

Controllo Ambientale degli Edifici

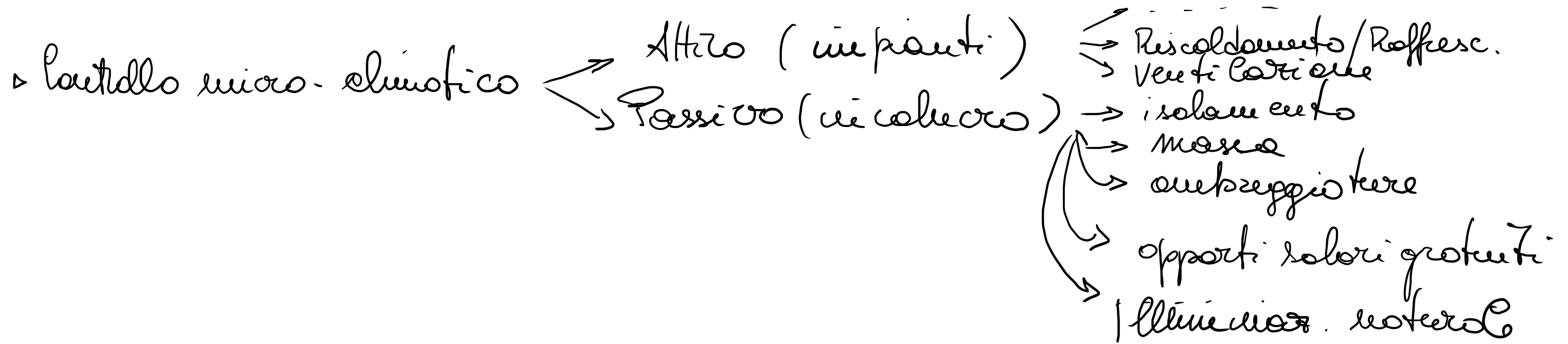
▷ Controllo dei processi energetici che coinvolgono il sistema complesso edificio/impianti/facili energetiche (rinnovabili e non).

▷ Applicazioni

- Identificazione delle cond. di benessere negli edifici
- Progettazione inelucro edilizio
- Progettazione impianti riscaldamento/condizionamento/AFS/ACS
- Illuminotecnica e acustica
- Identificazione e sfruttamento fonti rinnovabili.
- Controllo degli impianti.

Subdivisione del corso in Moduli Applicativi

- 1) Inolucro: trasmissione e carichi termici I/E
- 2) Condizioni di benessere termometrico
- 3) Tipologie di impianti di condizionamento e criteri di dimensionamento
- 4) Reti acqua tecnica
- 5) Reti AFS/ACS e relativi componentistica
- 6) Criteri di Acustica Tecnica



▷ fabbisogno di energia primaria per riscaldamento:

▷ Needs nazionale: 150-200 kWh/m² anno

▷ Una rivoluzione a spanne: **fabbisogno di calore specifico "c"**

c ~ 0,05	kWh/m ³	edifici ben isolati
0,08	" "	" " poco isolati
0,12	" "	" " non isolati

Altezza interna: $h = 2,70$ m. Il fabbisogno energetico si ottiene da $c \times h \times (\# \text{ ore di riscaldamento (anno)})$

$$0,05 \times 2,70 \times \left[\underset{\uparrow}{10} \times 140 \right] \sim 190 \text{ kWh/anno}$$

Area climatica G' , 10 ore/giorno di resa dal 15/11 al 31/03

Questo calcolo è molto ~~rozzo~~ e non tiene conto della variabilità della temperatura nel periodo di riscaldamento. Tuttavia è indicativo.


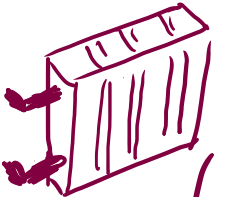
- ▷ Per edifici in classe A4 il fabbisogno di energia primaria è dell'ordine di $20 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$ (o inferiore), funzione di diversi parametri tra cui la zona climatica e il fattore di forma S/V .

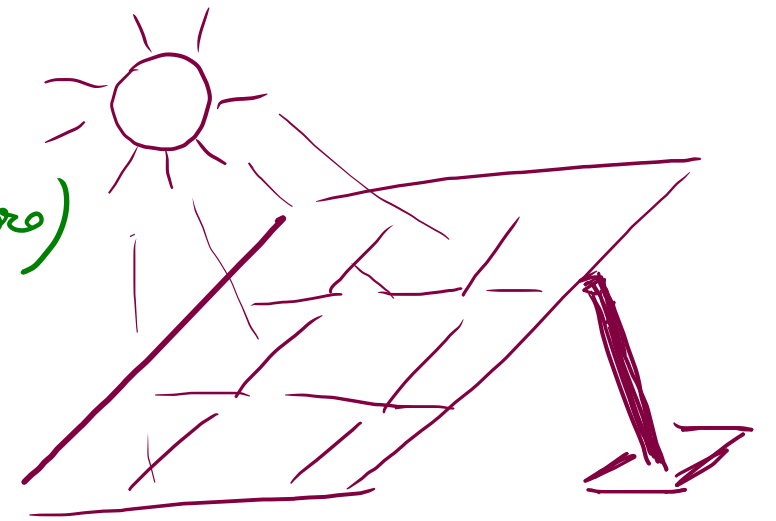
- ▷ Fino a pochi anni fa la "qualità" di un edificio, in termini energetici, veniva legata al solo comportamento invernale e quindi al fabbisogno energetico per il riscaldamento.
- ▷ L'attuale diffusione dei sistemi di condizionamento estivo e le associate richieste energetiche impongono una sempre maggiore attenzione al comportamento degli edifici in regime estivo.

Direttiva 2010/31/EC (Commissione e Consiglio dell'Unione Europea):

- Dal 31/12/2020 tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere a energia quasi zero ("Nearly Zero-Energy Building")
- Dal 31/12/2018 tutti gli edifici di nuova costruzione occupati o di proprietà pubblica dovranno essere edifici a energia quasi zero.

Efficienza energetica degli edifici: le 3 leve.

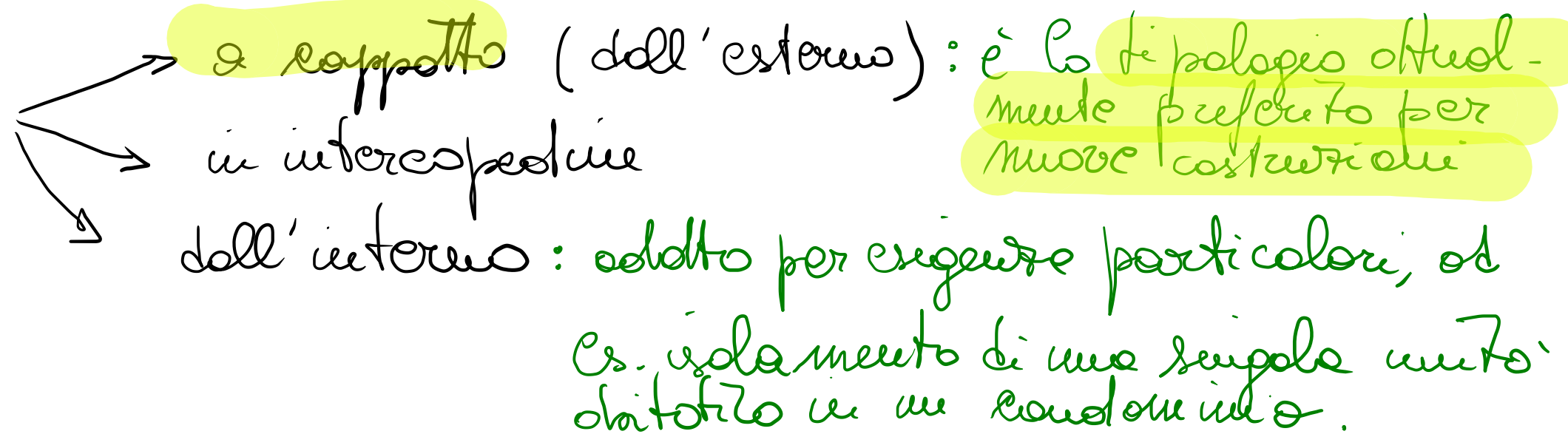
- ▶ Sistema edificio  (involucro)
- ▶ Sistema impianti  (es. pompa di calore)
- ▶ Sistema approvvigionamento energetico (integrazione di fonti rinnovabili)



Primo Livello: involucro edilizio energeticamente efficiente

▷ Attenta progettazione dell'involucro edilizio ai fini di una ridotta richiesta energetica.

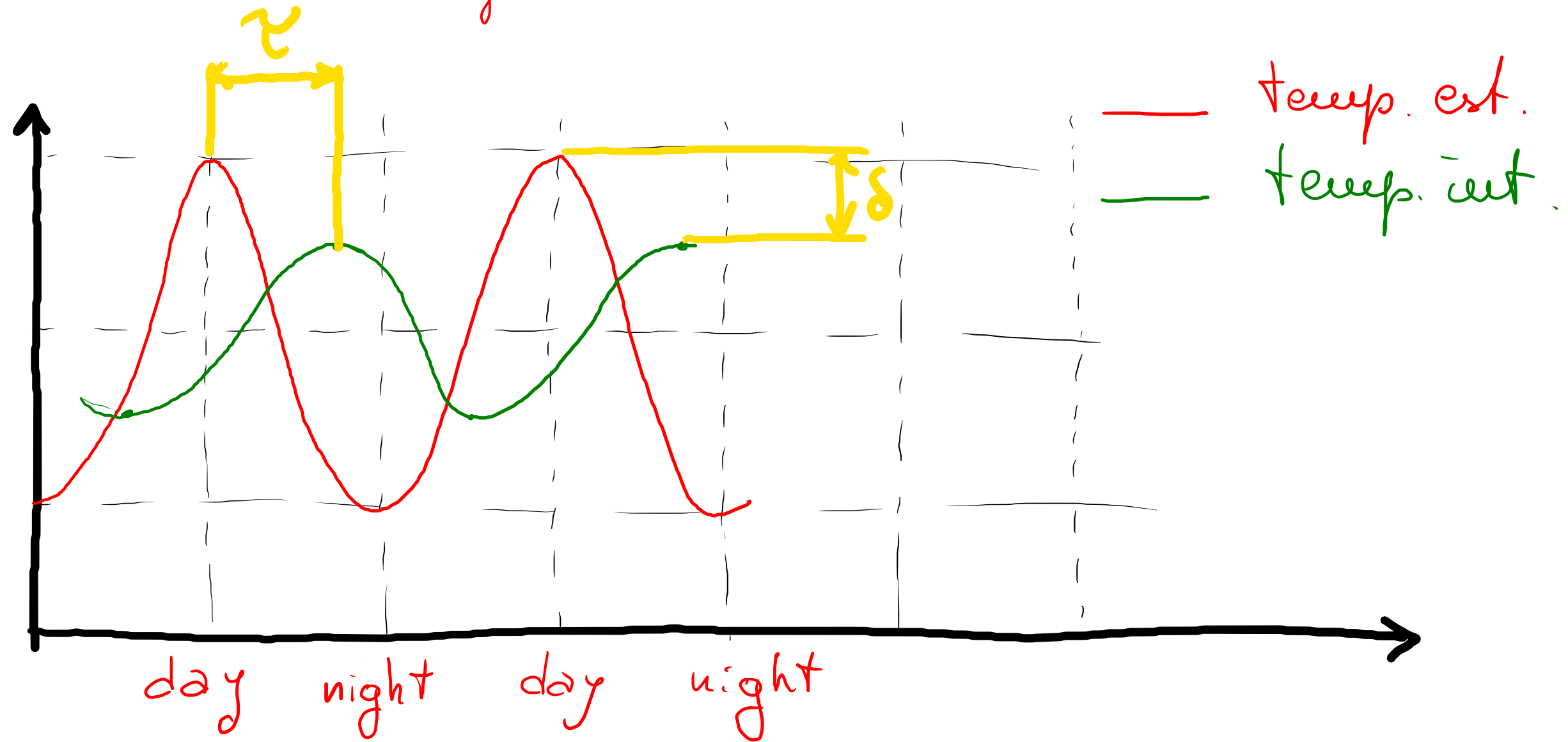
▷ Isolamento termico (invernale)



▷ L'isolamento termico è utile nella stagione invernale, in cui la differenza di temperatura tra interno ed esterno non subisce forti variazioni diurna e manca il forte e costante soleggiamento tipico delle lunghe giornate estive.

► Per limitare il consumo energetico associato al condizionamento estivo si sfruttano le capacità di accumulare energia delle strutture murarie di massa (più propriamente, *capacità termica*) elevata. Si ottengono così due effetti: *attenuazione* e *sfasamento*

τ : sfasamento
 δ : attenuazione



- ▶ **Attenuazione**: riduzione del picco di temperatura interna (es. 26°C) rispetto a quella esterna (es. 35°C)
- ▶ **Sfasamento**: ritardo del picco di temperatura interna rispetto a quello esterno. **Con un ritardo sufficientemente lungo (es. 10h)** il picco di temperatura all'interno dell'edificio si ottiene nelle ore serali, quando è **possibile raffrescare i locali ventilando, sfruttando** la minore temperatura dell'aria esterna.

- ▶ Una particolare tipologia costruttiva può essere "sfruttata" per
 - massimizzare il guadagno solare invernale, e
 - ridurre le richieste termiche estive.

Es: case a schiera. 2 problematiche:  contatto con il suolo
elevato rapporto S/V (sep. dipendente).

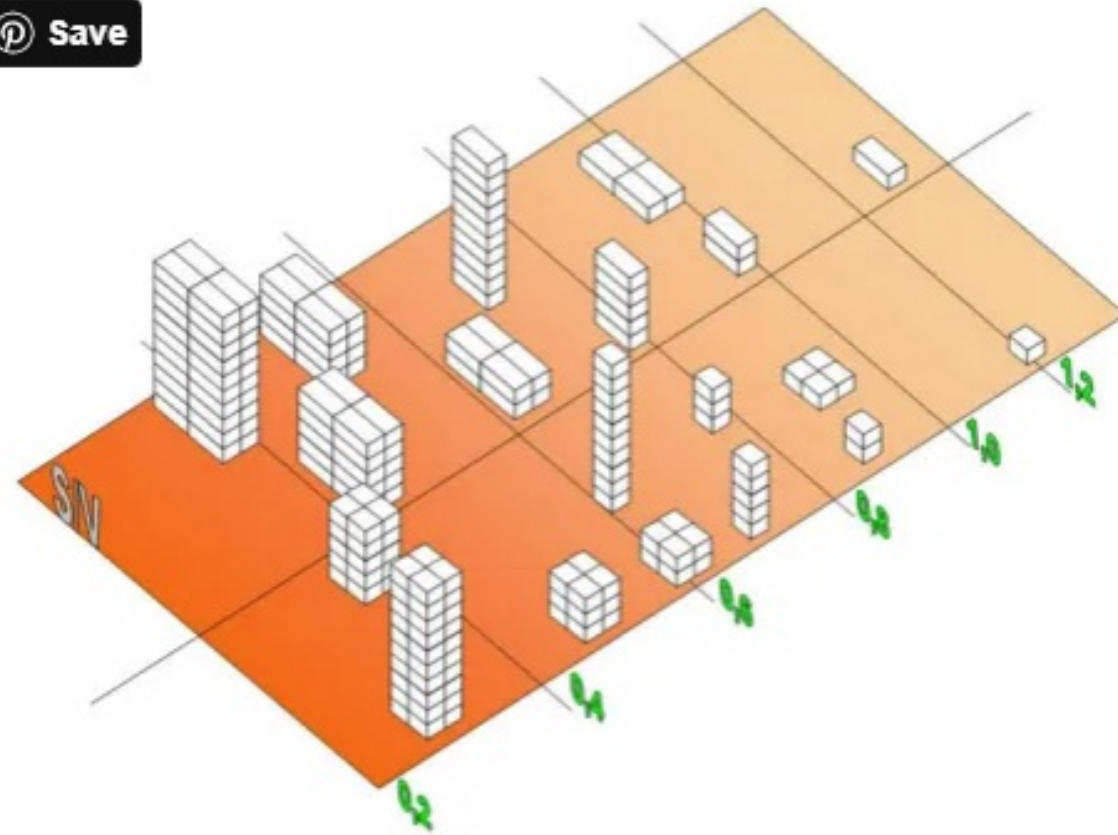
Cosa si può fare?

Regime invernale

- ▷ Serre solari sul fronte Sud
- ▷ Muri di Trombe
- ▷ Pareti ventilate trasparenti

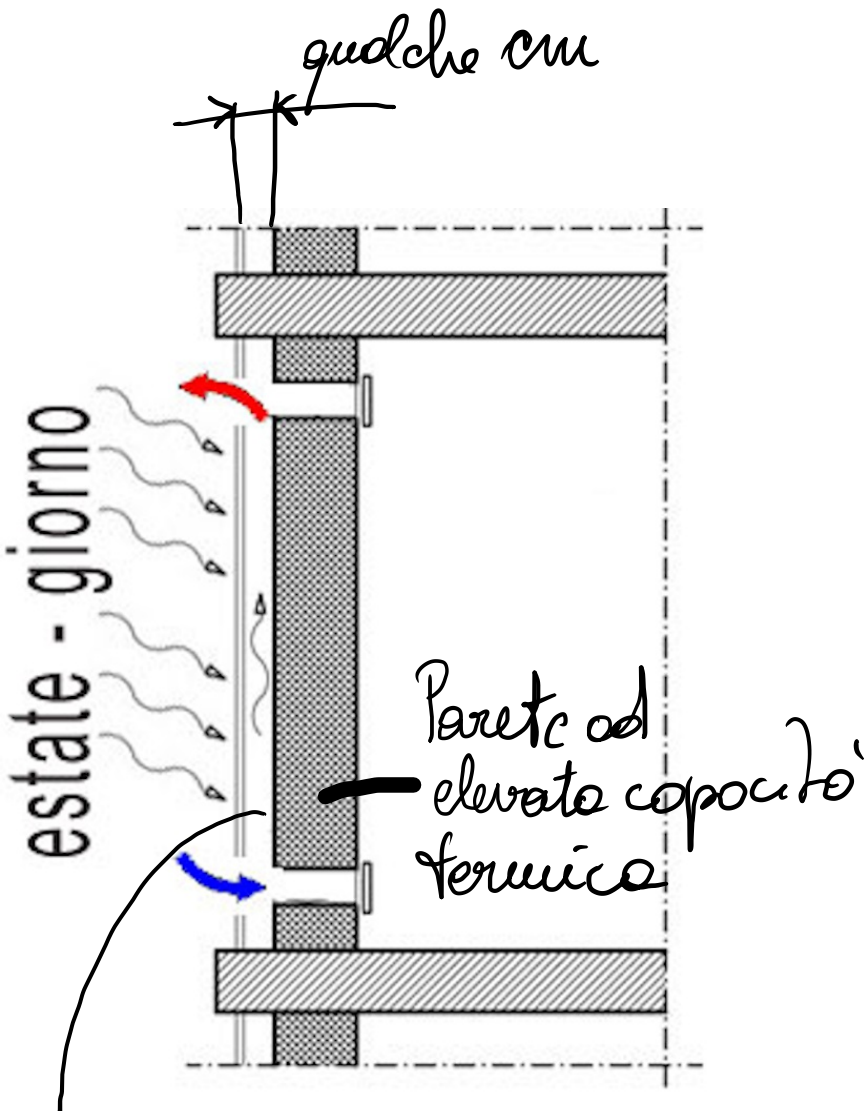
Regime estivo

- ▷ Portici/porticati sul fronte Sud
- ▷ Ground cooling
- ▷ Pareti ventilate opache ad E/O

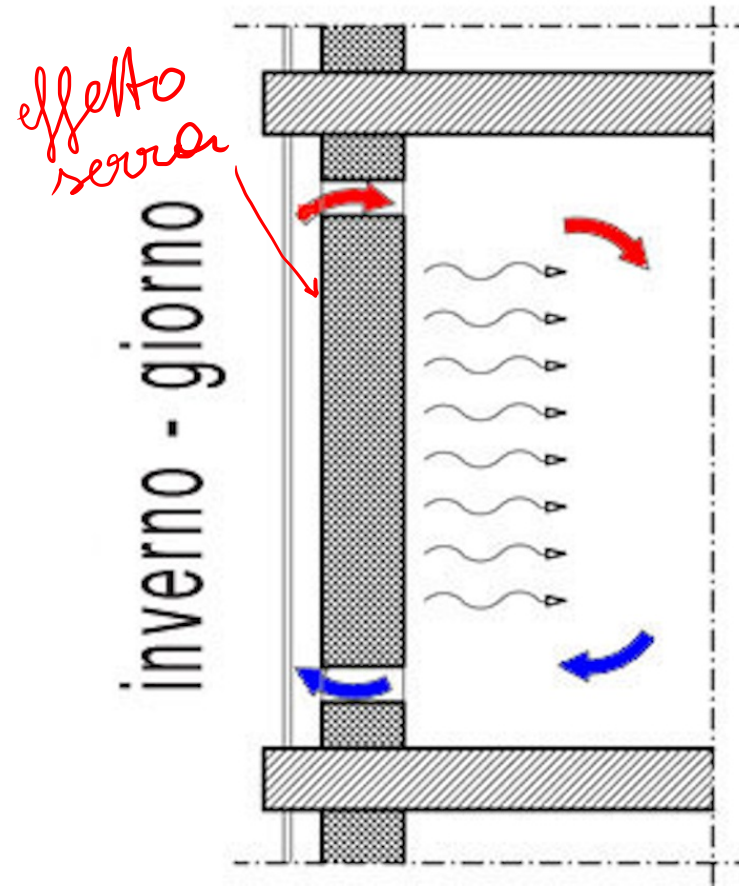
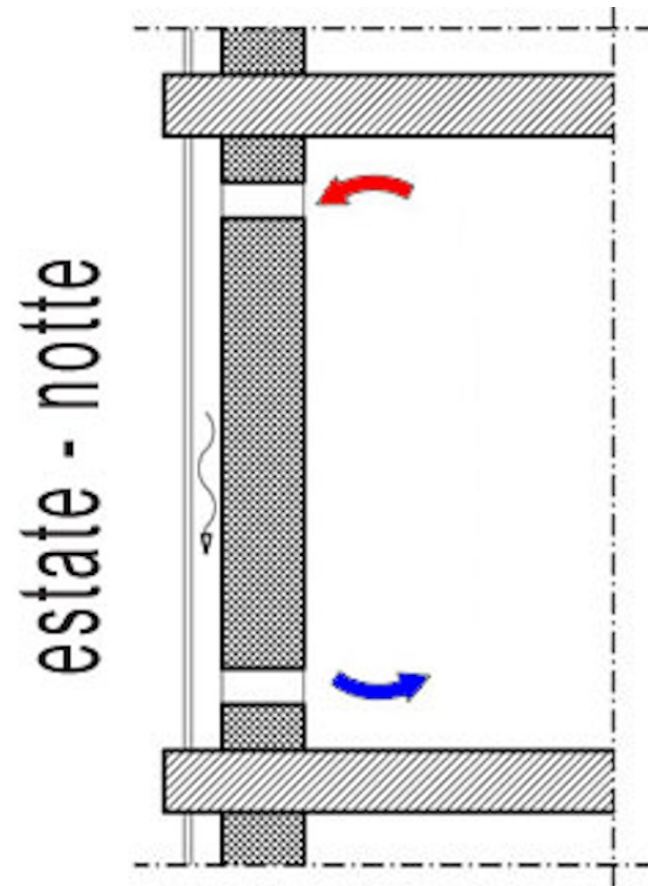


Dispersioni termiche attraverso involucro $\propto S$
Energia accumulata nell'edificio (struttura, arredi, ...) $\propto V$
 \Rightarrow elevati valori di S/V sono indice del fatto che dovremo faticare
(e spendere) per conseguire una buona efficienza energetica

Muro di Trombe: funzionamento estivo/invernale



superficie esterna di colore scuro per avere alto assorbimento delle radiazioni solari



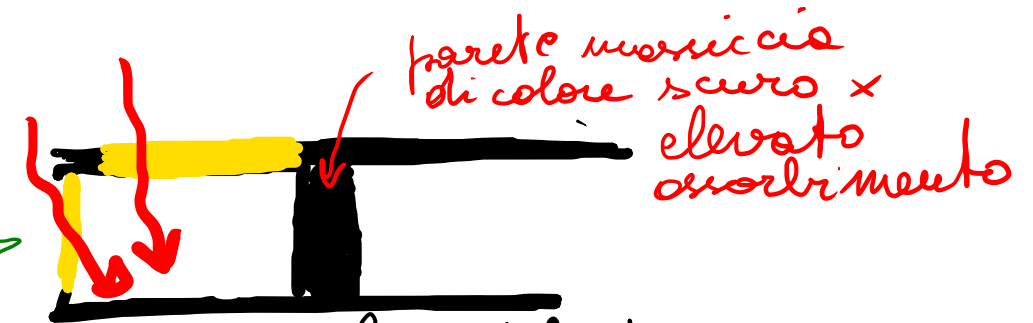
interospedire il muro pesante emette il calore accumulato
solo il muro è esterno

The diagram shows the Trombe wall during a winter night. Wavy lines on the left represent heat being lost from the exterior surface. A red arrow points from the wall to the exterior. Inside the room, wavy lines represent heat being radiated from the wall. A red arrow points from the wall into the room, and a blue arrow points from the room back to the wall.

schermo alla radiazione emessa dalla parete verso l'esterno (per lo più nel campo I.R. dello spettro)

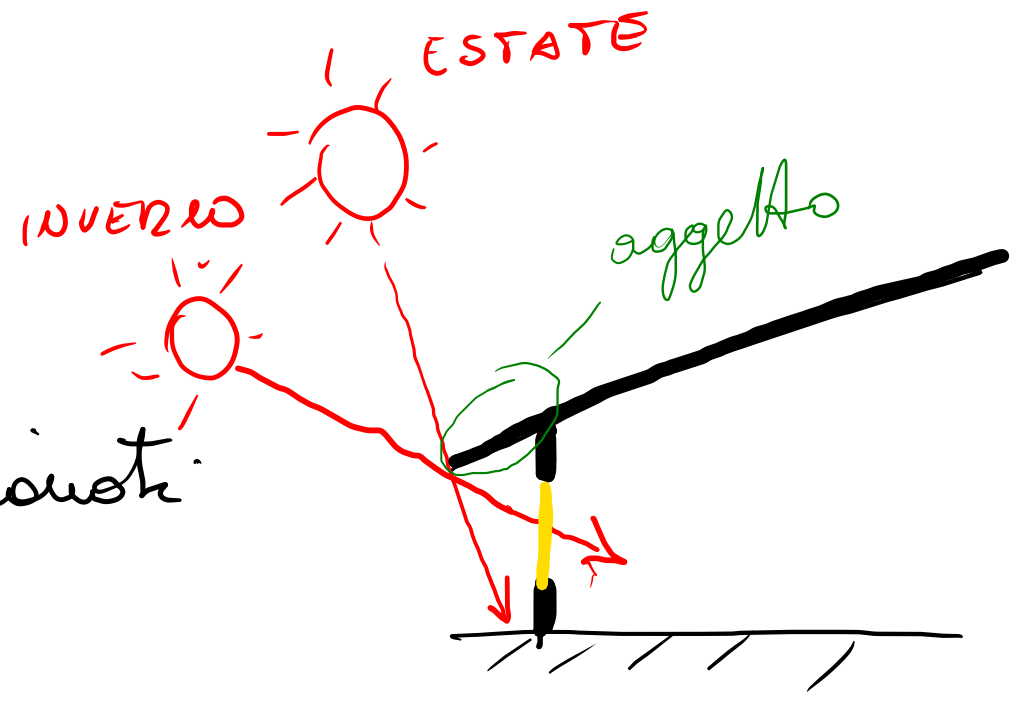
Sistemi passivi che "fruttano" la radiazione solare:

- I • Serre
- I • Vetrate solari esposte a Sud
- I • Facciate ventilate trasparenti
- E/I • Muri di Trombe
- E • Tetti verdi
- E • Pareti ventilate opache
- E • Aggetti adeguatamente dimensionati
- E • Vegetazione con piante a foglie caduche, e fronda alta

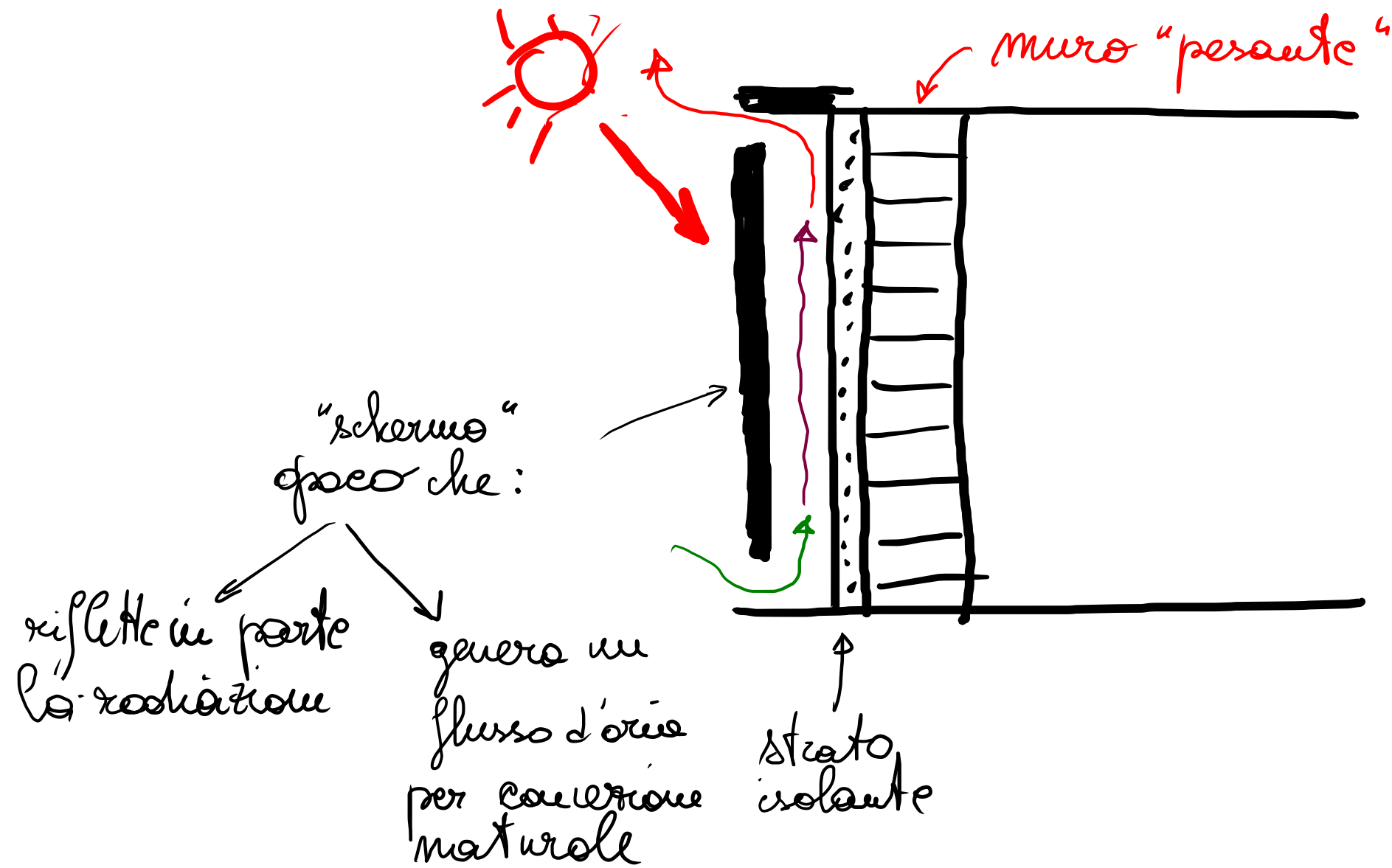


rimuovendo i vetri, in estate si può utilizzare come portico per schermare la radiazione solare

Serra solare (il tetto è 1/2. tempo allo scaldar. solare mentre è opaco allo scaldar. lumina delle pareti)

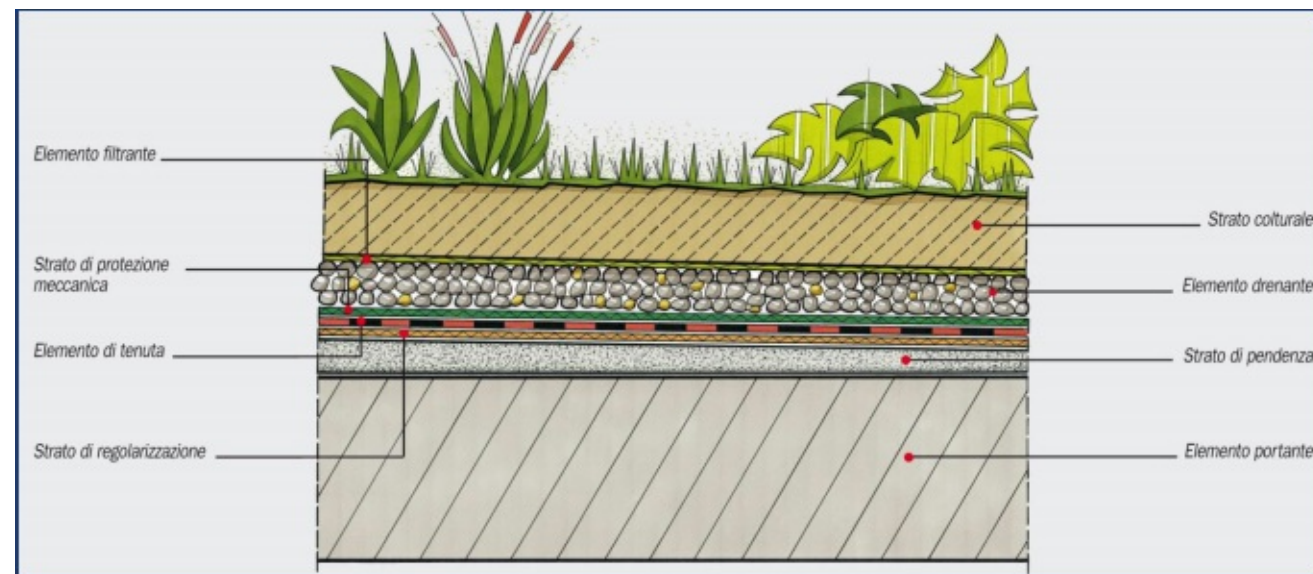


Parati ventilate epauche → limitano qualcosa calore estivo.



Coperture a verde

- Lo strato vegetale è parte integrante della copertura
- Vantaggi energetici ed ambientali:
 - ▶ riduzione del guadagno solare dell'edificio in estate
 - ▶ sostegno al sistema di smaltimento delle acque reflue
 - ▶ Su larga scala, miglior ornamento della qualità di dell'aria nei centri urbani

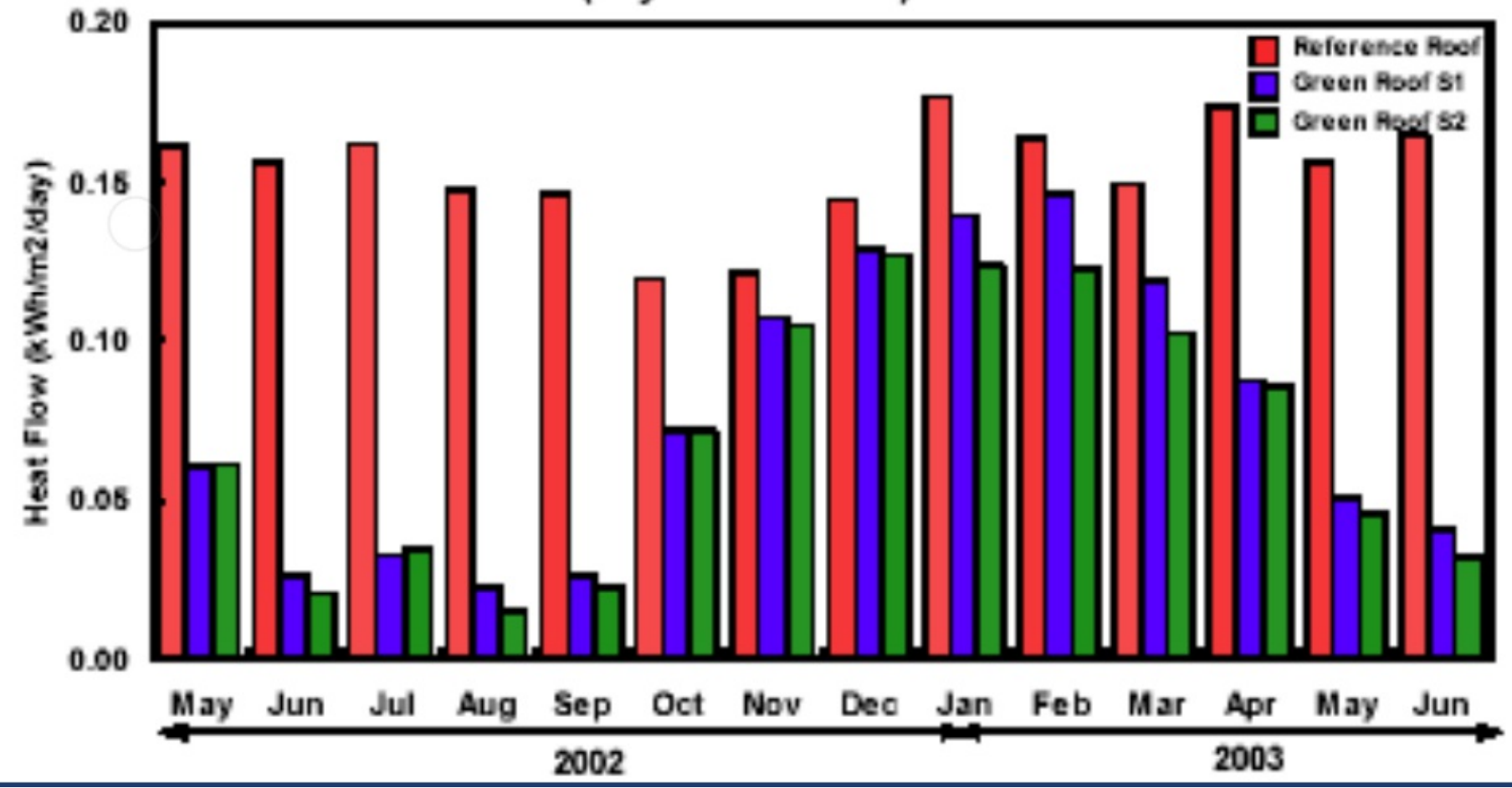


Si evidenziano i diversi strati (dal basso verso l'alto):

- elemento portante
- strato impermeabile
- strato resistente alla penetrazione delle radici
- elemento di protezione meccanica degli strati sottostanti
- elemento drenante
- elemento filtrante
- strato coltivabile
- strato vegetale

- Dal punto di vista energetico (UNI 11235:2015 "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture verdi")
- ▷ molte sono le modellazioni possibili per il comportamento energetico delle coperture verdi
 - ▷ la copertura verde ha un albedo generalmente maggiore resp. coperture tradizionali
 - ▷ un impatto rilevante è associato alla resistenza ed alla capacità termica degli strati
 - ▷ si sono rilevati benefici effetti durante la stagione estiva, con sensibile riduzione della temperatura intradosso della copertura
 - ▷ l'effetto di "raffrescamento" della copertura è particolarmente rilevante qualora:
 - * la vegetazione sia costituita da piante con elevato indice LAI (Leaf Area Index - indice di area fogliare) che garantiscono ombreggiamento sulla copertura
 - * la vegetazione è caratterizzata da consistenti consumi idrici => evaporazione

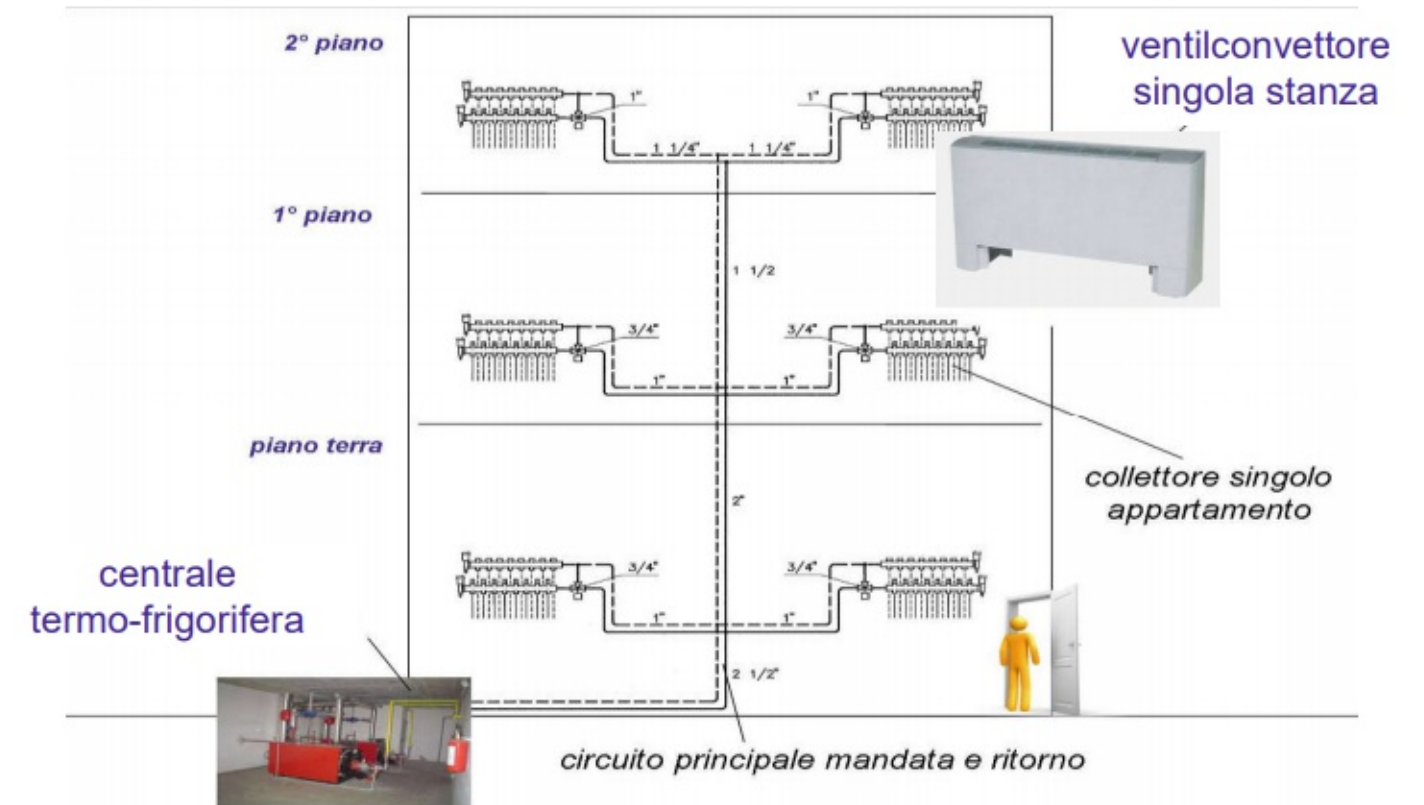
Average Daily Heat Flow Through Roof Surfaces
(May 2002 - Jun 2003)



Seconda e terza leva: impianti termici efficienti e fonti energetiche rinnovabili

Centrale termica: produzione di acqua termica calda/fredda e di ACS

- Interventi di efficientamento energetico sulla C.T. hanno forte impatto sul bilancio energetico del edificio (e sulla sua domanda energetica ...)



• Sistemi di generazione acqua calda (tecnica / ACS):

▷ caldaia
↳ gas
↳ gasolio da riscaldamento
↳ biomasse (esclus. pellet)

• caldaie tradizionali a vapore e condensazione

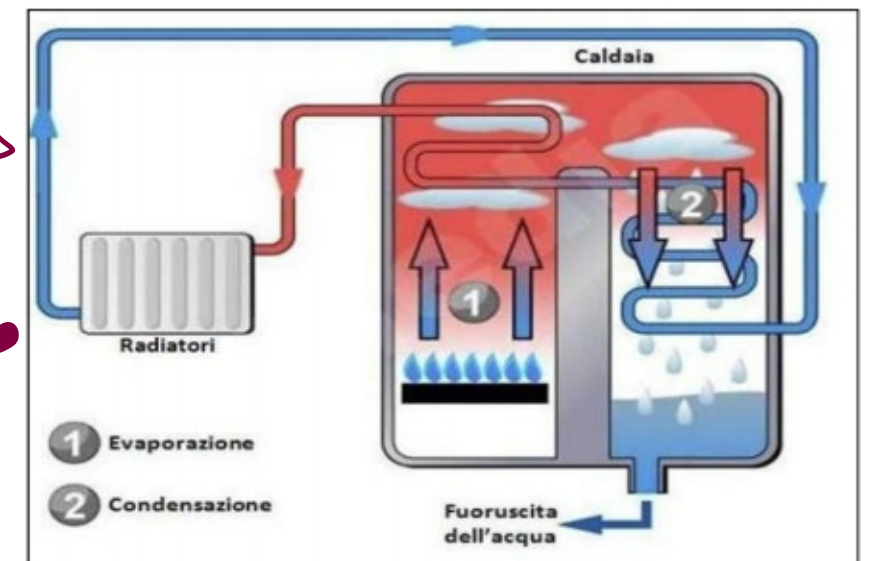
▷ pompe di calore (elettriche)

Aria/Aria
(condens. diretta)

Aria/acqua geotermiche

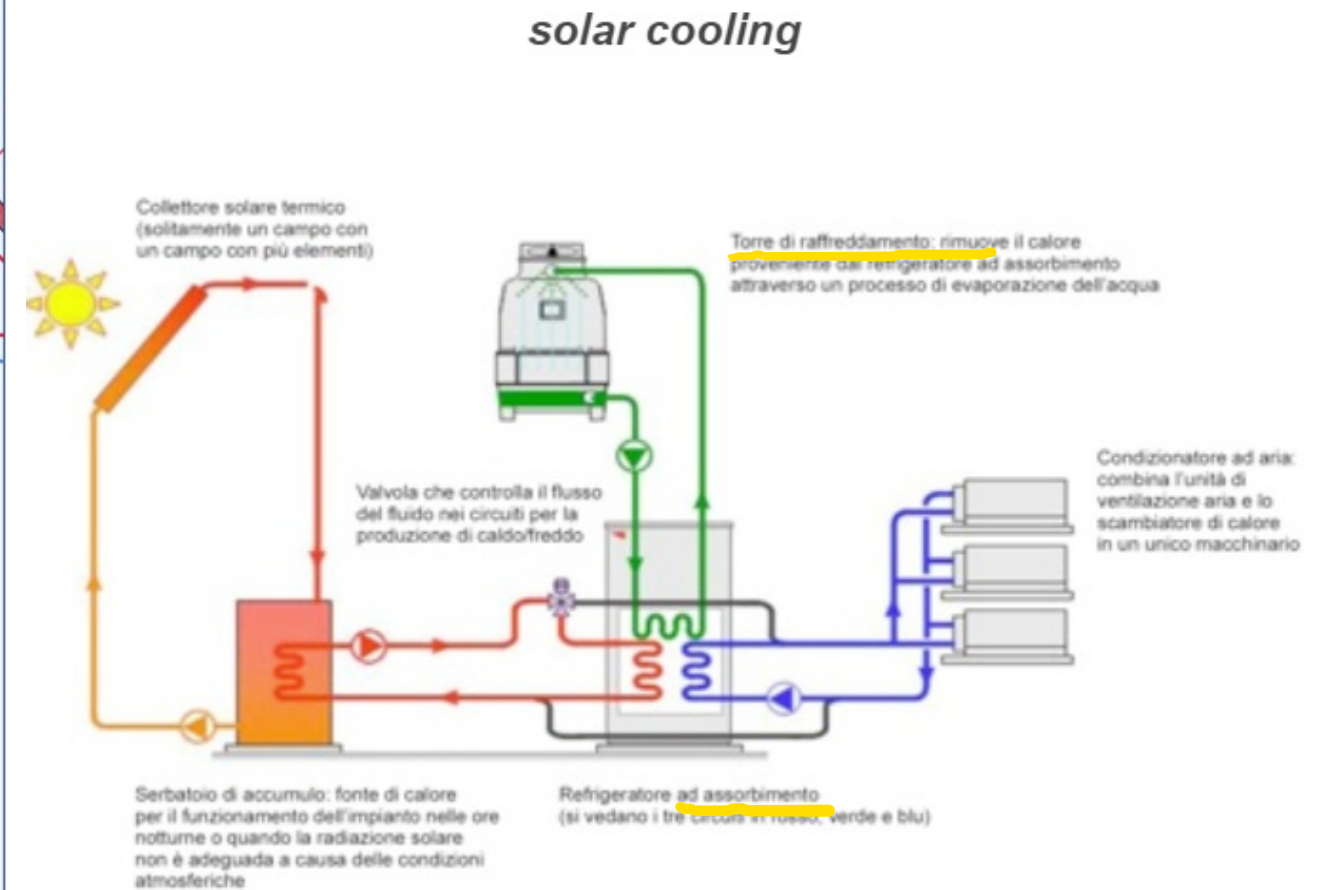
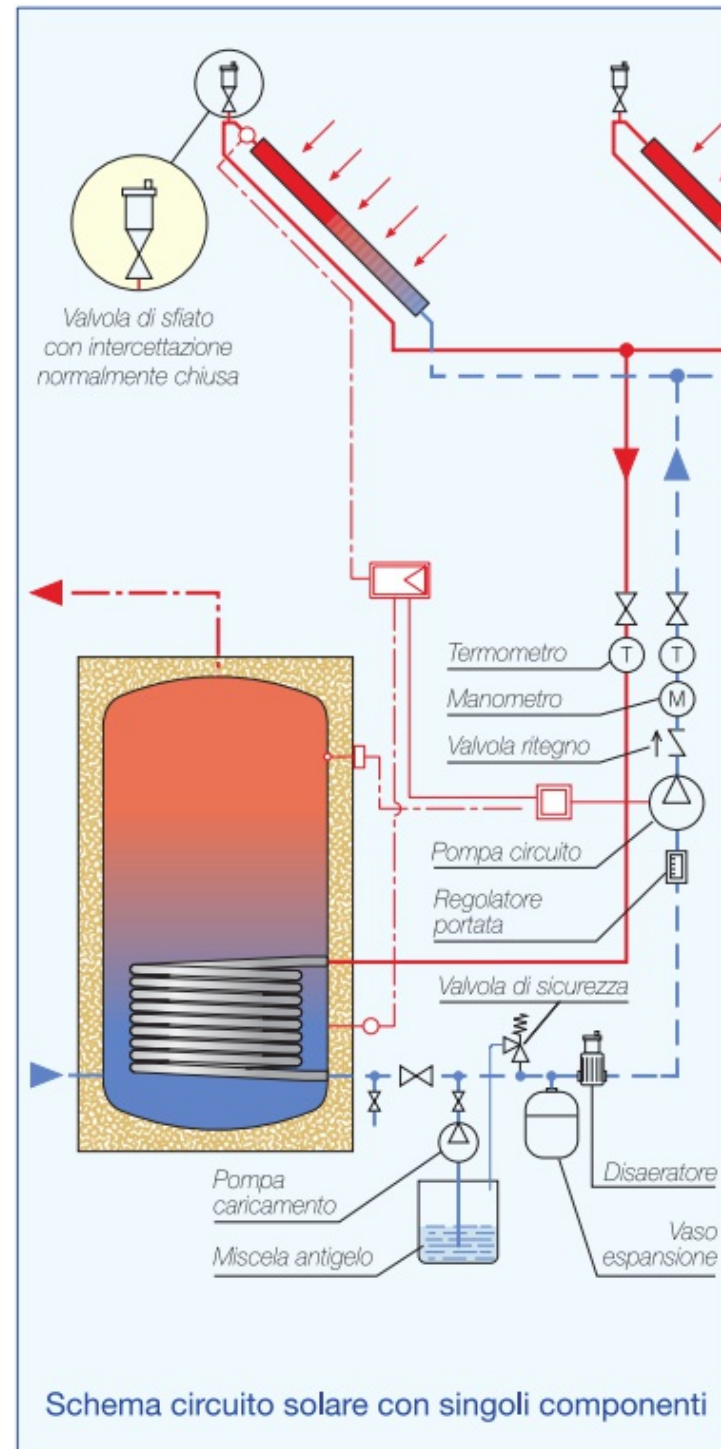
pozzi verticali

trincee



► **pannelli solari termici** (tipicamente ad integrazione degli impianti precedenti e in **carico**, misero limitati alla produzione di **ACS**)

► possono essere usati anche per il riscaldamento invernale (con l'uso di accumulatori detti "puffer")
 ► Possono essere usati anche per il raffreddamento estivo degli edifici ("**solar cooling**")

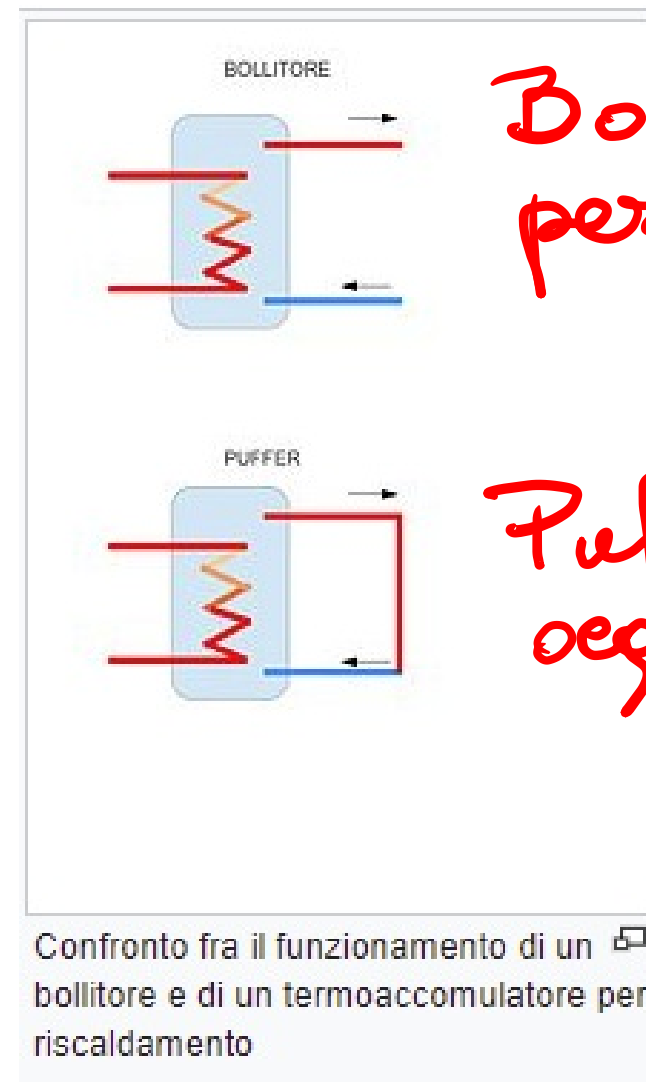


Il "puffer", questo sconosciuto.....

È sempre un serbatoio coibentato,
come un bollitore per ACS!

Può cambiare il numero di attacchi,
ma di fatto la funzione è la stessa:
Termo-accumulatore.

Inoltre il puffer regola il funzionamento
dell'impianto nei casi in cui il generatore di
calore non è molto stabile (es. solare termico
oppure cdaic a pellet).



Bollitore
per ACS

Puffer per
ogni tecnica

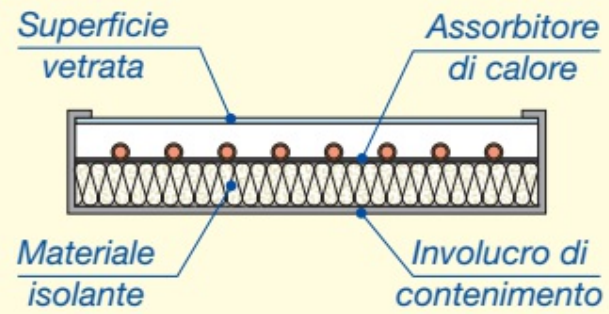
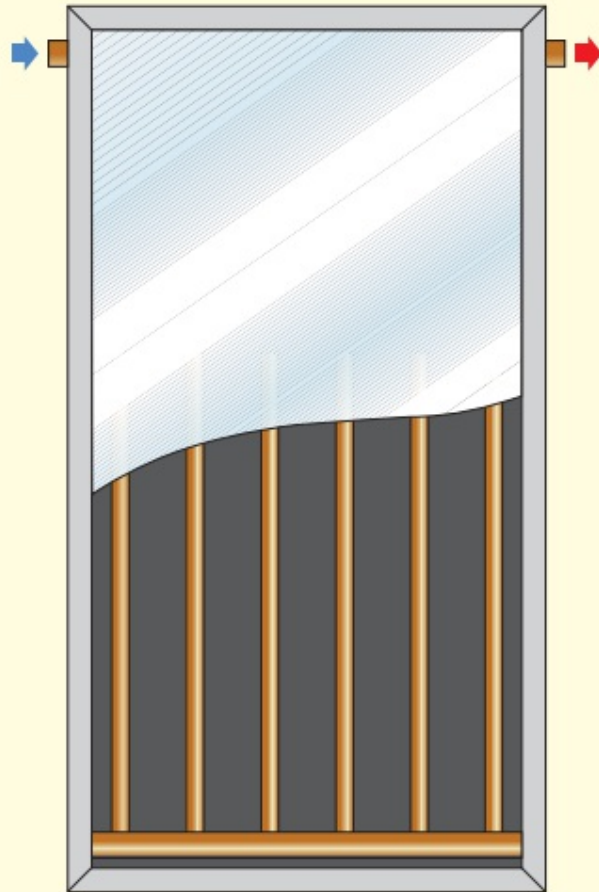
Collettori solari ("Solare termico")

▷ PANNELLI SCOPERTI ↔ tubi scoperti esposti all'aria.
Costo pannelli irrisorio
Elevate perdite per conversione.

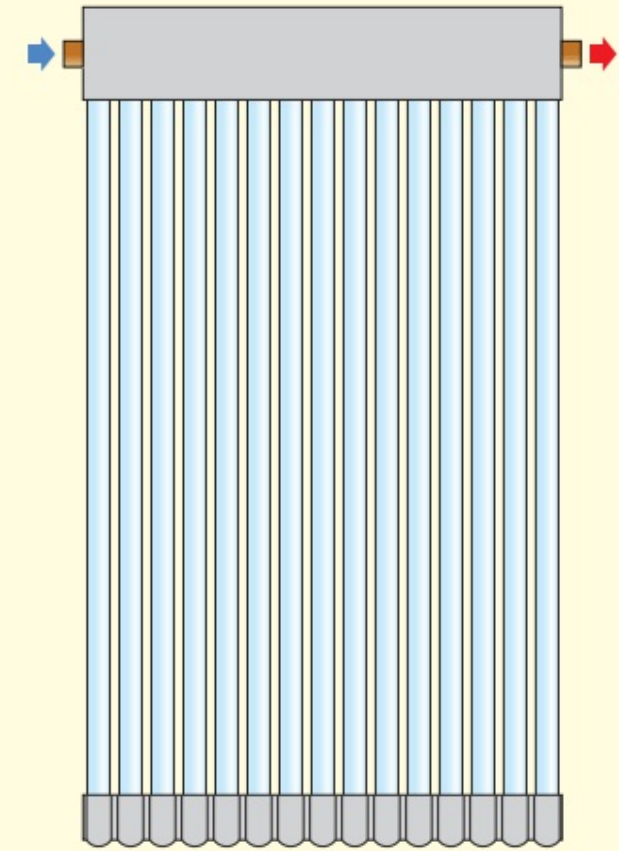
▷ PANNELLI PIANI VETRATI ↔ tubi coperti da lastre di vetro
Costo medio
con caratteristiche selettive rispetto
alla radiazione solare. Basse
perdite per conversione.
Buone rese anche in inverno.

▷ PANNELLI SOTTovuoto: i tubi entro cui scorre la miscela acqua + glicole
Costo elevato
sono a loro volta racchiusi entro tubi trasparenti
nei quali è praticato il vuoto. Basissime perdite
conlettive.

Pannello a fluido liquido con protezione



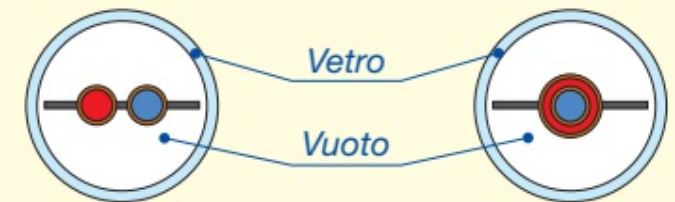
Pannello a fluido liquido con tubi sotto vuoto



Sezioni tubi in vetro

con tubi fluido separati

con tubi fluido concentrici



Per un dimensionamento di massima, la dimensione necessaria dei pannelli si può ricavare in base ai seguenti dati empirici:

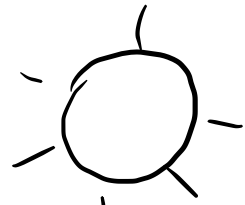
▷ <u>Pannello solare vetrato</u> :	<u>50 l/d</u>	Nord Italia
	100 l/d	Sud Italia
▷ <u>Collettore a tubi evacuati</u> :	<u>70 l/d</u>	Nord Italia
	140 l/d	Sud Italia

▷ M² di pannelli solari per persona, per garantire il soddisfocimento del 50% di richiesta di ACS:

- Nord : 0,6 m² / persona
- Centro : 0,5 m² / persona
- Sud : 0,4 m² / persona

In genere è prassi dimensionare la superficie dei pannelli in funzione del 50% dello potenza richiesta per ACS.

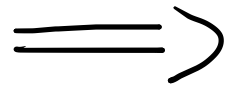
Solar Heating and Cooling



Collettori solari



Trasferimento di energia
ad un fluido termovettore



Macchina ad assorbimento



Fluido termovettore freddo
per il condizionamento estivo.

Riscaldamento ambiente
con termidri e pompe
temperatura

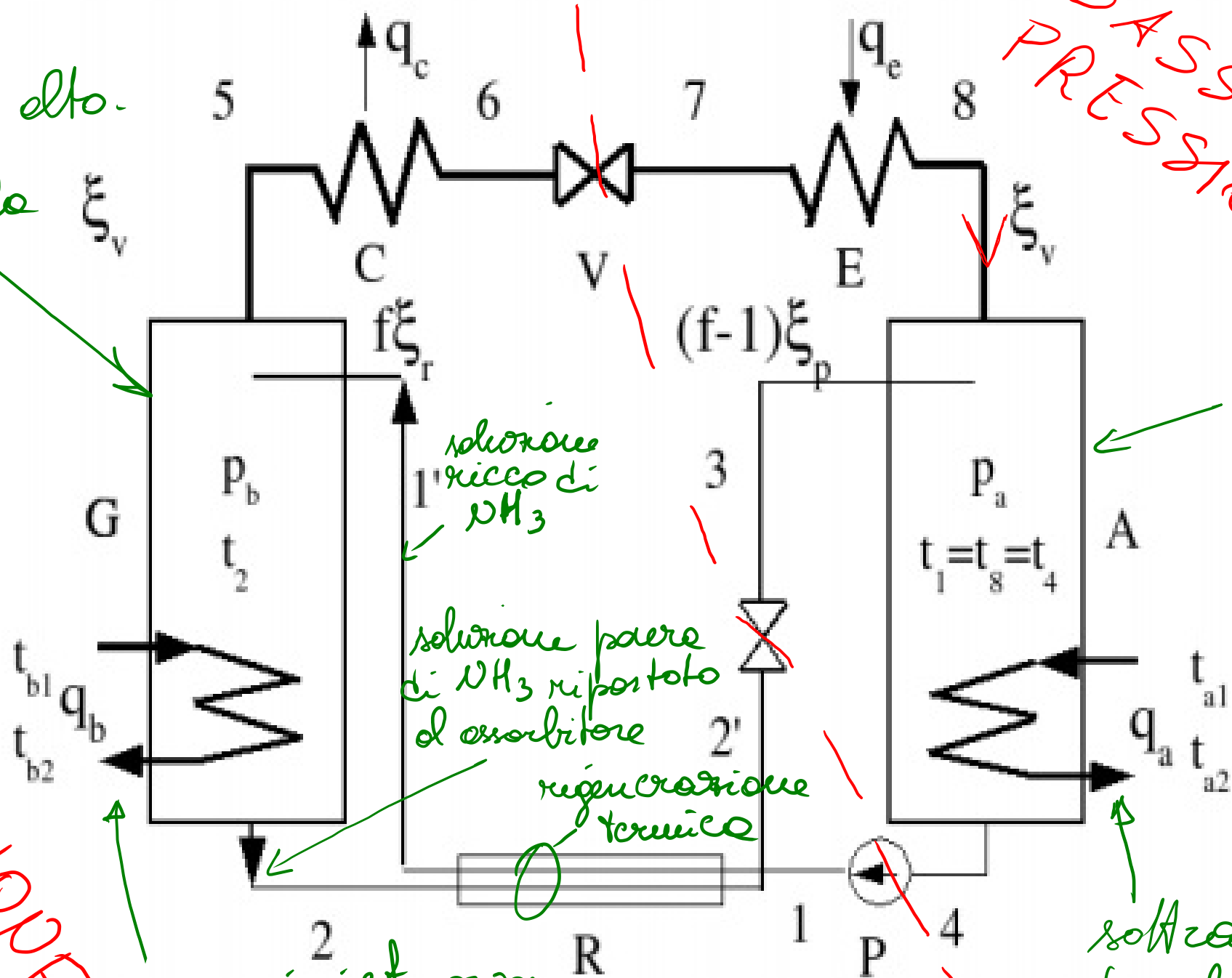
Macchina frigorifera ad assorbimento (ceevi)

- Si fornisce energia termica alla macchina, mentre la potenza elettrica/meccanica è sostanzialmente assorbita da una pompa.
- Miscela di lavoro:

Acqua / Ammoniaca	} Sostanza frigorifera in corso
BrLi / Acqua ($t > 0^\circ\text{C}$)	
- Funzionamento: rispetto ai cicli a compressione di vapore, cambia solo il compressore, che è sostituito da un gruppo **generatore/assorbente**.

Generatore (la fase alto-bollente si separa dalla miscela tramite fornitore di calore)

ALTA PRESSIONE



BASSA PRESSIONE

Assorbitore (la fase alto-bollente e' assorbita nello miscelo liquido tramite sottocorrente di calore)

sommistrazione di calore

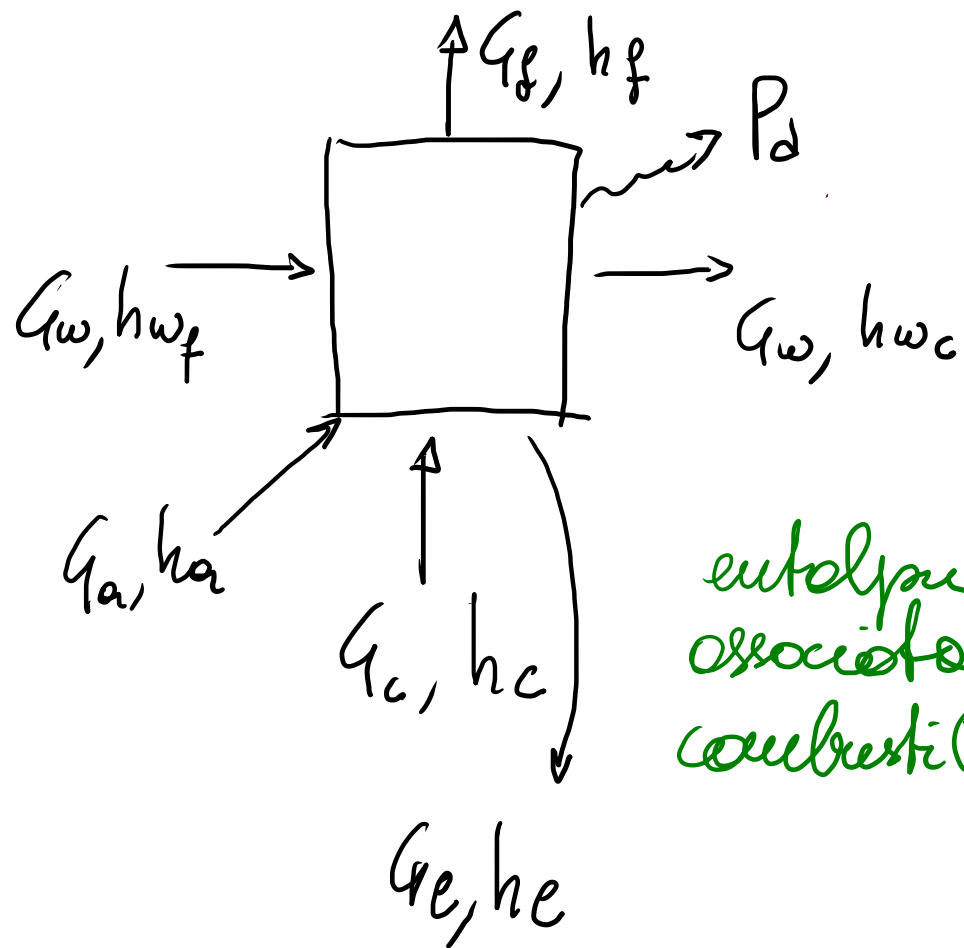
sottrazione di calore

soluzione ricca di NH3

soluzione povera di NH3 riportata dall'assorbitore

rigenerazione termica

Nota: rendimento > 100% per caldaie e condensazioni



$$G_c h_c = G_w (h_{wc} - h_{wf}) + (G_g h_g - G_a h_a) + P_d + G_e h_e$$

entolpico associato al combustibile

riscaldamento dell'acqua (è l'effetto utile)

perdite di calore

perdite per dispersione o altro - veicolo

flusso entalpico associato al condensato.

$$G_c h_c + G_a h_a - G_g h_g - G_e h_e \equiv G_c H_s$$

potere calorifico superiore del combustibile (si prevede combustione completa!)

$$Q_c H_s = Q_w (h_{wc} - h_{wf}) + P_d + P_{inc}$$

questo termine di perdita
inceneribile compare
perché nello sc ho
combustione stechiometrica.

$$\eta_c = \frac{Q_w (h_{wc} - h_{wf})}{Q_c H_s} = 1 - \frac{P_d + P_{inc}}{Q_c H_s} < 1 \quad (\text{tipicamente } > 95\%)$$

Allora perché si dice che per le caldaie a condensazione si ha $\eta_c > 100\%$??

Il fatto è che il riferimento per l'energia chimica associata al combustibile
è il potere calorifico inferiore, che non prevede la condensazione dell'umidità
presente nei fumi. Si ha:

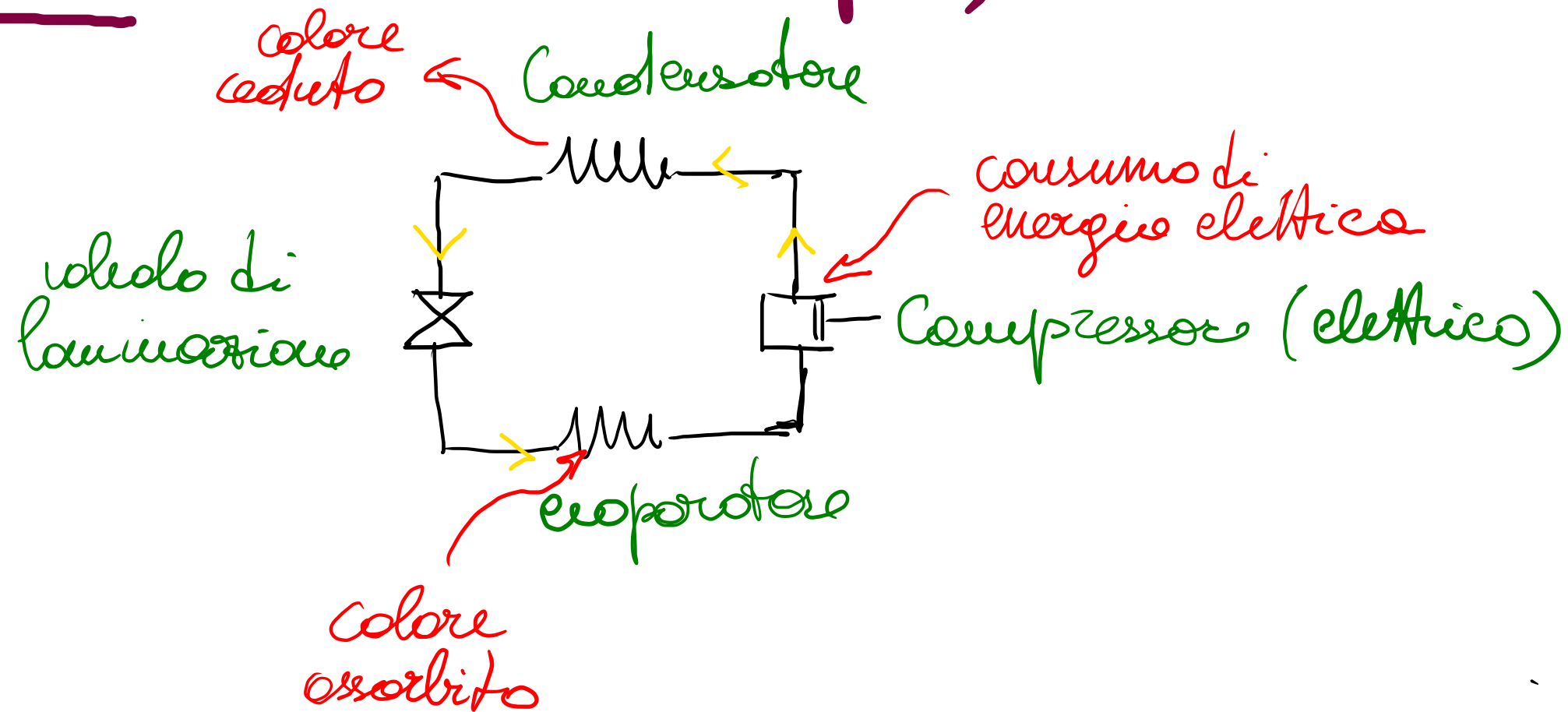
$$Q_c (H_s - H_i) = m_e r_o \Rightarrow H_i < H_s$$

Allora, definendo il rendimento di combustione come

$$\eta_c^* = \frac{Q_w (h_{wc} - h_{wf})}{Q_c H_i} = \eta_c \left(\frac{H_s}{H_i} \right)^{\uparrow \uparrow}$$

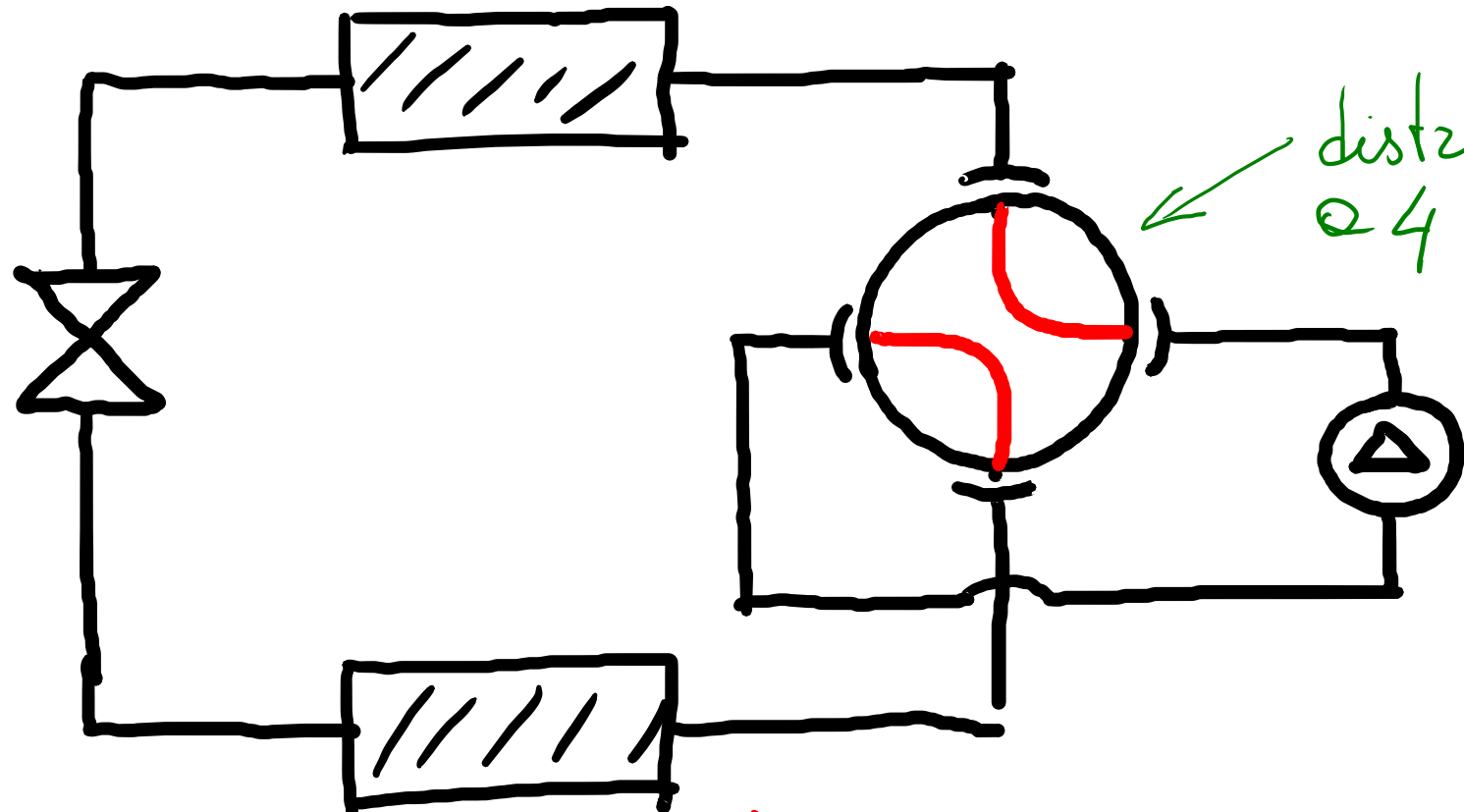
che in genere risulta > 1
per le ~~moderne~~ caldaie
a condensazione

Pompe di calore (a condensazione di vapore)



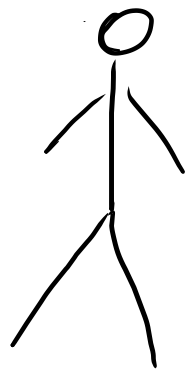
- Una pdc "produce" caldo e freddo e necessita di come la usiamo!
- funzionamento come condizionatore: evaporatore interno all'edificio
condensatore esterno all'edificio
 - funzionamento come fonte di calore: si invertano i ruoli di condensatore ed evaporatore.

condensatore



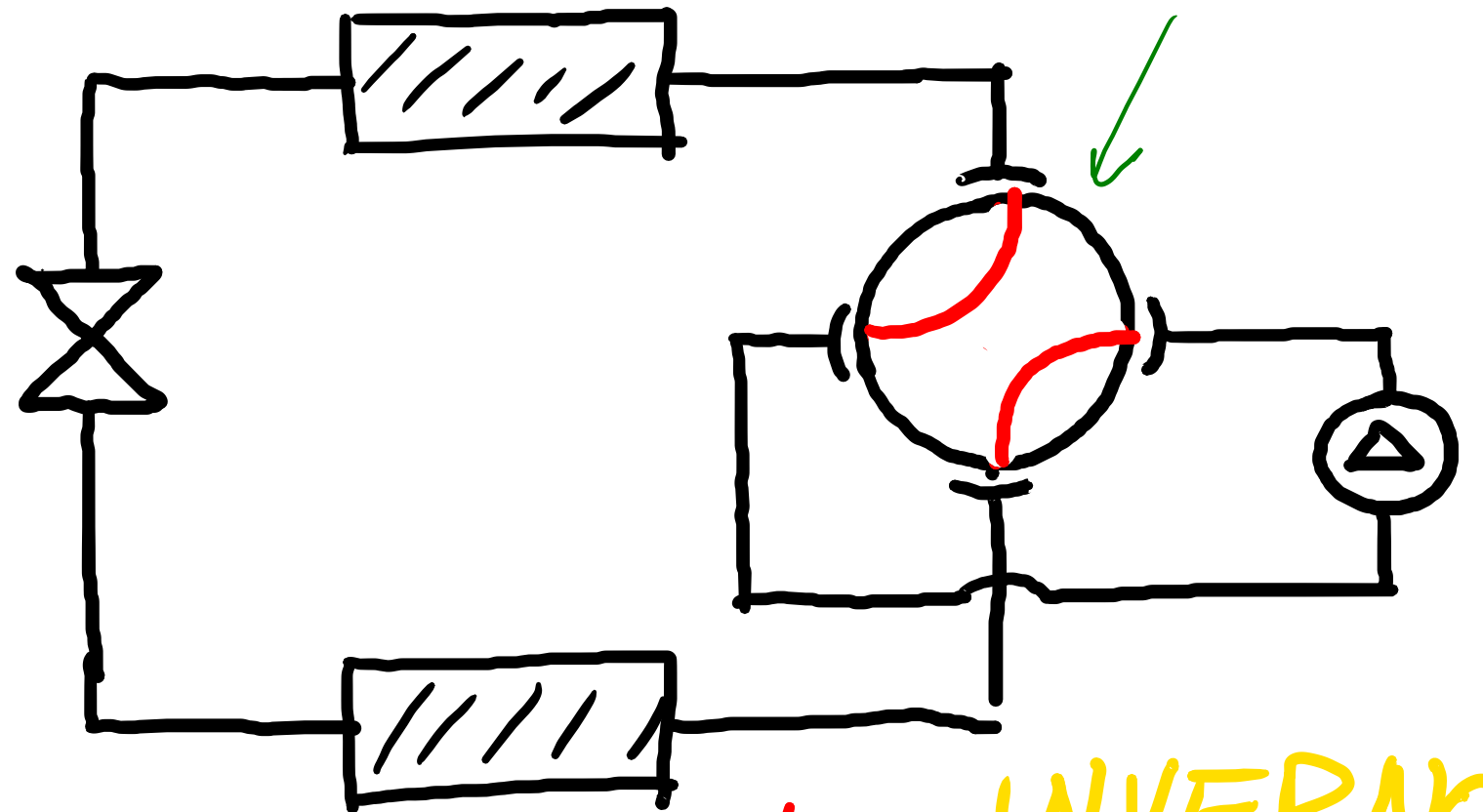
distributore di flusso
a 4 vie

evaporatore



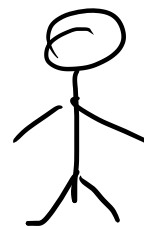
ESTATE

evaporatore



distributore
ruotato di 90°

condensatore



INVERNO

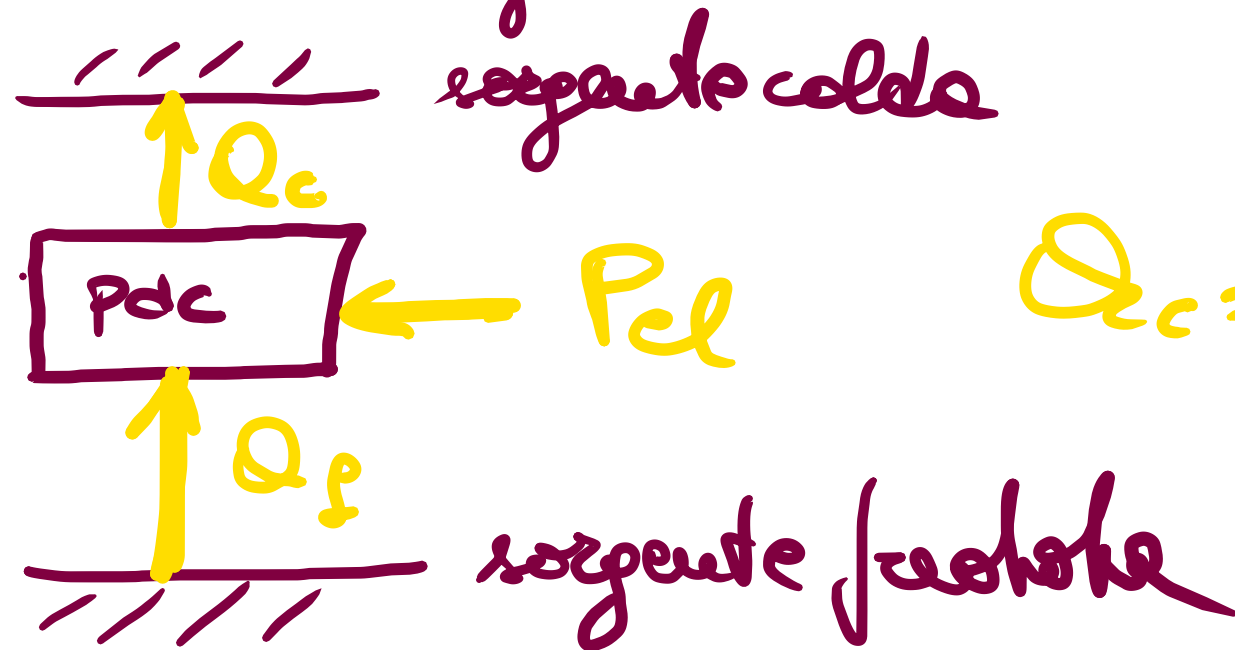
COP per pompe di calore:

$$\text{COP}_f = \frac{\text{"freddo prodotto"}}{\text{energia elettrica "consumata"}}$$

per funzionamento
come condizionatore

$$\text{COP}_c = \frac{\text{"caldo prodotto"}}{\text{energia elettrica "consumata"}}$$

per funzionamento
in riscaldamento



$$Q_c = P_{el} + Q_f;$$

$$\text{COP}_f = \frac{Q_f}{P_{el}}$$

$$\text{COP}_c = \frac{Q_c}{P_{el}} = 1 + \text{COP}_f$$

Classi Efficienza Energetica Pompe di Calore secondo la direttiva europea 2002/31/CE:

(in riscaldamento)

A (migliore) COP > 3,60

B 3,60 = COP > 3,40

C 3,40 = COP > 3,20

D 3,20 = COP > 2,80

E 2,80 = COP > 2,60

F 2,60 = COP > 2,40

G (peggiore) 2,40 = COP

Massimo possibile (ciclo di Carnot)

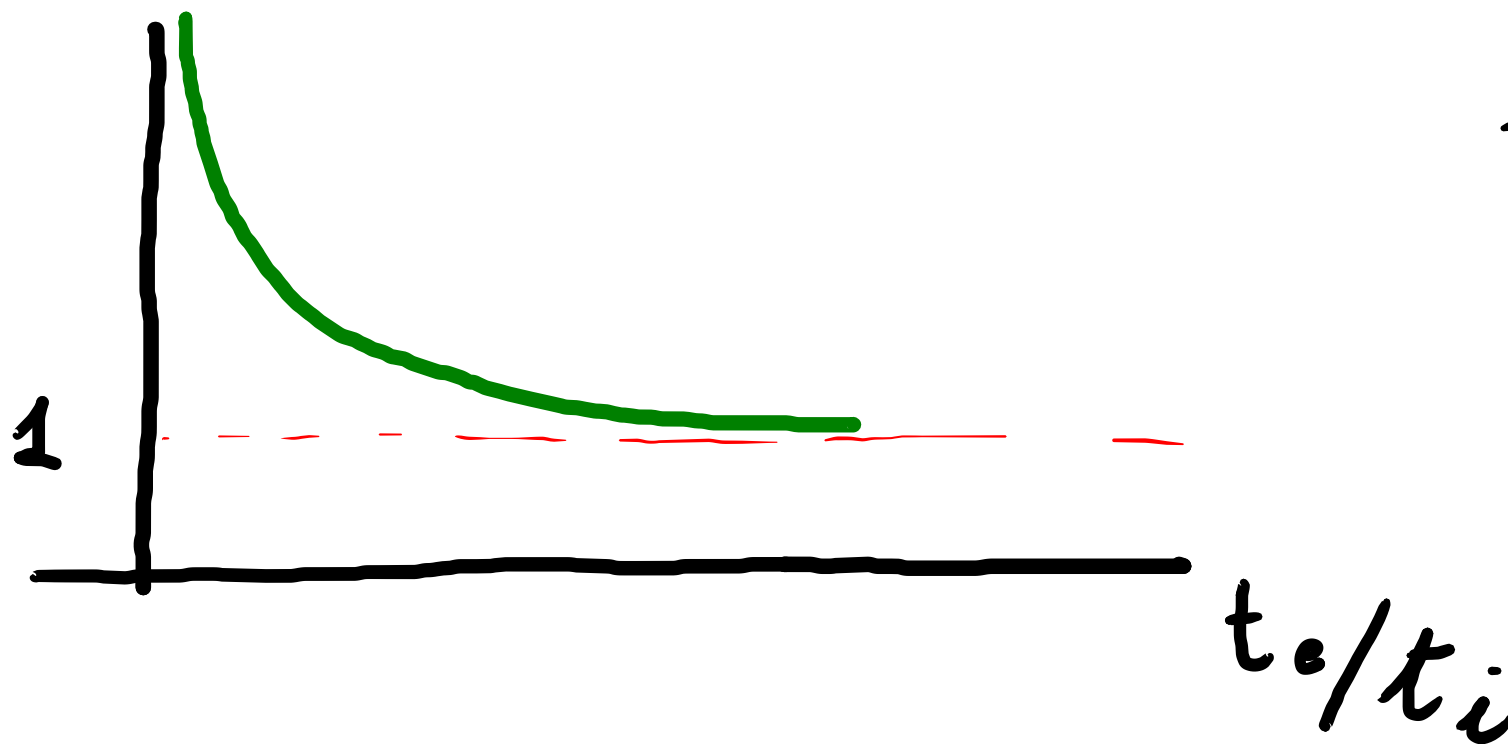
Dipendenza del COP dalle temperature:

$$COP_c =$$

$$\frac{T_c}{T_c - T_g}$$

$$= \frac{1}{1 - T_g/T_c}$$

COP_c



Per garantire elevati COP bisogna operare con ridotte differenze di temperatura tra evaporatore e condensatore. Quindi:

- ▷ P.d.C. vanno bene per climi temperati (in alternativa: p.d.c. geotermica)
- ▷ P.d.C. devono essere accoppiati a sistemi di distribuzione del calore a bassa temperatura ($< 45^\circ\text{C}$)
 - \Rightarrow pavimento radiante
 - \Rightarrow v. collettori ad ampia superf. di scambio
 - \Rightarrow ~~radiatori~~ ($t_w: \sim 70^\circ\text{C}$!! T_{zollo} alto!)

Nota: le pdc costituiscono veramente "fonte rinnovabile"?

1) In generale NO, perché consumano energia elettrica prodotta, in larga misura, utilizzando fonti non rinnovabili.

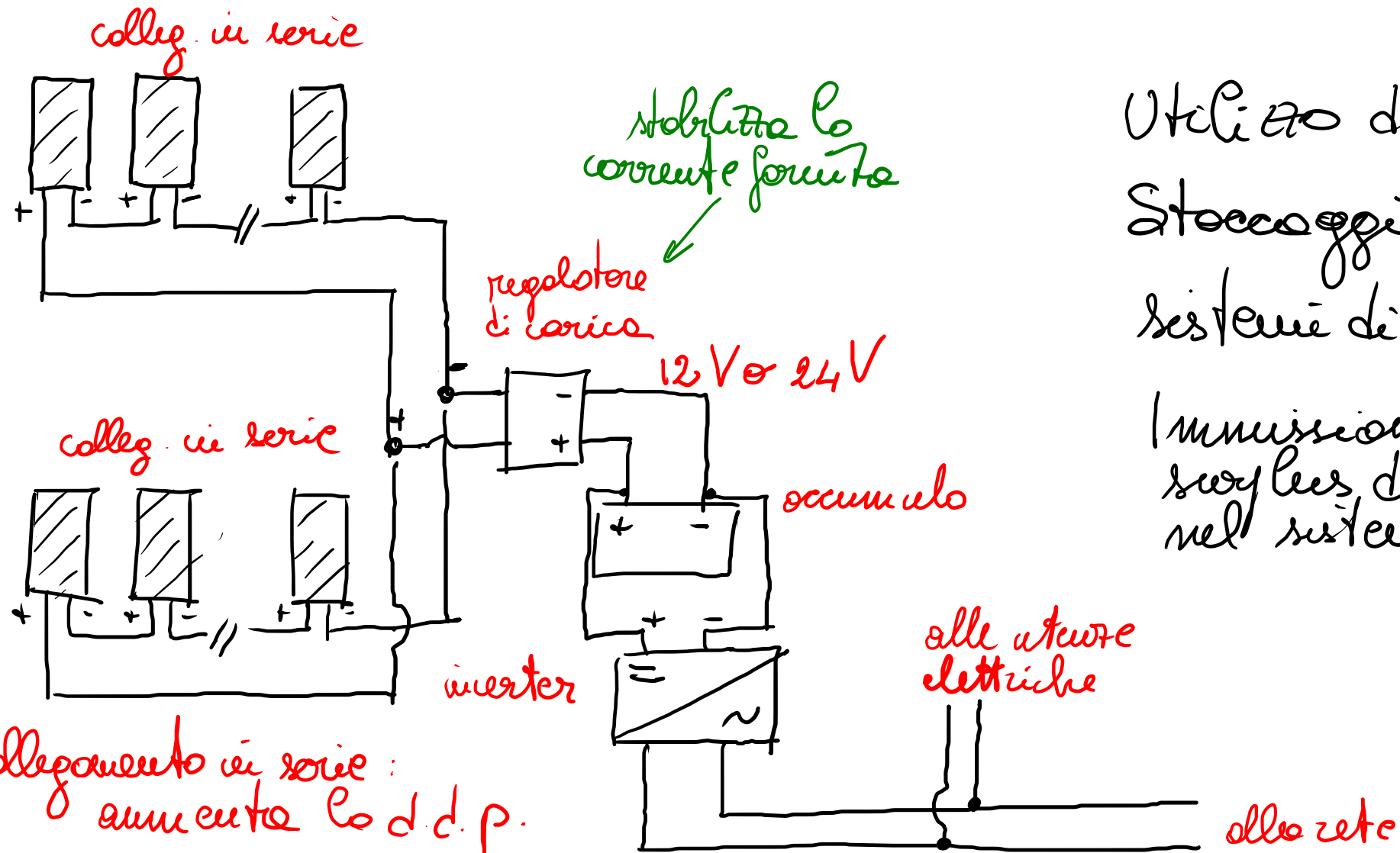
$$2) \eta = \text{COP}_e \times \eta_{\text{el}} \approx (3-4) \times 0,44 \sim 1,3 - 1,8$$

Per il funzionamento in modalità condizionatore, il rendimento energetico completo del sistema può essere < 1 .

$$\approx (2-3) \times 0,44 \sim 0,9 - 1,2$$

Fotovoltaico

Radiazione solare → pannelli fotovoltaici costituiti da materiali semi-conduttori → Corrente continua



Utilizzo diretto
Stoccaggio in sistemi di accumulo
Immissione del surplus di energia elettrica nel sistema elettrico nazionale

↓
Inverter
↓
Corrente alternata

• Collegamento in serie:
aumenta la d.d.p.

• Collegamento in parallelo:
aumenta la corrente

Perdite:

▷ Inverter: ~ 8%

▷ Componenti elettrici: ~ 2%

▷ Collegamenti in serie di fili paralleli: ~ 3%

▷ Durata dei pannelli: garantito per 10-15-20 anni

Reclutamento di un impianto fotovoltaico:

$$\varepsilon \approx \frac{P_{el} [W]}{A [m^2] \times 1000} \times 100 (\%) \quad \text{Formula empirica}$$

Es: $P_{el} = 3 \text{ kW}$
 $A = 25 \text{ m}^2$

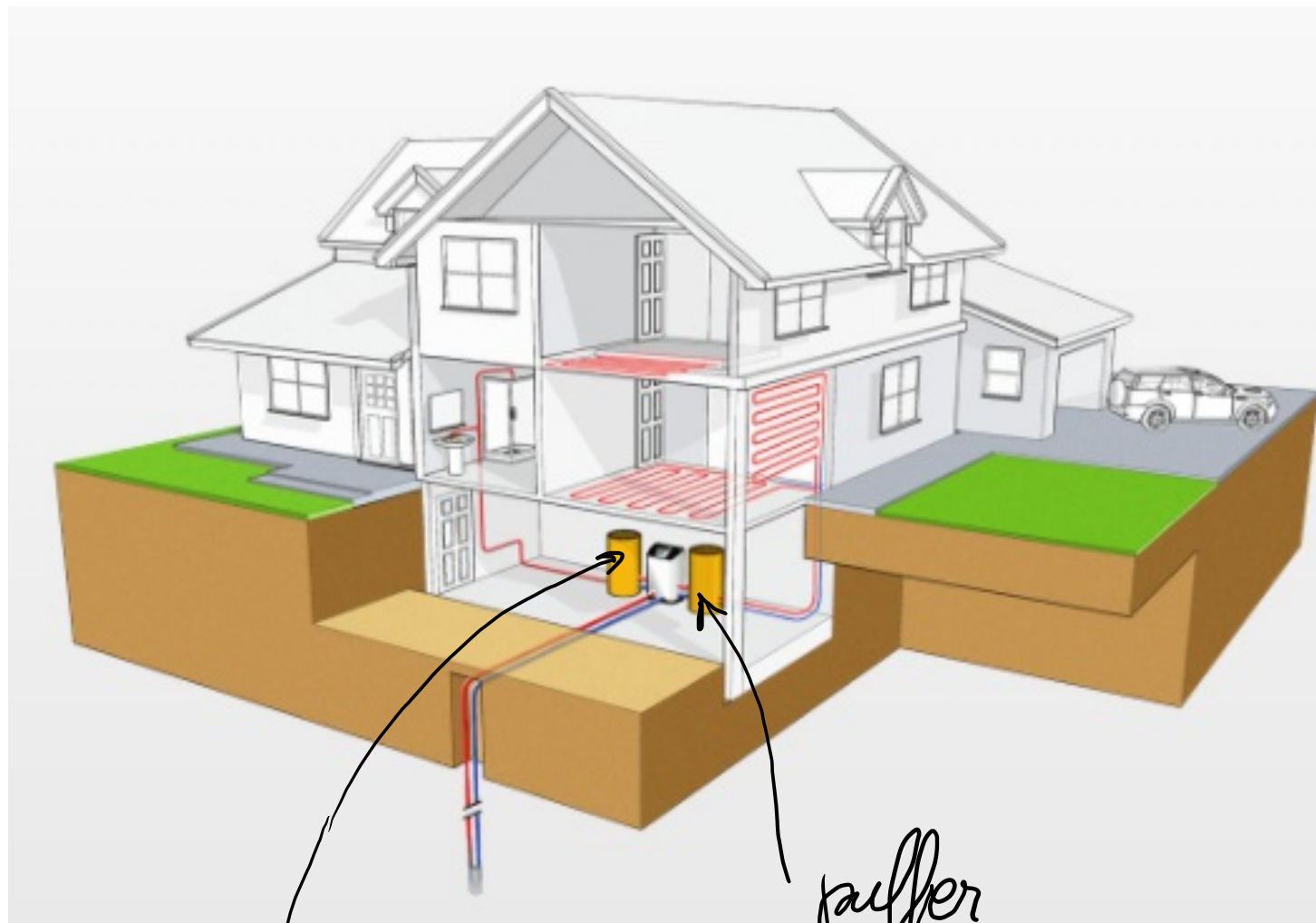
$$\varepsilon \approx \frac{3000}{25 \times 1000} \times 100 = 12\%$$

è ~ irradianza
su superf. normale ai raggi
solari con cielo sereno

Geotermia

- Obiettivo: ridurre il rapporto tra temperatura di condensazione e temperatura di evaporazione delle pdc.
- Si sfrutta il sottosuolo, che ha temperatura \approx costante al di sotto dei 12 m
- Diverse opzioni:
 - Scambio termico con il terreno $\begin{cases} \rightarrow$ horizontal \rightarrow vertical
 - Utilizzo diretto acque di falda (re-iniettate o meno)
 - Utilizzo diretto acque superficiali (laghi / fiumi / mare)

Geotermico verticale



ballitore

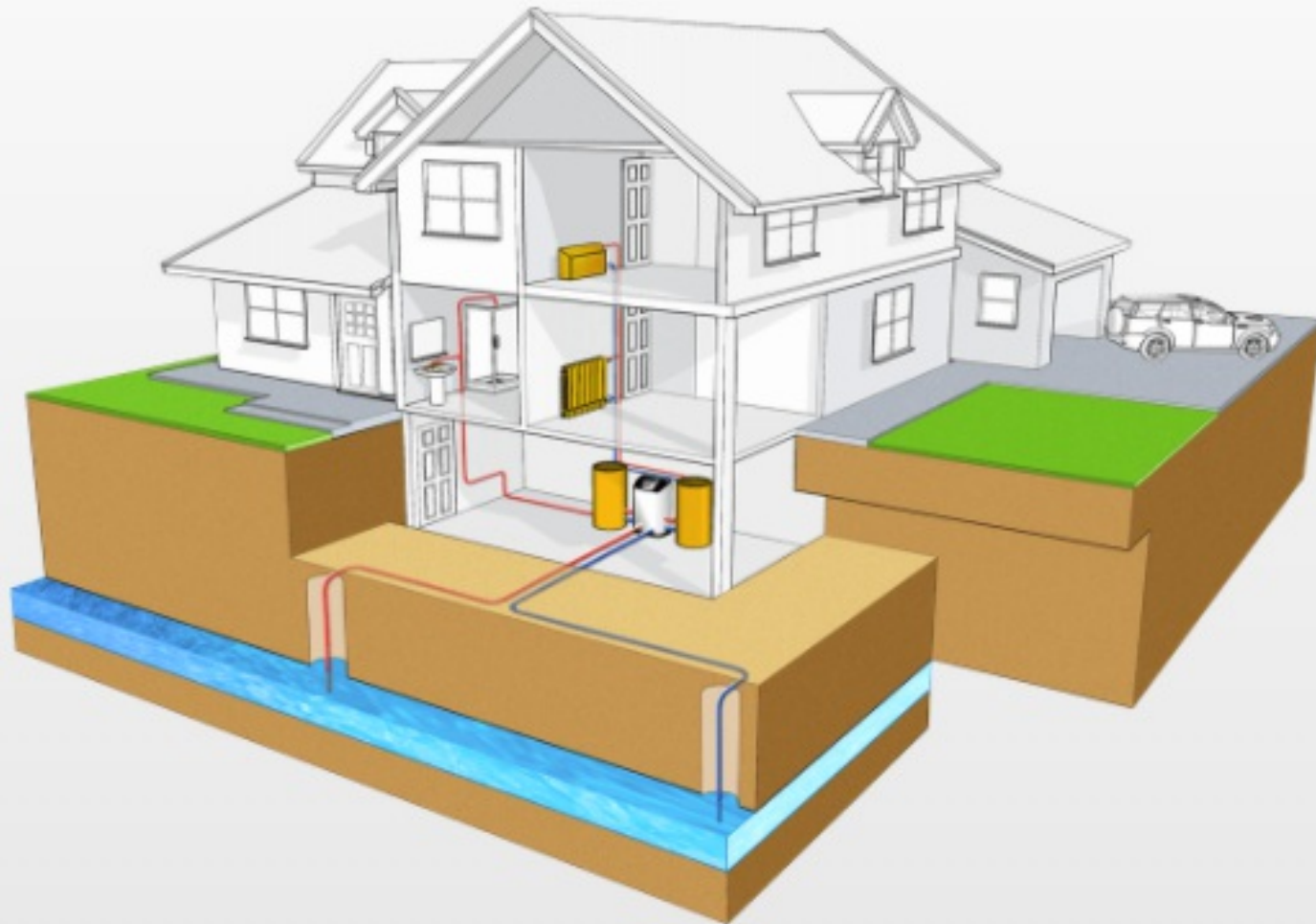
puffer

La **sonda verticale** è il tipo di collettore geotermico più costante perché beneficia del fatto che superati i 10/15 metri di profondità la temperatura del terreno rimane stabile intorno ai 10°C per tutto l'anno. Sfruttare questa energia costante permette di avere i migliori rendimenti, sia in inverno per riscaldare sia in estate per raffrescare.

Le perforazioni, profonde in media 100/150 m, hanno un diametro di appena 15 cm. Le sonde geotermiche sono composte da 2 o 4 tubi a U che scendono e risalgono in un circuito chiuso contenente un fluido termovettore.

L'estensione del campo sonde (l'insieme delle sonde geotermiche) viene dimensionato in funzione del fabbisogno energetico e alla resa termica del sottosuolo del sito interessato.

IDROTERMICO

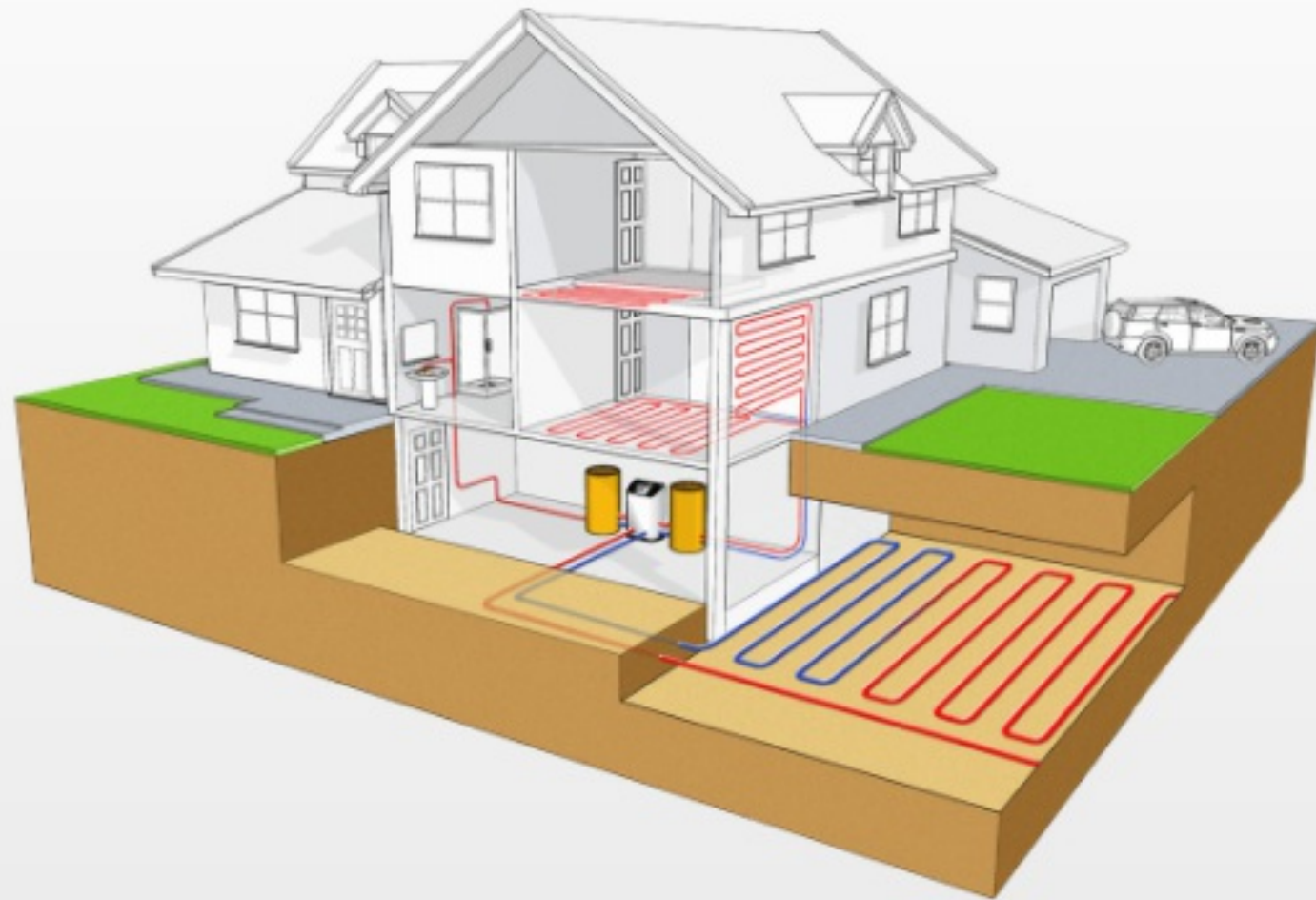


Nelle aree geografiche in cui sono presenti **falde acquifere stabili** e a profondità limitate, molto frequenti nella Pianura Padana, è possibile utilizzare direttamente l'acqua di falda come vettore termico primario.

L'**impianto idrotermico**, o a circuito aperto, è vantaggioso in termini di efficienza, dato che la temperatura dell'acqua di falda è normalmente costante tutto l'anno. I costi iniziali di realizzazione dell'impianto si riducono notevolmente, specie per impianti di medie o grandi dimensioni.

L'acqua prelevata, utilizzata e reimpressa in falda, non è in alcun modo alterata chimicamente.

GEOTERMICO ORIZZONTALE



Quando è disponibile un'ampia area verde limitrofa all'edificio, può essere valutata l'applicazione di questa soluzione a **sonde orizzontali**.

Questa scelta consente di contenere il costo iniziale per la realizzazione del campo sonde, in quanto non è richiesto l'uso di macchine e attrezzature specifiche. Le sonde vengono posate ad una profondità limitata, pertanto in esercizio l'impianto risentirà inevitabilmente dell'oscillazione stagionale della temperatura del terreno, tuttavia manterrà una buona efficienza.

La superficie verde occupata da un sistema a sonde orizzontali è, indicativamente, doppia rispetto alla superficie da riscaldare nell'edificio. Servono circa 25 mq per prelevare 1 kW.