LiBr, Ammoniaca - acqua	Acqua - Silicagel, Acqua - Cl di Litio	Acqua - Cloruro di Calcio, Acqua - Cloruro di Li
Tecnologie disponibili sul mercato	Macchine ad Adsorbimento	Macchine ad Assorbimento	Raff. Evaporativo con Ad-assorbimento	-
Potenza frigorifera [kW]	7 - 430 kW	4.5 kW fino >5 MW	20 kW - 350 kW (pro Modul)	-
Produttori	2 produttori giapponesi	USA, Asia: solo poche piccola capacità	ca. 5 produttori di rotori; molti UTA	
Efficienza (COP)	0.3-0.7	0.6-0.75 (1-effetto) < 1.2 (2-effetto)	0.5 fino >1	fino >1
Tipiche temperature di alimentazione	60-95°C	80-110°C (1-effetto) 130-160°C (2-effetto)	45-95°C	45-70°C
Tecnologie solari	CTE, CP	CTE, coll. a concent.	CP, CA	CP, CA

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

CLIMATIZZAZIONE ESTIVA SOLARE

Collettori Solari e refrigerazione alimentata ad energia termica

Accoppiamento frigoriferi – collettori solari: campi di impiego



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Solare termico e condizionamento dell'aria: "Solar Cooling"

ASPETTI POSITIVI E NEGATIVI

- + Migliora la redditività dei sistemi (solari) in uso per riscaldamento + ACS;
- + Copre reale fabbisogno (condizionamento) in crescita esponenziale;
- + Risolve problema di gestione della domanda di elettricità in alcuni periodi dell'anno, attraverso la produzione localizzata di energia, alleggerimento della rete e compiti di gestione
- Penetrazione del mercato molto più difficile di sistemi a compressione alimentati ad energia elettrica: es. Split, RAC in generale
- Tecnologie disponibili sul mercato di grossa capacità, si affacciano macchine sotto i 15 kW

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Parametri progettuali

Principali parametri progettuali che determinano la prestazione energetica ed economica dei sistemi "solar cooling" e il conseguente potenziale di risparmio in termini di energia primaria

- Tipo di collettore
- Dimensione campo collettori
- Dimensione serbatoio (solare)
- Tipo di sistema di Back-up

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Energia solare + Sintesi clorofilliana

Caldaie a biomassa



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Tipologie di combustibile

Le biomasse possono essere di tipologie e varietà molto diverse:

- Biomasse solide (scarti di lavorazioni agricole, pellets, rifiuti industriali o urbani legnosi etc.)
- Biomasse liquide (biocombustibili liquidi quali oli vegetali, in particolare biodiesel)
- Biogas

Naturalmente a seconda delle tipologie si hanno efficienze e costi di produzione molto variabili



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Tipologie di combustibile

- **Biomasse solide:** necessitano di scarse lavorazioni (spesso vengono usate così come sono) ma hanno poteri calorifici molto bassi. La forma più efficiente è il **pellet**, costituito da un agglomerato di trucioli di segatura e scarti di lavorazione del legno, pressati meccanicamente fino ad ottenere alte densità e piccoli volumi



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Tipologie di combustibile

- **Biomasse liquide:** richiedono spesso lavorazioni che le rendono più costose degli altri combustibili liquidi. Il **biodiesel**, ad esempio, è un olio di semi serificato. I poteri calorifici possono arrivare ad essere paragonabili a quelli di combustibili liquidi di origine fossile.
- **Biomasse gassose:** richiedono processi di lavorazione piuttosto complessi, ma presentano il vantaggio di poter essere ricavati anche da scarti di lavorazioni agricole, ossia da materie prime di costo nullo

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Modalità d'impiego delle biomasse

- Caldaie (o termocamini) a pellet
- "Revamping" (aggiornamento) di caldaie a gasolio con biodiesel (ingenti riduzioni di emissioni di CO₂, ma con costo del combustibile ancora troppo elevato)
- Cogenerazione mediante microturbine a biogas



Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Combustibili solidi da biomassa

Costi dell'energia termica resa teorica riferita al PCI e "reale", cioè tenendo conto di un rendimento medio del generatore (caldaia a condensazione per il metano)

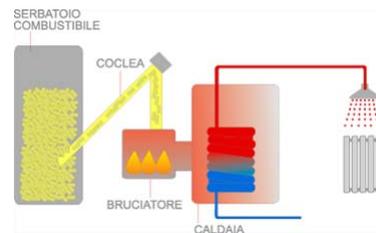
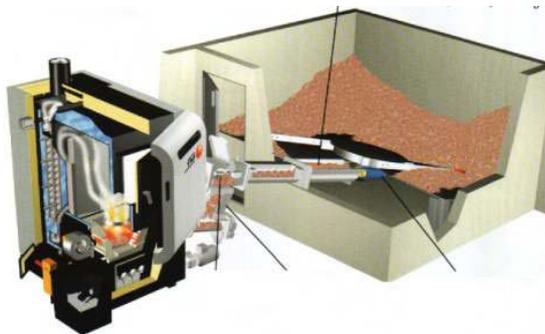
	PCI Combust.	Costo Combust.	Costo E. Teorico	Rendim. Generat.	Costo E. "Reale"
Combustibili fossili	kWh/m ³	€/m ³	€/kWh	–	€/kWh
Metano	9.74	0.72	0.074	1	0.074
Combustibili da biomassa	kWh/kg	€/kg	€/kWh	–	€/kWh
Pellets di legno	4.9	0.18	0.037	0.8	0.046
Cippato faggio/quercia	3.5	0.07	0.020	0.7	0.029
Cippato pioppo	3.3	0.06	0.018	0.7	0.026

Per valutare l'effettiva convenienza occorre valutare gli extracosti di una caldaia a biomassa solida e relativi accessori rispetto alla caldaia a metano

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Caldaia a biomassa a pellets o truciolo/cippato di legno: il serbatoio

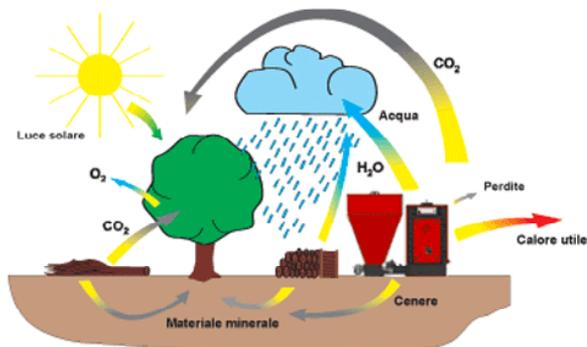
Uno dei maggiori problemi per le caldaie a biocombustibile solido è il volume necessario per l'immagazzinamento del combustibile e l'alimentazione automatica della caldaia.



Quasi impossibile una sua applicazione generalizzata

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Emissioni ed impatto ambientale della combustione di biomasse in caldaie



Contro indicazioni :

è vero che le biomasse sono fonti rinnovabili, ma è altrettanto vero che vengono trasformate in energia termica attraverso un normale processo di combustione, che produce CO, CO₂, NO_x e ceneri.

Di conseguenza, anche se si dice che la biomassa sia a bilancio netto nullo per la produzione di CO₂, avendo in precedenza come vegetale prodotto dell'ossigeno sequestrando della CO₂, il problema dell'inquinamento da prodotti di combustione velenosi e da polveri sottili viene invece aggravato dato che ne producono più del doppio rispetto al gas naturale

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Il sistema edificio-impianto

La corretta progettazione del sistema edificio-impianto

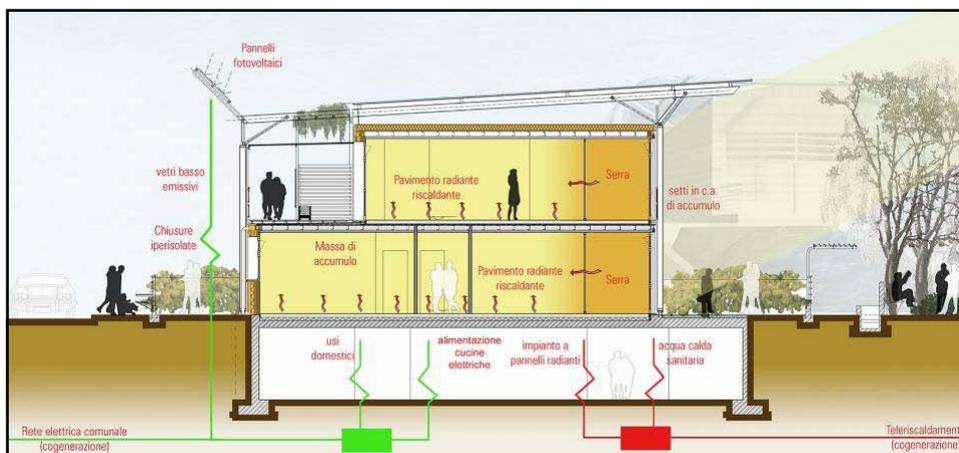
Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

L'approccio alla corretta progettazione integrata (edificio-impianto)

Si può migliorare la prestazione dell'involucro, si può migliorare la prestazione dell'impianto, ma la somma delle due non raggiungerà mai la prestazione che si può ottenere **ottimizzando insieme** l'involucro e l'impianto!

Occorre quindi una progettazione integrata del sistema edificio impianto, che deve essere in grado di implementare strategie sia invernali che estive, in modo da ottimizzare sia il benessere sia il fabbisogno energetico durante tutto l'anno.

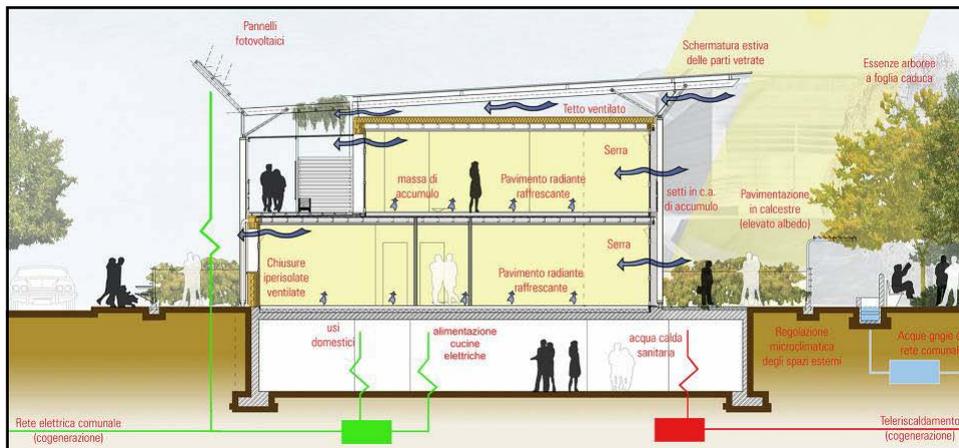
Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano



Strategie invernali per avere bassi consumi energetici:

- bassa dispersione termica (elevato isolamento termico);
- massimo guadagno solare;
- presenza di serre e di elementi di accumulo termico;
- pavimento "radiante";
- ventilazione con recupero termico.

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

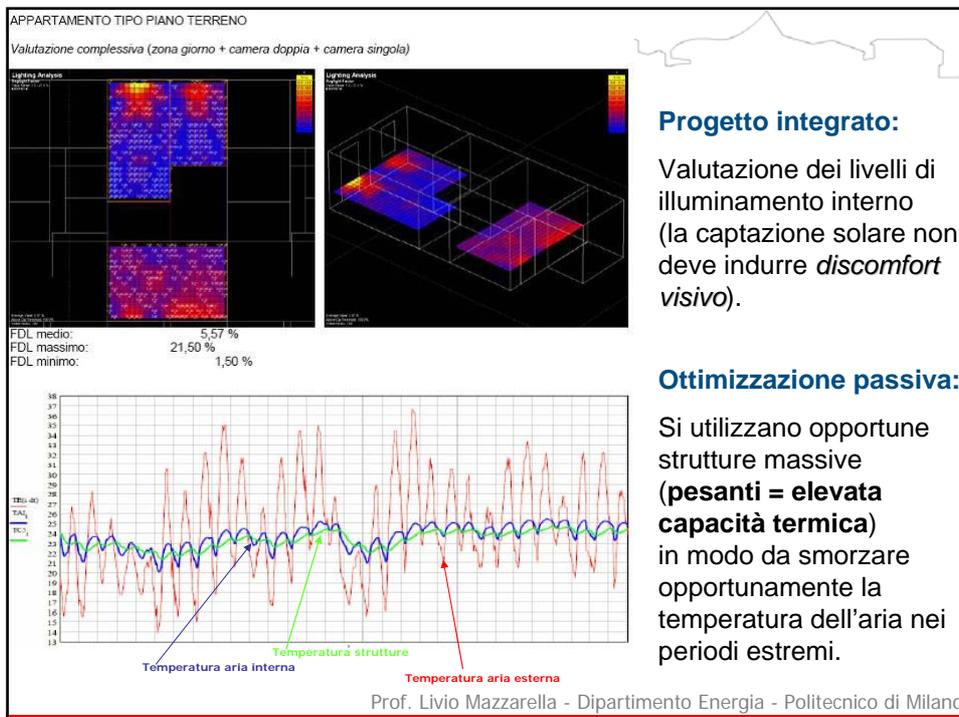


Strategie estive per avere bassi consumi energetici:

- schermatura del fronte sud tramite aggetto;
- tetto ventilato;

- doppio affaccio per cross-ventilation;
- pavimento "radiante" (cooling) alimentato da acqua raffrescata con scambiatori nel terreno.

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano



Progetto integrato:

Valutazione dei livelli di illuminamento interno (la captazione solare non deve indurre *discomfort visivo*).

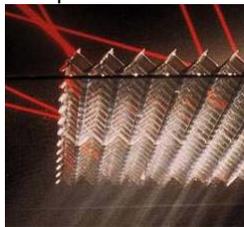
Ottimizzazione passiva:

Si utilizzano opportune strutture massive (**pesanti = elevata capacità termica**) in modo da smorzare opportunamente la temperatura dell'aria nei periodi estremi.

OTTIMIZZAZIONE DEL SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO

→ Riduzione dei carichi energetici : **progetto architettonico integrato con l'impianto di climatizzazione e riscaldamento**

- "Doppia pelle" sulla facciata Sud;
- vetrocamera a bassa emissività;
- lamelle riflettenti integrate nel lucernario;
- isolamento termico con parete ventilata;
- ombreggiamento con lamelle motorizzate;
- copertura isolata

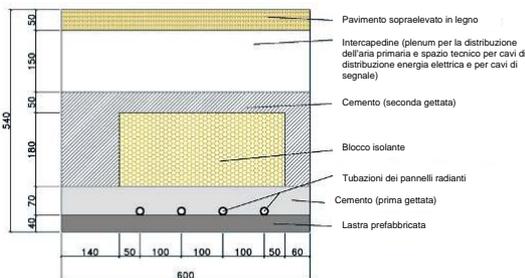


Ref. Progetto sede TIF - F. Fellin ,G.Finotti, G. Turchetto, R. Zecchin

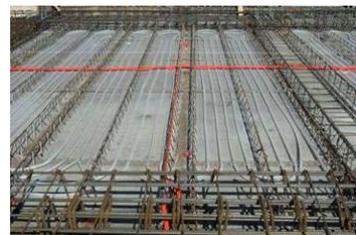
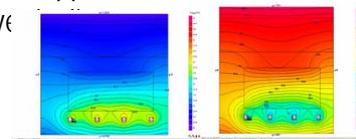
Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Un impianto di climatizzazione ad elevata efficienza: sistema a bassa differenza di temperatura (LTDS)

- Pannelli radianti ad attivazione termica della massa;
- Pompa di calore pompa di calore invertibile accoppiata al terreno attraverso un campo di sonde ve
- Aria primaria a portata variabile.



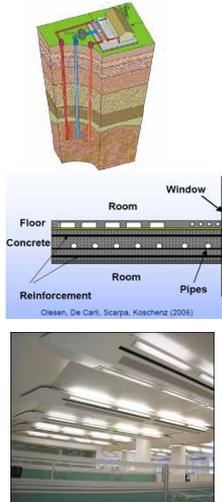
ATTIVAZIONE TERMICA DELLA MASSA



Ref. Progetto sede TIF - F. Fellin ,G.Finotti, G. Turchetto, R. Zecchin

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Sorgenti, accumulo e distribuzione di acqua calda e fredda



❑ Sistemi di riscaldamento geotermici (VERO!)

- Ove le condizioni geotermiche lo consentano l'acqua calda può essere prodotta con sistemi geotermici a circuito chiuso (es. acqua termale)

❑ Solai "termoattivi" in cemento o con PCM

- Impiego della capacità termica dei solai in cemento o con PCM per "spianare" i picchi di carico sia in riscaldamento che in raffreddamento
- Si può utilizzare una temperatura relativamente alta per il riscaldamento e relativamente alta per il raffreddamento

❑ Travi fredde o soffitti radianti

- Le travi fredde "attive" (ad induzione) o i soffitti radianti riducono negli uffici la richiesta di raffreddamento dell'aria

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano

Energia elettrica per l'illuminazione



❑ Apparati illuminanti

- Utilizzo di apparati illuminanti impieganti lampade ad alta efficienza

❑ Controllo dell'illuminazione in funzione della radiazione solare

- Occorre controllare il livello di illuminanza sul piano di riferimento per ridurre il flusso luminoso artificiale al minimo indispensabile

❑ Controllo dell'illuminazione in funzione dell'occupazione

- Nelle aree a bassa frequenza di occupazione occorre introdurre dei sensori di occupazione per ridurre l'intensità luminosa al minimo in assenza di persone

Prof. Livio Mazzarella - Dipartimento Energia - Politecnico di Milano