

# **La progettazione integrata del sistema *edificio-impianti***

**Luca Stefanutti**

# La progettazione integrata

## GLI OBIETTIVI

- **Comfort**
- **Riduzione dei consumi energetici per**
  - **Riscaldamento**
  - **Climatizzazione**
  - **Produzione acqua calda sanitaria**
- **Riduzione della taglia degli impianti**
- **Riduzione dei costi gestionali**



# La progettazione integrata

## GLI STRUMENTI

- **Coordinamento tra architetti e impiantisti fin dalle prime fasi del progetto**
- **Involucri edilizi ad alte prestazioni energetiche**
- **Impianti ed apparecchiature ad alta efficienza**
- **Integrazione delle fonti rinnovabili (solare passivo e attivo, FV)**



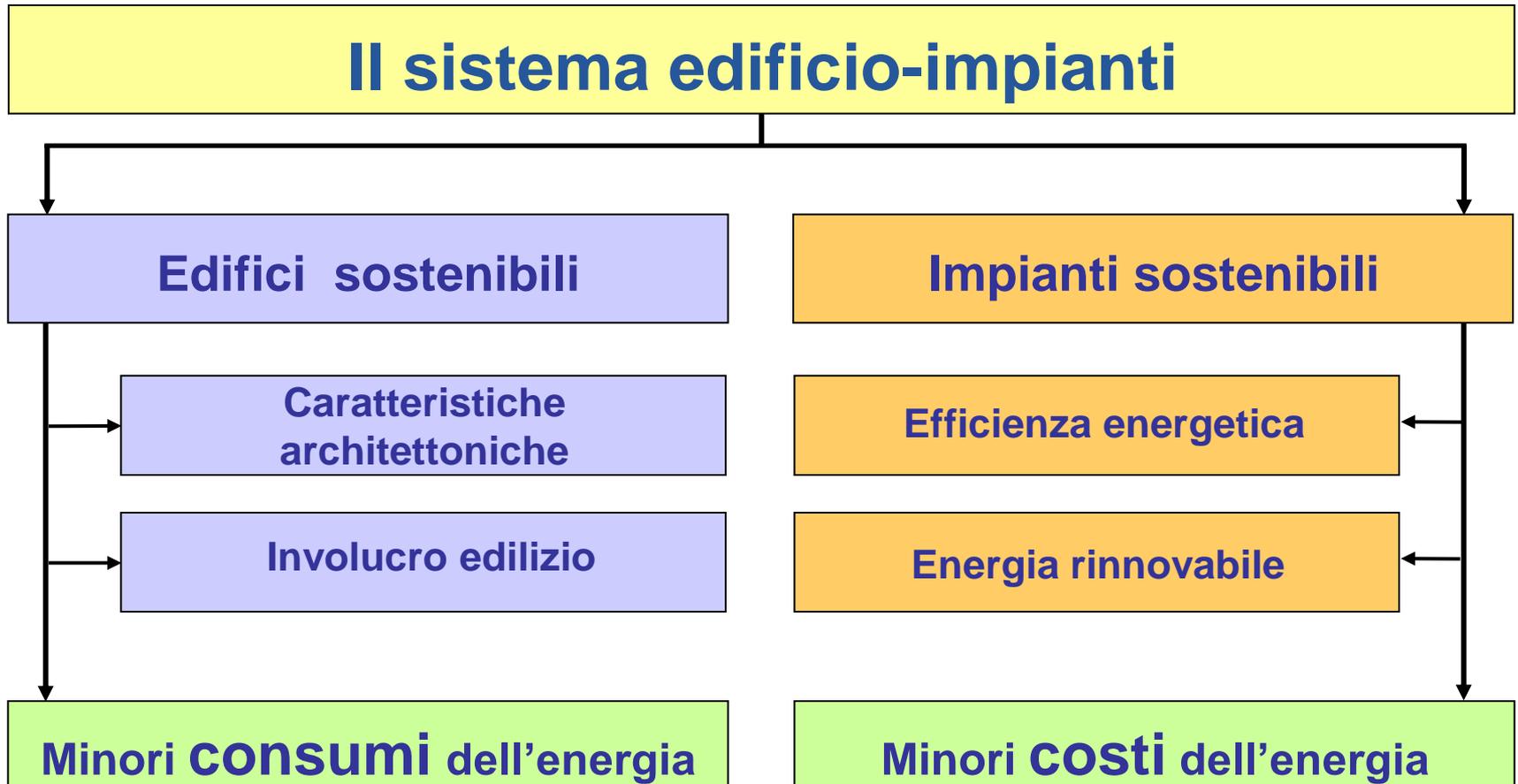
# La progettazione integrata

## IL TEAM DI PROGETTO

- Il committente
- L'architetto
- Il progettista delle strutture
- Il progettista degli impianti
- Lo specialista energetico
- L'autorità di commissioning
- Il Direttore dei Lavori



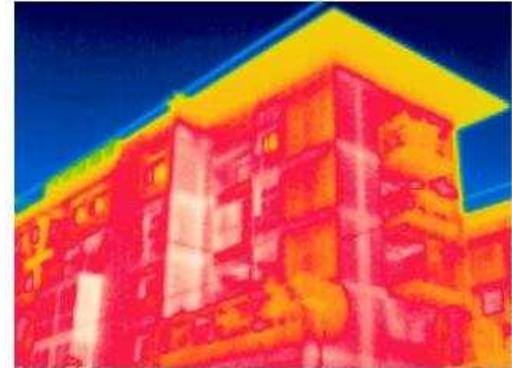
# La progettazione integrata



# L'involucro edilizio

Le funzioni “energetiche” dell'involucro:

- Riduzione dei disperdimenti invernali
- Riduzione delle rientrate estive
- Sfruttamento della luce naturale
- Produzione di energia (termica ed elettrica)
- Ventilazione naturale



# L'involucro edilizio

## Controllo dei disperdimenti invernali

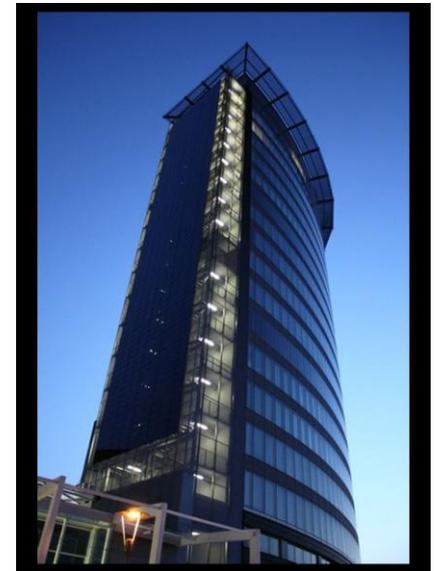
- Pareti opache a bassa trasmittanza
- Vetri basso-emissivi
- Eliminazione dei ponti termici
- Verifica termoigrometrica (condensa interstiziale)
- Serre solari (solare passivo)



# L'involucro edilizio

## Controllo dei carichi estivi (radiazione)

- Pareti opache con massa elevata (sfasamento termico)
- Vetri selettivi (basso fattore solare)
- Schermature solari (tende esterne, frangisole, ecc.)
- Doppia pelle con veneziane interne e ventilazione naturale o meccanica



# L'involucro edilizio



## Schermatura solare con facciata vetrata

# L'involucro edilizio



**Serra solare**

# L'involucro edilizio

## Facciata vetrata a doppia pelle con intercapedine ventilata per l'estrazione dell'aria

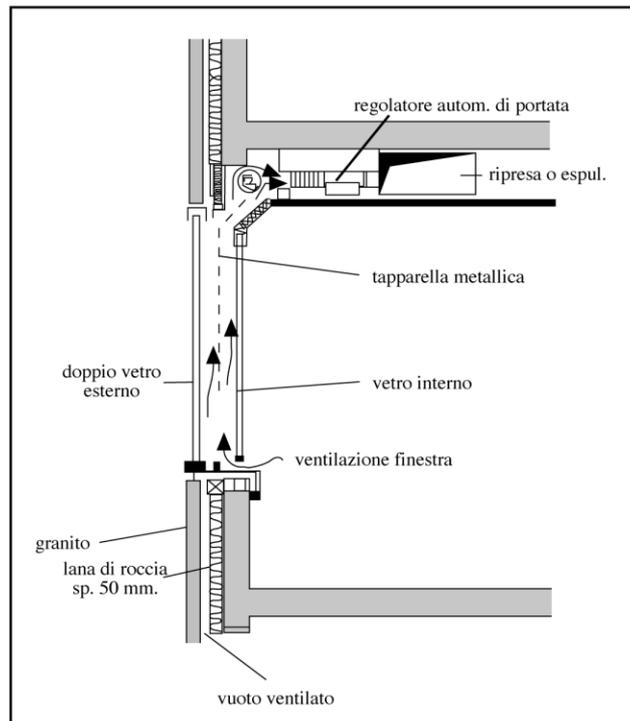


Fig. 1.1

# L'involucro edilizio

## Controllo della radiazione solare New York Times, NYC - Renzo Piano



LUCA STEFANUTTI



INCONTRO LIUC "L'EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI EDIFICI"

# L'involucro edilizio

## Illuminazione naturale

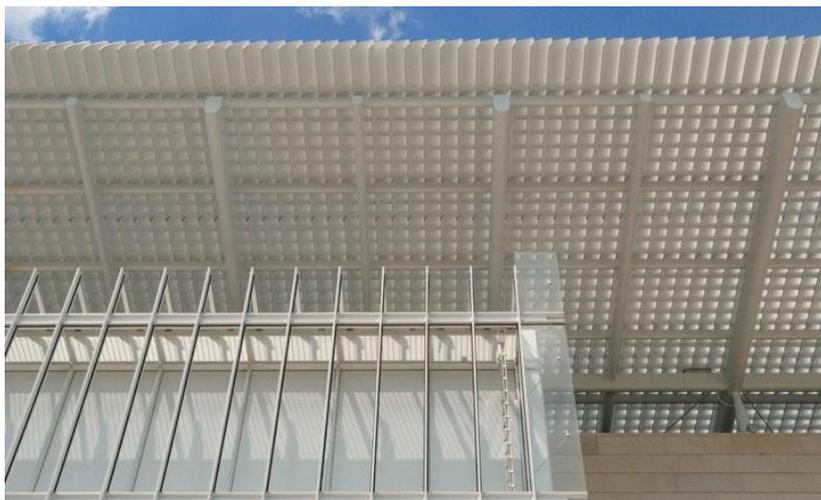
- Riduzione della potenza elettrica assorbita dalle luci
- Riduzione dei carichi termici delle luci
- Controllo della radiazione solare



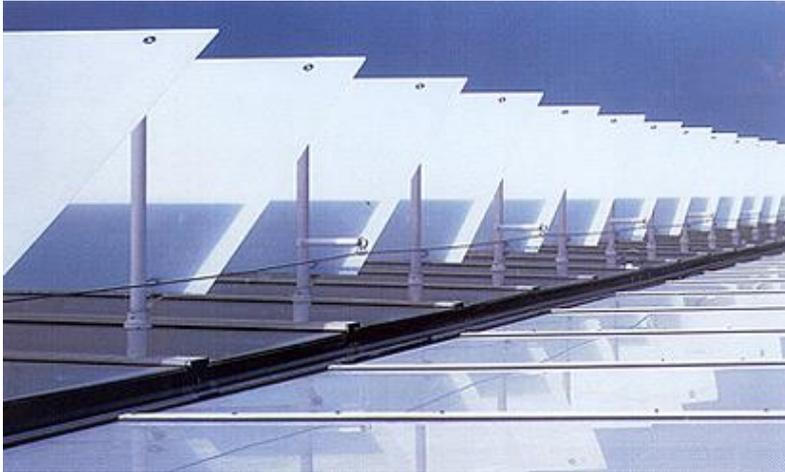
# L'involucro edilizio

Illuminazione naturale diffusa  
Art Institute of Chicago  
Renzo Piano

Il tappeto volante



# L'involucro edilizio



**Fondazione Beyeler, Basilea - Renzo Piano**

**Luce naturale e  
diffusione dell'aria a pavimento**

# L'involucro edilizio

California Academy of Science, San Francisco  
Renzo Piano

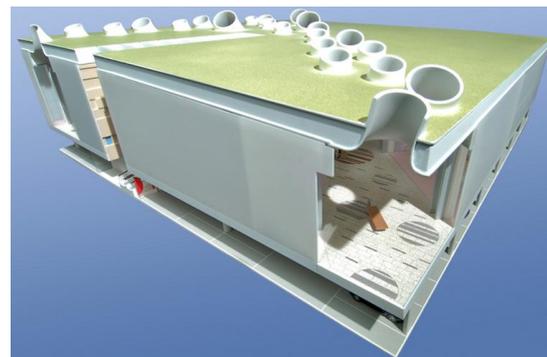
Luce naturale e tetti verdi



# L'involucro edilizio

## Centro Commerciale Carugate, ONE WORKS

### Luce naturale e tetti verdi



# L'involucro edilizio

## Centro Direzionale Forum, Rimini - Mario Cucinella Schermature solari "verdi"

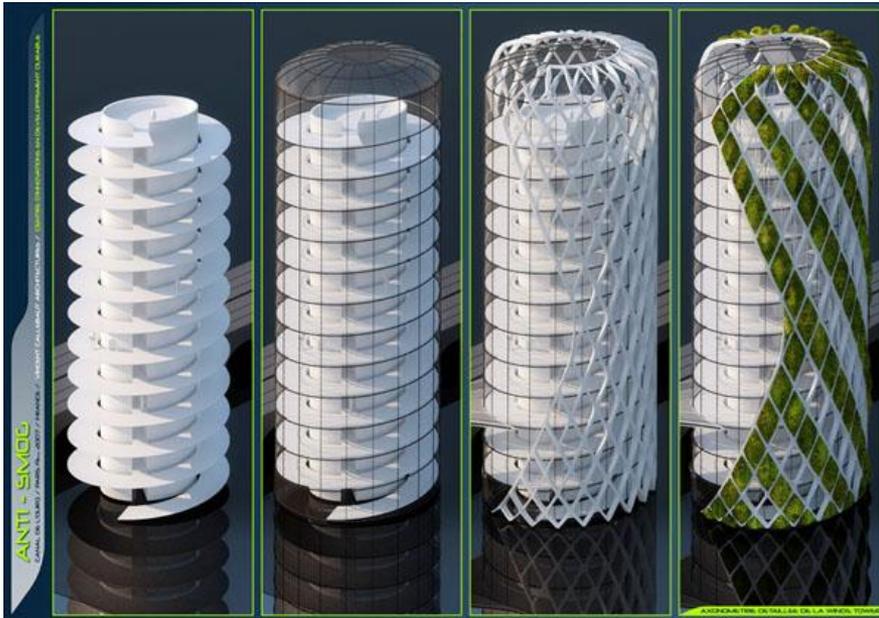


LUCA STEFANUTTI

INCONTRO LIUC "L'EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI EDIFICI"

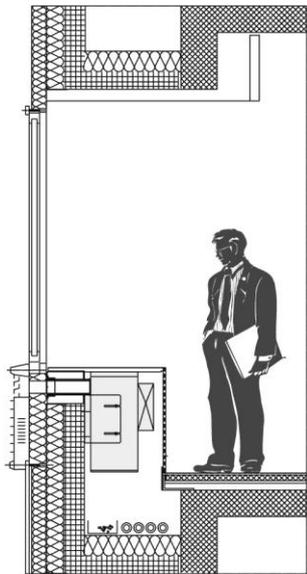
# L'involucro edilizio

## Progetto ANTI-SMOG, Parigi, Vincent Callebaut Schermature solari "verdi"



# L'involucro edilizio

## Capricorn House, Duesseldorf La facciata-impianto

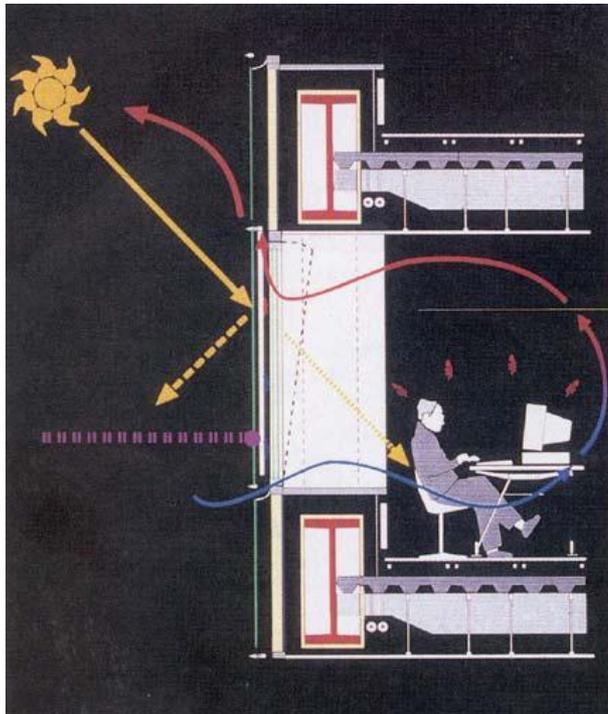


**Unità di trattamento dell'aria  
integrate nei moduli di facciata**

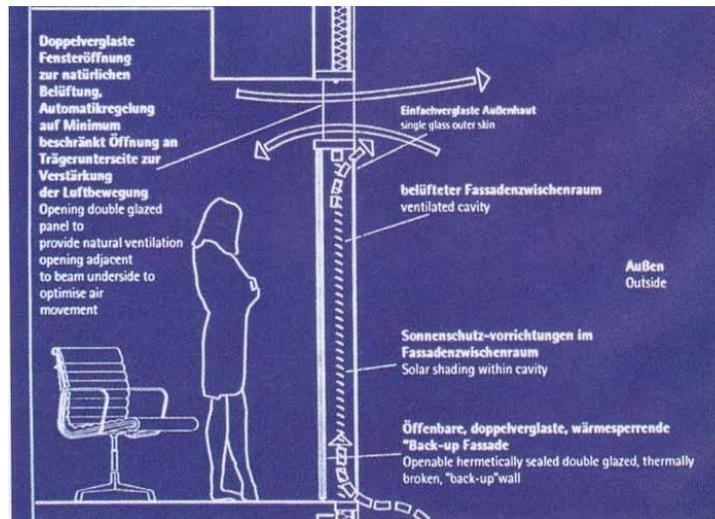
# L'involucro edilizio

Commerzbank Frankfurt, Norman Foster

Ventilazione Naturale & soffitti radianti



LUCA STEFANUTTI

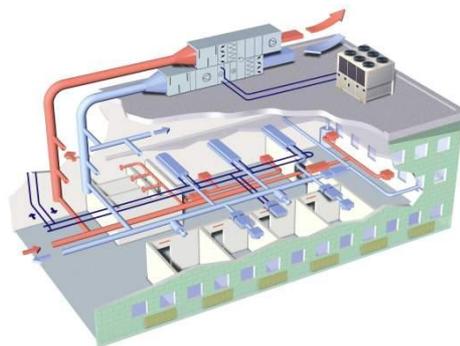


INCONTRO LIUC "L'EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI EDIFICI"



# Gli impianti ad alte prestazioni

## IL “SISTEMA” IMPIANTO



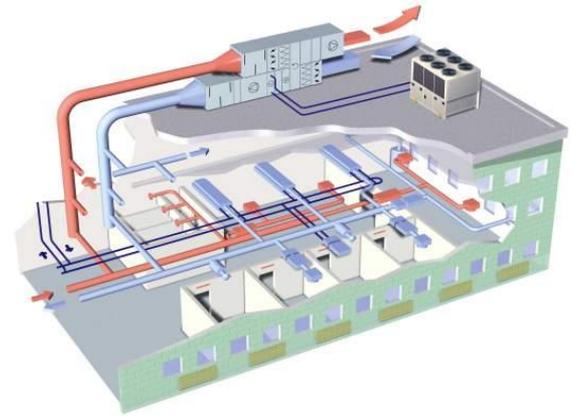
# Gli impianti ad alte prestazioni

## GLI OBIETTIVI

- Ridurre i consumi
- Evitare gli sprechi
- Recuperare l'energia
- Evitare il sovradimensionamento degli impianti

## LE SOLUZIONI

- Tipologia di impianti
- Componenti
- Fonti rinnovabili



# Gli impianti ad alte prestazioni

## TIPOLOGIA DI IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE

- Impianti idronici a travi fredde
- Impianti a radiazione a bassa temperatura (pavimenti, soffitti, attivazione della massa)
- Impianti a tutta aria a portata variabile VAV
- Impianti VRF



# Gli impianti ad alte prestazioni

## PRODUZIONE EFFICIENTE DEI FLUIDI PRIMARI

- Gruppi frigoriferi a pompa di calore
  - ad acqua di falda
  - geotermici (terreno)
  - ad aria
- Caldaie a biomassa
- Gruppi frigoriferi a recupero di calore
  - Produzione contemporanea di acqua refrigerata & acqua calda
- Sistemi di cogenerazione & trigenerazione (assorbimento)
  - Produzione contemporanea di energia elettrica, acqua calda e acqua refrigerata
- Teleriscaldamento + gruppi ad assorbimento

# Gli impianti ad alte prestazioni

## Apparecchiature ad alta efficienza

- chiller ad elevate prestazioni
- produttori di vapore a gas
- recupero di calore dall'aria espulsa
- unità di trattamento aria a basso consumo (regolazione portata aria e acqua con inverter, filtri ad elevate prestazioni, elettroventilatori ad alta efficienza)
- pompe a portata variabile
- canali d'aria a regola d'arte
- terminali ambiente ad elevate prestazioni
- sistemi BMS di tipo avanzato

# Gli impianti ad alte prestazioni

## Chiller ad elevate prestazioni

- elevato rendimento ai carichi parziali (indice ESEER)
- raffreddamento ad acqua di falda
- recupero di calore di condensazione



# Gli impianti ad alte prestazioni

## Produttori di vapore autonomi a gas

- Minori costi esercizio
- Semplicità di impianto
- Minore impegno di potenza elettrica
- Minori costi di manutenzione
  - Utilizzo di acqua demineralizzata
  - Componenti in acciaio inox



# Gli impianti ad alte prestazioni

## Recupero di calore dall'aria espulsa ad alta efficienza

- Recuperatori rotativi (entalpici)
- Recupero termodinamico



# Gli impianti ad alte prestazioni

## Unità di trattamento aria a basso consumo elettrico

- Regolazione portata ventilatori
- Filtri e batterie a bassa perdita di carico
- Ventilatori e motori ad alta efficienza

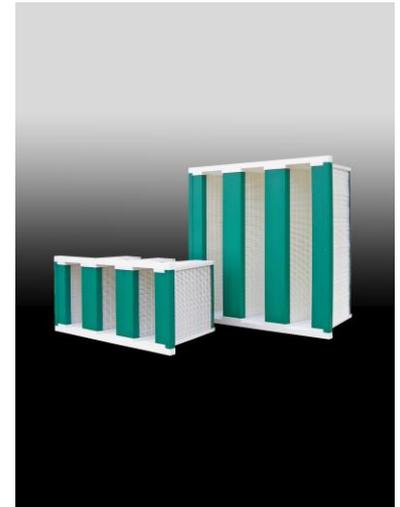


# Gli impianti ad alte prestazioni

## Filtri ad alte prestazioni

- Basso  $\Delta p$  iniziale: minore prevalenza del ventilatore
- Elevata capacità di accumulo: risparmio energetico e minori ricambi

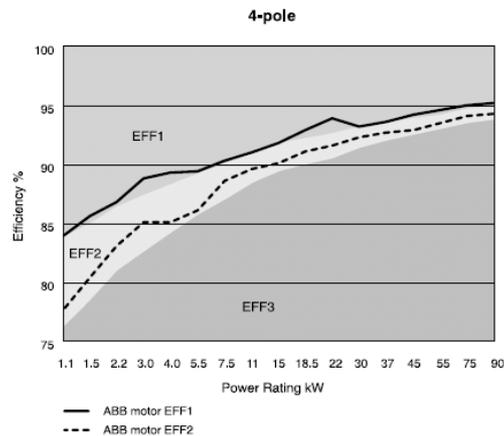
Filtri a tasche rigide



# Gli impianti ad alte prestazioni

## Elettroventilatori ad alta efficienza

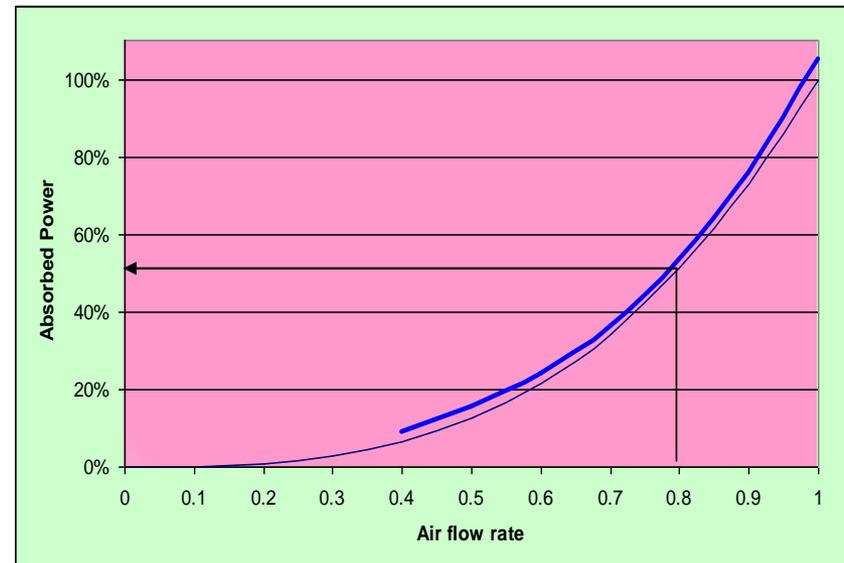
- Ventilatori plug-fan senza coclea a trasmissione diretta: maggiore efficienza, facile pulizia e manutenzione
- Motori ad alto rendimento EFF1



# Gli impianti ad alte prestazioni

## Regolazione portata ventilatori con inverter

- Riduzione portata 20% = risparmio energia 50%



# Gli impianti ad alte prestazioni

## Esempio di calcolo di risparmio energetico

$$\text{Consumo di energia (kWh)} = \frac{Q \cdot \Delta p \cdot t}{\eta \cdot 1000}$$

dove:

$Q$  = portata aria (m<sup>3</sup>/s)

$\Delta p$  = perdita di carico (Pa)

$t$  = tempo operativo (ore)

$\eta$  = rendimento del sistema di ventilazione (motore, ventilatore)

# Gli impianti ad alte prestazioni

## Filtro a tasche da rigide F7/F8

Riduzione  $\Delta p$  iniziale = **20 Pa**

t = 4000 ore

Q = 1 m<sup>3</sup>/s

kWh =  $(Q \times \Delta p \times t) / (\eta \times 1000) = 20 \times 4000 / (0,6 \times 1000) = 133 \text{ kWh}$

Risparmio = 133 kWh x 0,15 euro/kWh = **20 euro**

**Equazione: 1 Pa = 1 euro**

# Gli impianti ad alte prestazioni

## Indice SFP (Specific Fan Power = Potenza Specifica di Ventilazione)

Rapporto tra potenza assorbita e portata aria: kW/(m<sup>3</sup>/s)

Esempio:

Con un costo dell'energia elettrica di 0,15 €/kWh risulta un costo di:

= 0,450 € all'ora per ogni m<sup>3</sup>/s con SFP 3

= 0,375 € all'ora per ogni m<sup>3</sup>/s con SFP 2,5 .

Risparmio = 0,075 € all'ora per ogni m<sup>3</sup>/s.

4000 ore = 300 € per ogni m<sup>3</sup>/s.

# Gli impianti ad alte prestazioni

## Regolazione portata pompe con inverter

- Valvole di regolazione a 2 vie sui terminali



# Gli impianti ad alte prestazioni

## Canali d'aria a regola d'arte

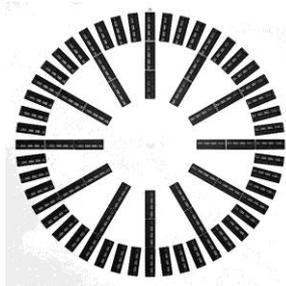
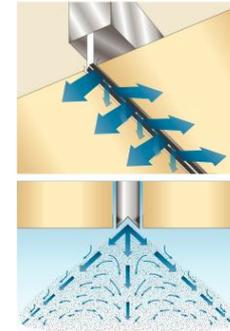
- Bassa velocità dell'aria
- Ridotta perdita di carico
- Riduzione delle fughe d'aria dai canali
- Serrande di taratura



# Gli impianti ad alte prestazioni

## Diffusori aria ad elevata induzione

- $\Delta T = 14 \text{ K}$  (temp. mandata =  $12^\circ \text{ C}$ )
- Riduzione della portata aria
- Eliminazione del postriscaldamento
- A soffitto o a parete



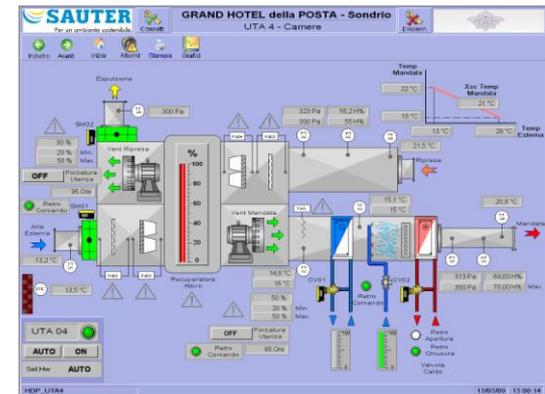
QuickTime™ e un decompressore Nessuna sono necessari per visualizzare quest'immagine.



# Gli impianti ad alte prestazioni

## Sistemi BMS di tipo avanzato

- regolatori DDC
- pagine grafiche



# Gli impianti ad alte prestazioni

## Regolazione e supervisione BMS

- Programmazione oraria del funzionamento
- Risposta ai carichi termici
- Compensazione climatica
- Regolazione ambiente
- Free cooling
- Ventilazione in base all'occupazione con sensori di CO2
- Rilevazione e regolazione di portata (inverter)
- Contabilizzazione energia
- Analisi consumi energetici



# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

- Caldaie a biomassa
- Pompe di calore
- Impianti di cogenerazione e trigenerazione
- Impianti solari termici
- Impianti solari fotovoltaici

# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## CENTRALI TRADIZIONALI PER GLI EDIFICI NON RESIDENZIALI

- Acqua calda per riscaldamento: caldaie a gas o gasolio
- Acqua calda sanitaria: boiler a gas o elettrici
- Acqua refrigerata per climatizzazione: gruppi frigoriferi elettrici con condensazione ad aria
- Energia elettrica fornita dalla rete



# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## CENTRALI TRADIZIONALI PER GLI EDIFICI RESIDENZIALI

- Acqua calda per riscaldamento e acqua sanitaria: caldaie autonome murali a gas
- Climatizzazione: sistemi split
- Energia elettrica fornita dalla rete

# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## PRODUZIONE EFFICIENTE DEI FLUIDI PRIMARI

### I vincoli legislativi

- Sistemi ad elevato rendimento
- Impianti centralizzati per edifici > 4 unità abitative
- Regolazione locale della temperatura ambiente
- Terminali ambiente a bassa temperatura
- Sistemi di contabilizzazione energetica
- Impianti solari termici per acqua calda sanitaria
- Impianti fotovoltaici

# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## PRODUZIONE EFFICIENTE DEI FLUIDI PRIMARI

### Acqua calda

- Pompe di calore (elettriche o ad assorbimento a gas) ad acqua di falda o con sonde geotermiche
- Caldaie a Biomassa
- Sistemi di cogenerazione o trigenerazione
- Sistemi solari termici
- Gruppi frigoriferi a recupero di calore (acqua calda per postriscaldamento aria o produzione acqua calda sanitaria)

# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## PRODUZIONE EFFICIENTE DEI FLUIDI PRIMARI

### Energia elettrica

- Autoproduzione energia elettrica
  - Sistemi di cogenerazione
  - Sistemi solari fotovoltaici

# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## PRODUZIONE EFFICIENTE DEI FLUIDI PRIMARI

### Acqua refrigerata

- Gruppi frigoriferi (elettrici o ad assorbimento a gas) ad acqua di falda o con sistemi geotermici
- Assorbitori ad acqua calda prodotta da Sistemi di cogenerazione (trigenerazione)
- Assorbitori ad acqua calda prodotta da Solare termico

# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## POMPE DI CALORE

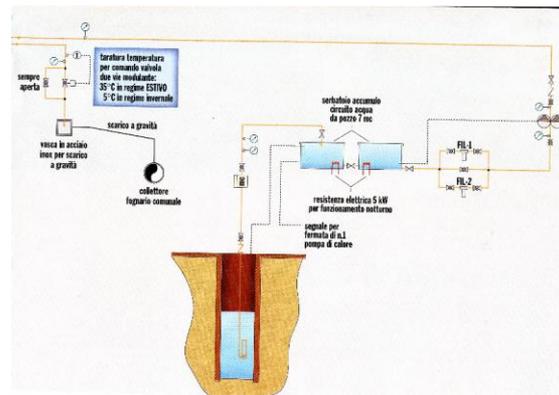
- Pompe di calore **acqua-acqua** / acqua-aria / aria-acqua
- Sorgente di calore: acqua di falda o di superficie / aria
- Produzione contemporanea di acqua refrigerata e acqua calda sanitaria

Quest'opera è un documento del sito web dell'ENEA

# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## POMPE DI CALORE AD ACQUA DI FALDA

- Soluzione conveniente se disponibile acqua a profondità < 30/40 metri
- Necessità di pratica autorizzativa per realizzazione dei pozzi
- Portata massima per pozzo: 35 l/s
- Restituzione acqua in falda oppure in corso d'acqua superficiale
- Differenziale di temperatura:
  - 5 K con restituzione in falda (presa 15 ° C - resa 20 ° C)
  - 10 K con restituzione in corso d'acqua superficiale



# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## POMPE DI CALORE GEOTERMICHE

- Pompe di calore terreno-acqua
- Sorgente di calore: terreno
- Circuito di tubazioni in plastica interrato
- Sonde verticali (diam. 11-13 cm, profondità 50-150 m)
- Circuiti orizzontali
- Sonde integrate nelle fondazioni

Qualitas® è un  
segreto di Stato per il riscaldamento  
e il raffreddamento degli edifici.

# IMPIANTI GEOTERMICI

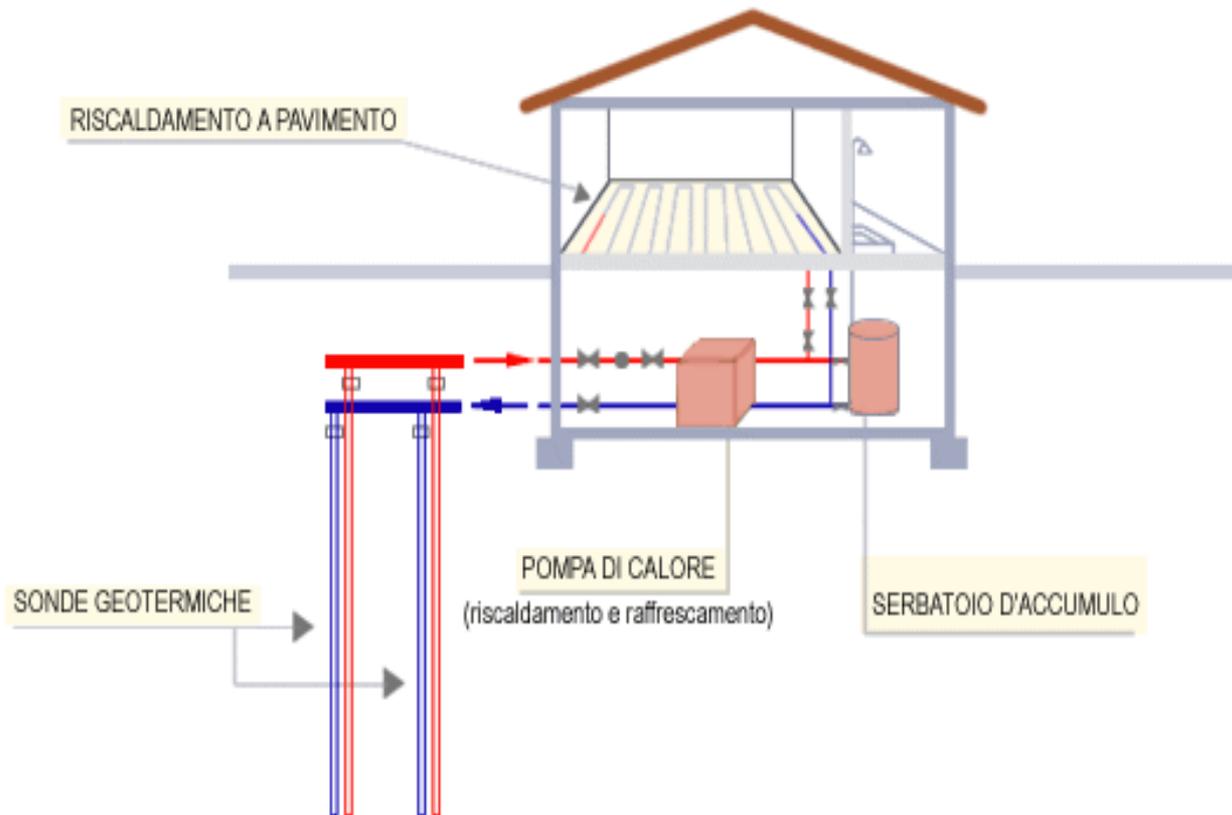
QuickTime™ e un  
decompressore TIFF (Non compresso)  
sono necessari per visualizzare quest'immagine.

QuickTime™ e un  
decompressore TIFF (Non compresso)  
sono necessari per visualizzare quest'immagine.

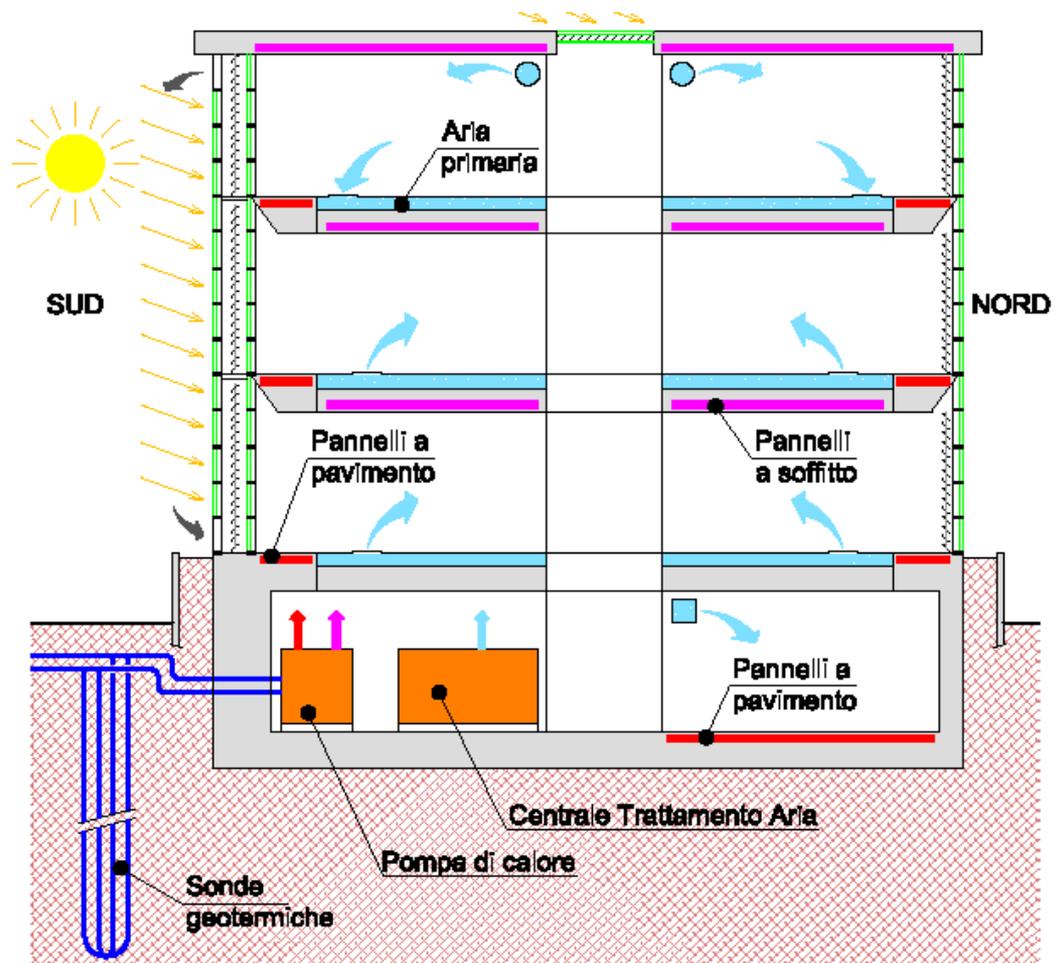
## Sonde verticali

## Circuiti orizzontali

# IMPIANTI GEOTERMICI



# IMPIANTI GEOTERMICI



# IMPIANTI GEOTERMICI

© 2011 by Luca Stefanutti  
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

## Dimensionamento

Capacità media:

- Orizzontali: 30 W/m<sup>2</sup>
- Verticali: 60 W/m

Esempio sonde verticali:

- Impianto da 18 kW = 300 metri di sonde verticali
- Impianto da 180 kW = 3000 metri di sonde verticali

Esempio circuiti orizzontali:

- Impianto da 18 kW = 600 m<sup>2</sup> di superficie
- Impianto da 180 kW = 6000 m<sup>2</sup> di superficie

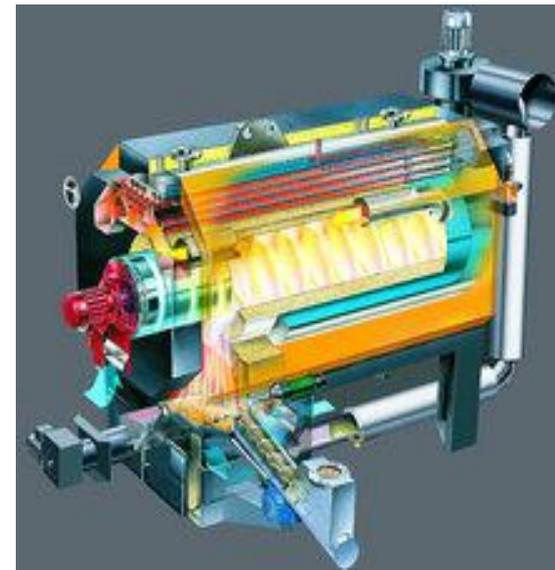
# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## CALDAIE A BIOMASSA

- Legna, pellet, cippato
- Potenze termiche da 15 a 500 kW
- Problematiche:
  - disponibilità e prezzo biomassa
  - emissioni PM
  - alimentazione



LUCA STEFANUTTI



INCONTRO LIUC "L'EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI EDIFICI"

# CALDAIE A BIOMASSA



# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## GRUPPI FRIGORIFERI AD ASSORBIMENTO

### A gas

- Produzione combinata di acqua calda e refrigerata
- Sistema modulare

### Ad acqua calda

- Produzione di acqua refrigerata mediante acqua calda
  - Pannelli solari (Solar Cooling)
  - Caldaie a cippato
  - Sistemi di cogenerazione



# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## POMPE DI CALORE AD ASSORBIMENTO A GAS

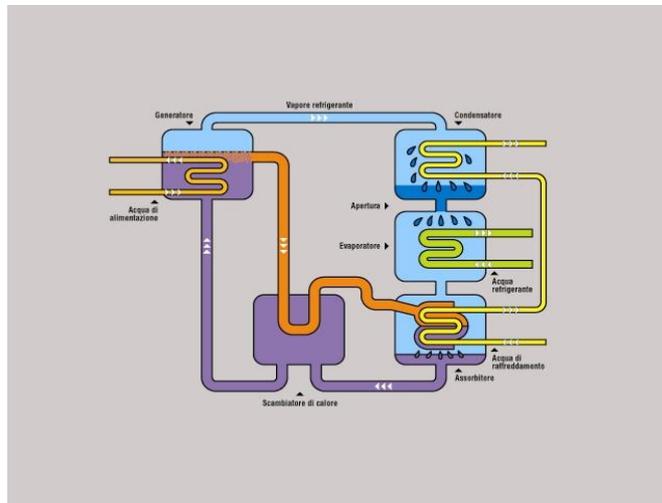
- Acqua/ammoniaca
- Produzione combinata di acqua calda (60 ° C) e refrigerata
- Alimentate a gas metano
- Sistema modulare: potenza modulo 17 kW freddo – 35 kW caldo
- Acqua-acqua (falda o terreno)
- Aria-acqua



# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## PICCOLI ASSORBITORI AD ACQUA CALDA

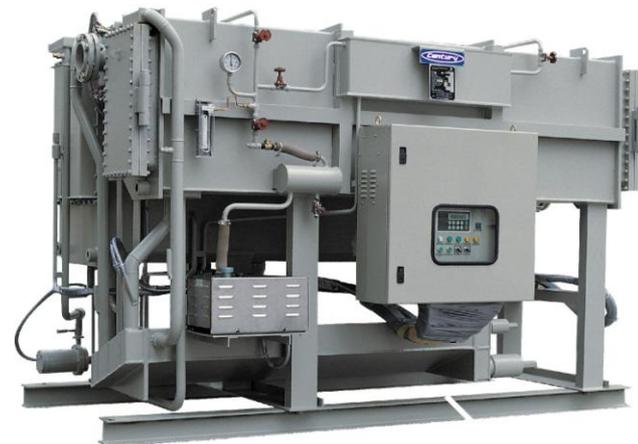
- Produzione di acqua refrigerata
- Alimentati ad acqua calda a bassa temperatura (75-95 ° C)
- Pannelli solari, caldaie a cippato, cogenerazione
- 3 taglie: 35-70-105 kW
- Smaltimento calore mediante torre di raffreddamento



# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## ASSORBITORI DI GRANDE TAGLIA

- Alimentati ad acqua surriscaldata ( $> 100^{\circ} \text{C}$ ) o gas
- Reti di teleriscaldamento o sistemi di cogenerazione
- Taglie fino a 6000 kW
- Smaltimento calore mediante torre di raffreddamento



# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## SISTEMI DI COGENERAZIONE E TRIGENERAZIONE

- Produzione combinata di
  - energia elettrica
  - energia termica
  - energia frigorifera
- Motori endotermici oppure microturbine a gas
- Produzione di energia frigorifera mediante gruppi ad assorbimento alimentati con acqua calda



# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## PICCOLI SISTEMI DI TRIGENERAZIONE

- Produzione di energia elettrica con microturbine a gas
- 2 taglie: potenza elettrica 30/65 kW
- Potenza termica: 65/112 kW
- Produzione di acqua calda (88 ° C) mediante recupero di calore
- Produzione di energia frigorifera mediante gruppi ad assorbimento alimentati con acqua calda



# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## IMPIANTI SOLARI TERMICI

- Obbligatoria per la produzione  $> 50$  o  $60\%$  del fabbisogno di acqua calda sanitaria
- Moduli da 2,1/3,3 m<sup>2</sup>
- 300 W per m<sup>2</sup>
- Inclinazione 30 - 45 °
- Orientamento Sud



# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## IMPIANTI SOLARI TERMICI



# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## IMPIANTI SOLARI FOTOVOLTAICI

- DM 19 febbraio 2007
- Obiettivo: 3000 MW fotovoltaico entro il 2016
- Semplificazione delle procedure di incentivazione
- Non più graduatorie, domanda al GSE (Gestore Servizi Elettrici)
- **Conto Energia:** tariffe incentivanti per la vendita la gestore dell'energia elettrica prodotta
- 9 tariffe in base a potenza installata e all'integrazione dell'impianto con l'edificio
- Potenze nominali: da 1 a 3, da 3 a 20; > 20 kW
- Impianti non integrati, parzialmente. integrati, integrati
- Legge Finanziaria 2007: obbligatorio 0,2 kW per ogni unità abitativa

# Le fonti rinnovabili per la climatizzazione

## CONTO ENERGIA

Potenza nominale da 1 a 3 kW

- Impianti non integrati: 0,40 euro/kWh
- Impianti parz. integrati: 0,44 euro/kWh
- Impianti integrati: 0,49 euro/kWh

Potenza nominale da 3 a 20 kW

- Impianti non integrati: 0,38 euro/kWh
- Impianti parz. integrati: 0,42 euro/kWh
- Impianti integrati: 0,46 euro/kWh



# Gli impianti ad alte prestazioni

## ANALISI DI FATTIBILITA'

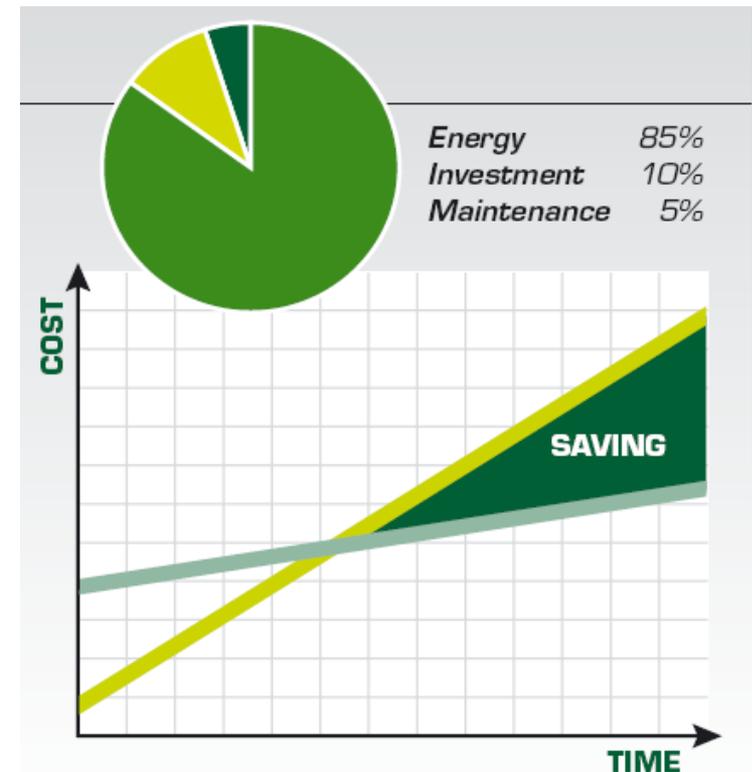
- Confronto energetico/economico tra diverse soluzioni
  - Costo investimento
  - Consumi e costi energetici
  - Oneri e costi di manutenzione
- Strumenti:
  - Indici economici: VAN e Pay-back (ritorno dell'investimento)
  - Indici di efficienza: ESEER, SFP
  - Costo del Ciclo di vita (LCC)



# Gli impianti ad alte prestazioni

## LIFE CYCLE COST

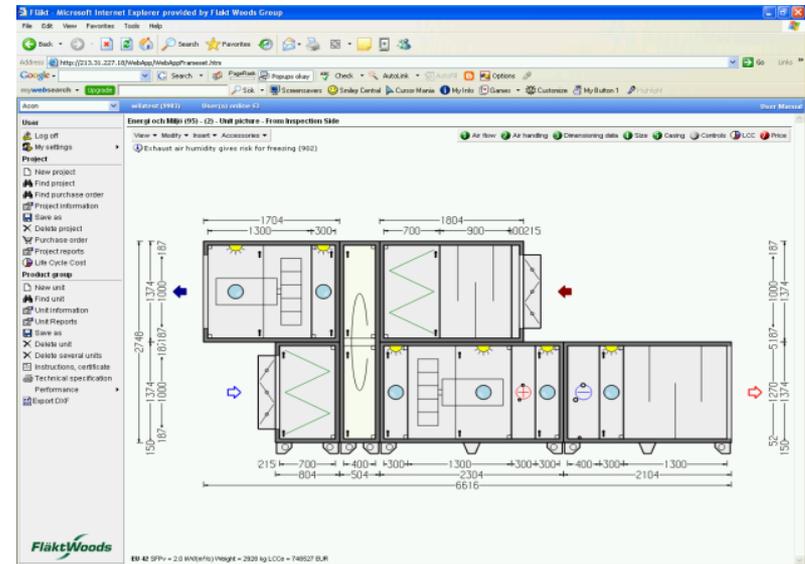
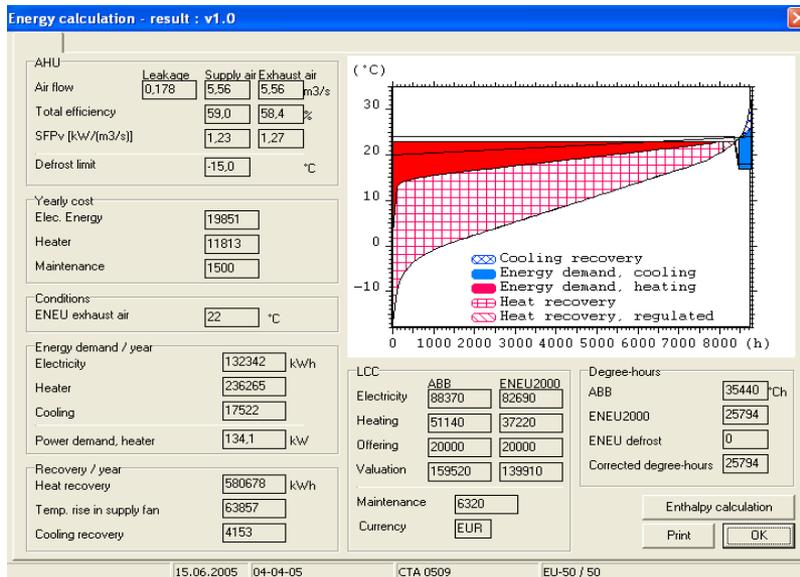
- Analisi del costo del ciclo di vita (Life Cycle Cost = LCC)
- Costo esercizio (energia): 85%
- Costo investimento: 10 %
- Costo manutenzione: 5%



# Gli impianti ad alte prestazioni

## LIFE CYCLE COST

Calcolo LCC: software di calcolo commerciali scaricabili da Internet



# Gli impianti ad alte prestazioni

## SOSTENIBILITA' E MERCATO

- Costi di gestione e LCC
- Incentivi fiscali
- Appalti integrati (Progettazione, realizzazione, gestione a carico delle imprese di costruzione)

