

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Dipartimento di Ingegneria Industriale

Michele De Carli

Padova, 05/12/2012

L'approccio di calcolo semianalitico: la lunghezza totale di scambio

Convegno:

La Ricerca di Sistema e le linee-guida
per la progettazione dei campi geotermici
per pompe di calore a terreno

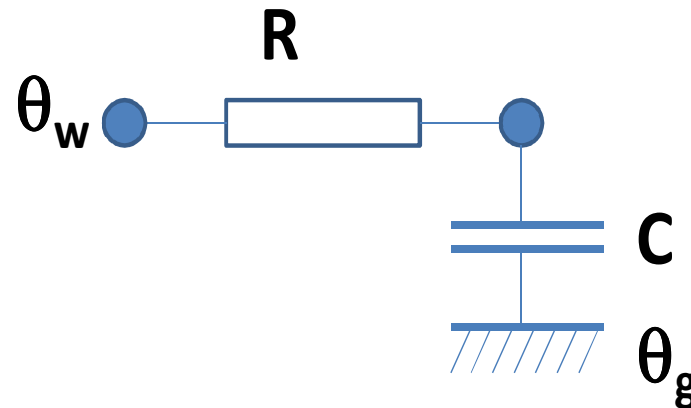
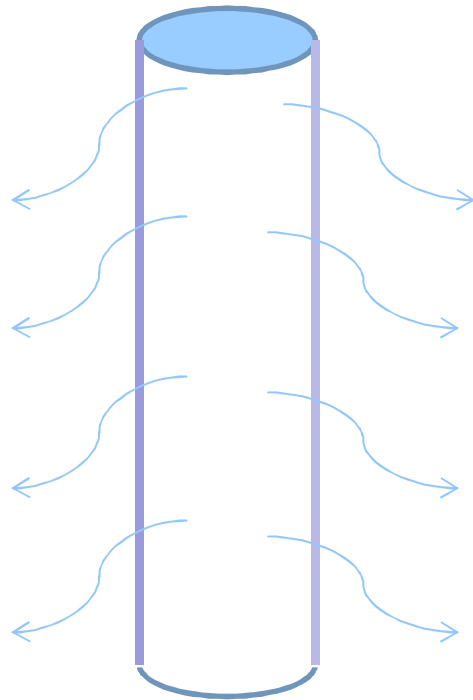


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Di
Dipartimento di
Ingegneria Industriale

L'approccio di calcolo semianalitico:
la lunghezza totale di scambio

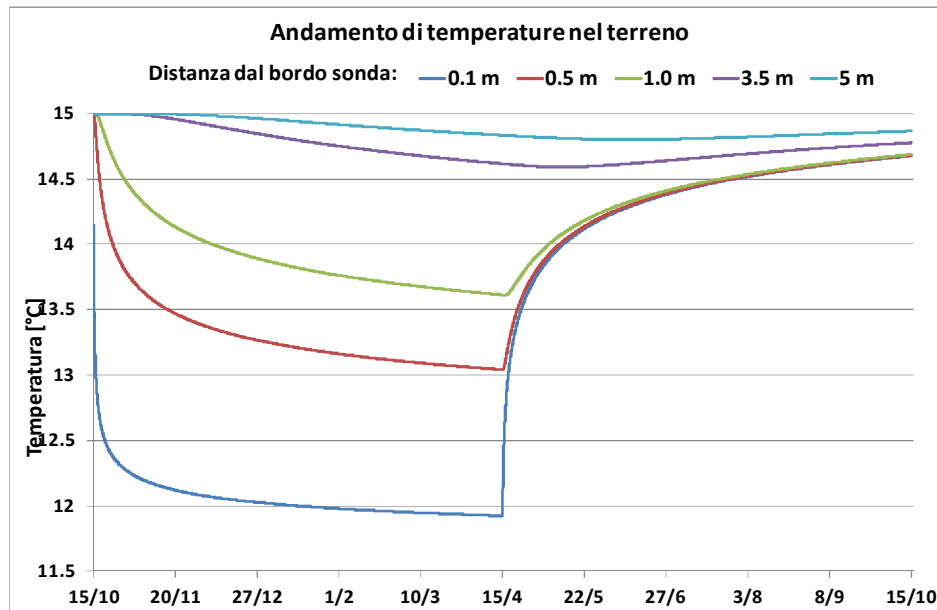
SCHEMA DI SCAMBIO TERMICO DI UNA SONDA



**E' un problema sostanzialmente
di capacità termica del terreno.**



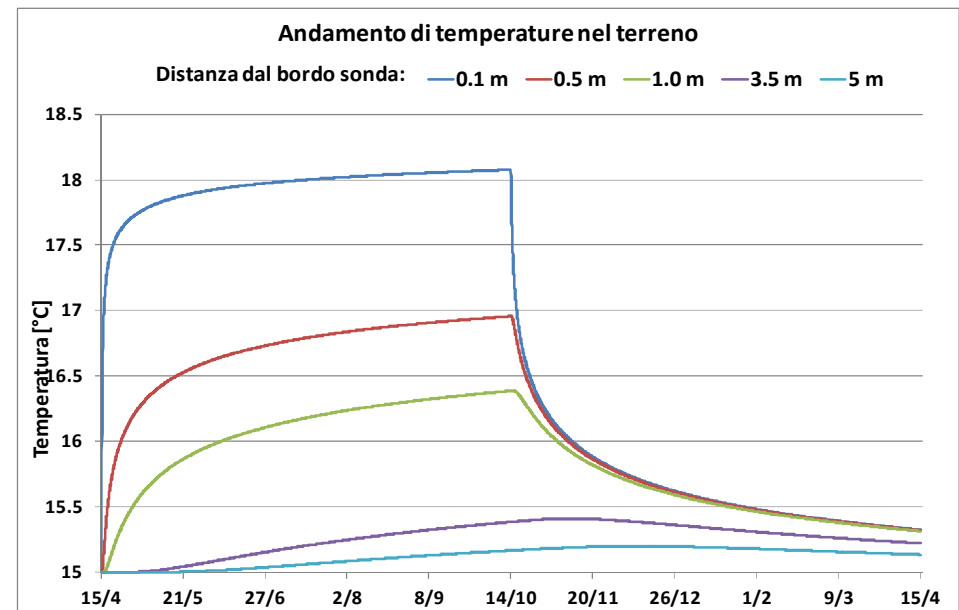
ALCUNI ESEMPI DI ANDAMENTI DI TEMPERATURE NEL TERRENO



← **Ipotesi di
funzionamento in
solo riscaldamento**

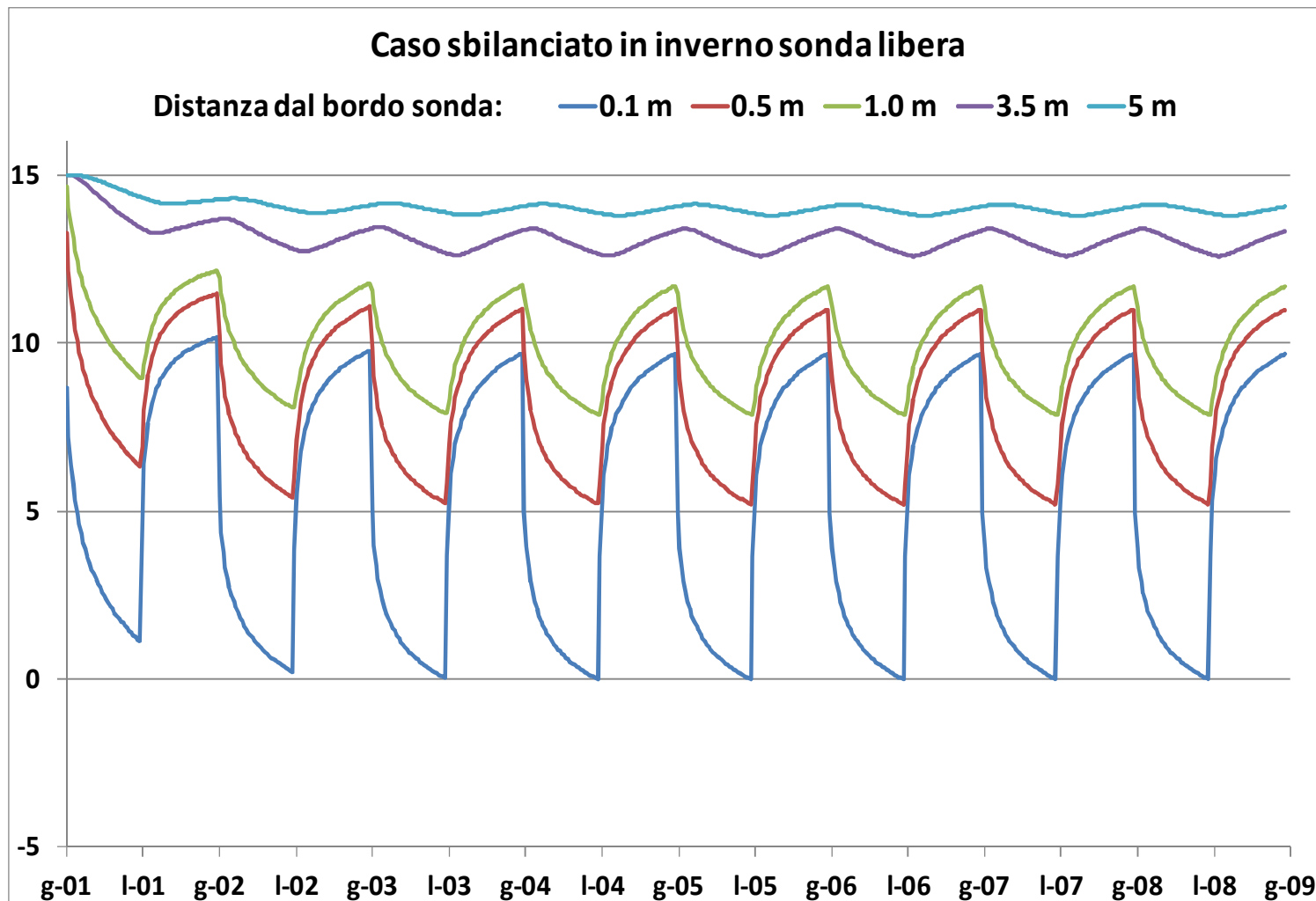
**Ipotesi di
funzionamento in
solo raffreddamento**

↗



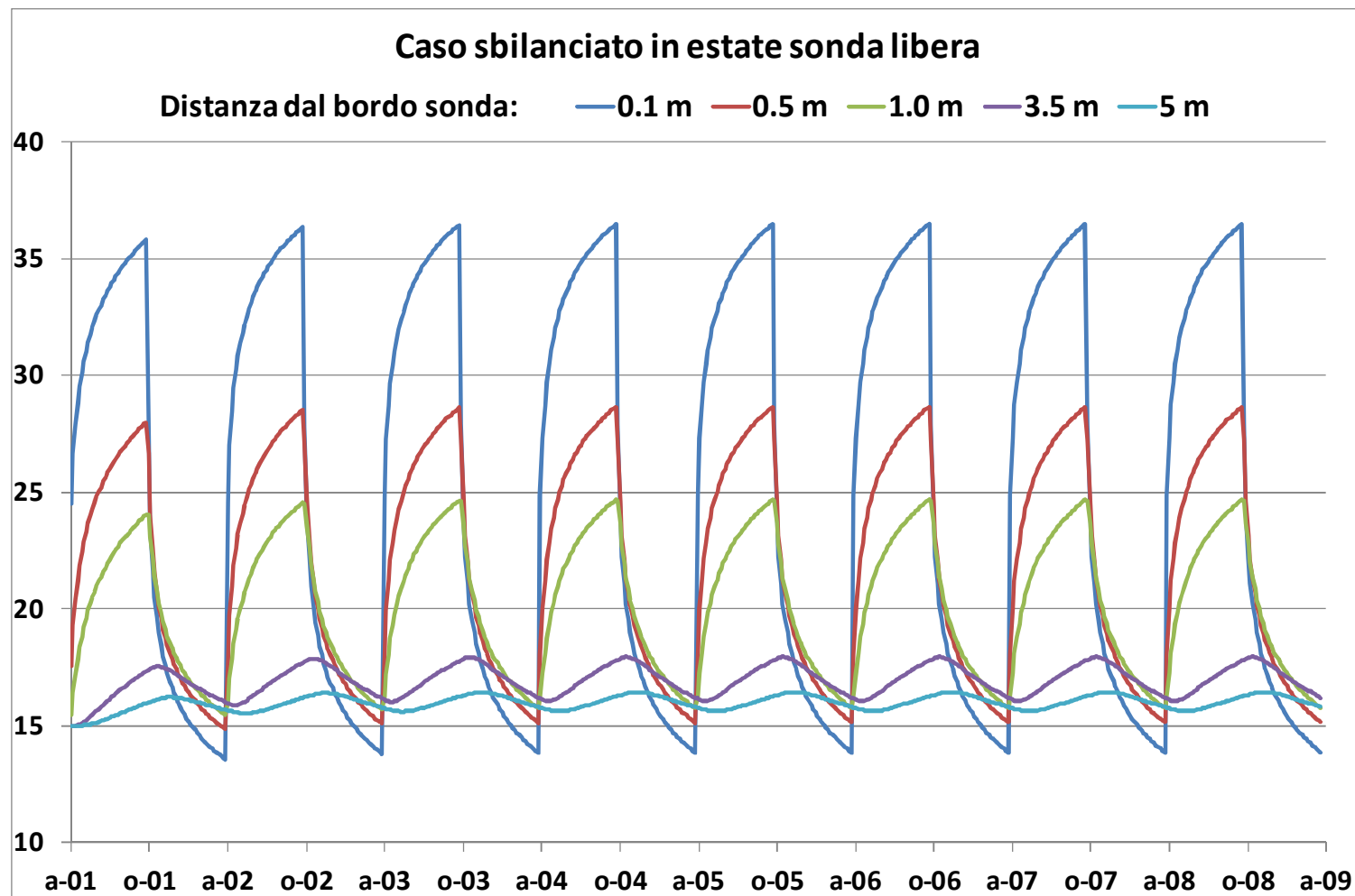


CASO SBILANCIATO IN RISCALDAMENTO



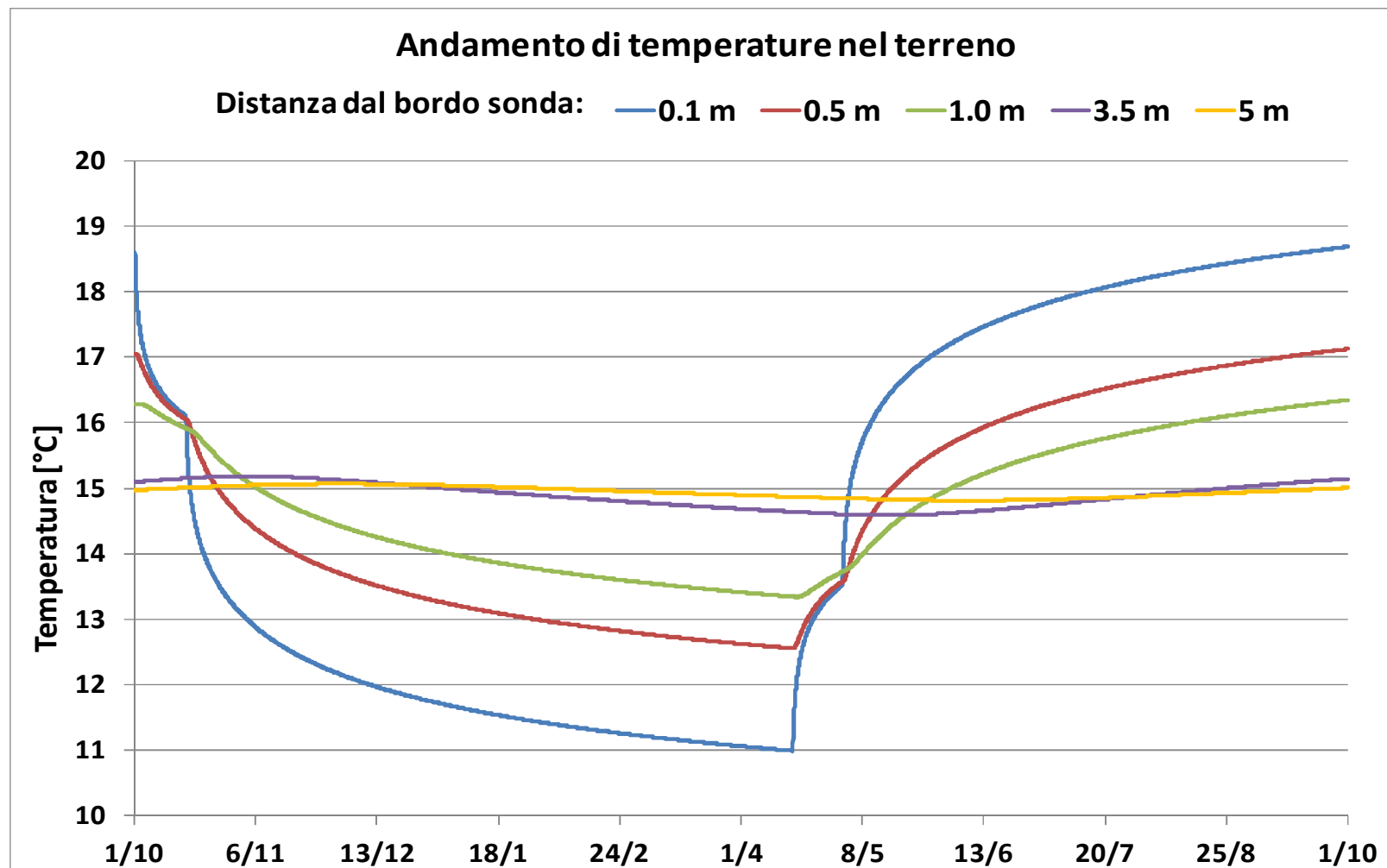


CASO SBILANCIATO IN RAFFRESCAMENTO





CASO BILANCIATO





Dati di input

- **Energia invernale richiesta dall'edificio e numero di giorni di riscaldamento**
- **Energia estiva richiesta dall'edificio e numero di giorni di raffrescamento**
- **Dati di targa della pompa di calore COP/GUE ed EER/GUE**
- **Dati del terreno**

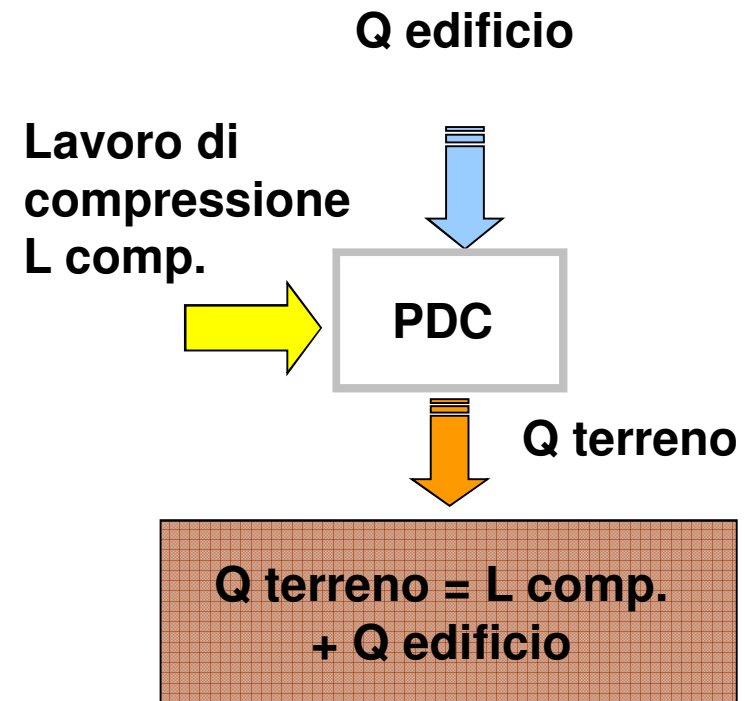
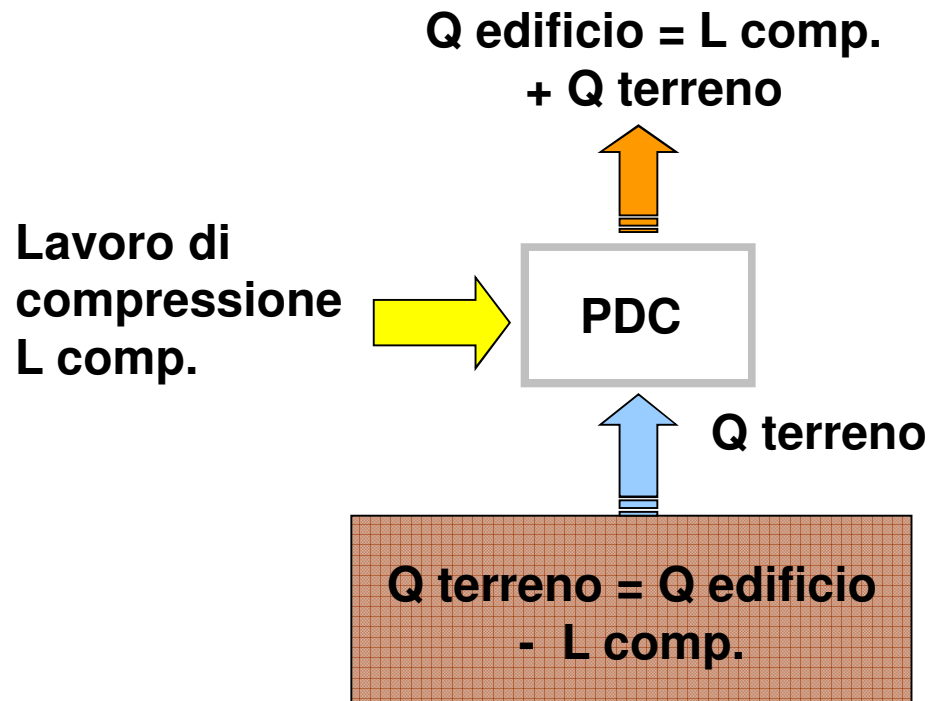
Osservazione

- **Si fa riferimento alla temperatura media dell'acqua in sonda**

$$\bar{\theta}_w = \frac{\theta_{wi} + \theta_{wo}}{2}$$



COSA CAMBIA TRA FUNZIONAMENTO INVERNALE ED ESTIVO





Possibili casi

	E_t/E_c		
	< 1,00	compreso tra 1,00 e 1,30	>1,30
Parametro da controllare	Temperatura massima estiva	Temperatura massima estiva e minima invernale	Temperatura minima invernale



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



L'approccio di calcolo semianalitico:
la lunghezza totale di scambio

Simulazioni parametriche mediante codici dettagliati 1/3

Valori derivanti da calcoli per rapporto $E_h / E_c = 2,40$

	Dimensionamento ottimale		Scambiatore sottodimensionato*	
	inverno	estate	inverno	estate
media stagionale	10,2	17,7	8,2	19,4
massima		20,7		24,3
minima	6,3		2,4	



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Di
Dipartimento di
Ingegneria Industriale

L'approccio di calcolo semianalitico:
la lunghezza totale di scambio

Simulazioni parametriche mediante codici dettagliati 2/3

Valori derivanti da calcoli per rapporto $E_h / E_c = 1,22$

	Dimensionamento ottimale		Scambiatore sottodimensionato*	
	inverno	estate	inverno	estate
media stagionale	10,2	23,2	9,0	27,2
massima		30,8		39,0
minima	5,5		2,8	



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Di
Dipartimento di
Ingegneria Industriale

L'approccio di calcolo semianalitico:
la lunghezza totale di scambio

Simulazioni parametriche mediante codici dettagliati 3/3

Valori derivanti da calcoli per rapporto $E_h / E_c = 0,60$

	Dimensionamento ottimale		Scambiatore sottodimensionato	
	inverno	estate	inverno	estate
media stagionale	13,4	24,7	13,4	26,8
massima		33,1		37,1
minima	10,8		10,5	



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Di
Dipartimento di
Ingegneria Industriale

L'approccio di calcolo semianalitico:
la lunghezza totale di scambio

Dati raccomandati per il metodo semplificato

Scambiatori al terreno propriamente dimensionati

	E_h/E_c					
	<1,00		compreso tra 1,00 e 1,30		>1,30	
	Inverno	estate	inverno	estate	inverno	estate
θ_w temperatura media stagionale	-	23	8,5	22,0	9,0	-
$\Delta\theta_w$ scostamento rispetto al valore medio stagionale	-	8	-4,0	7,0	-5,0	-



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

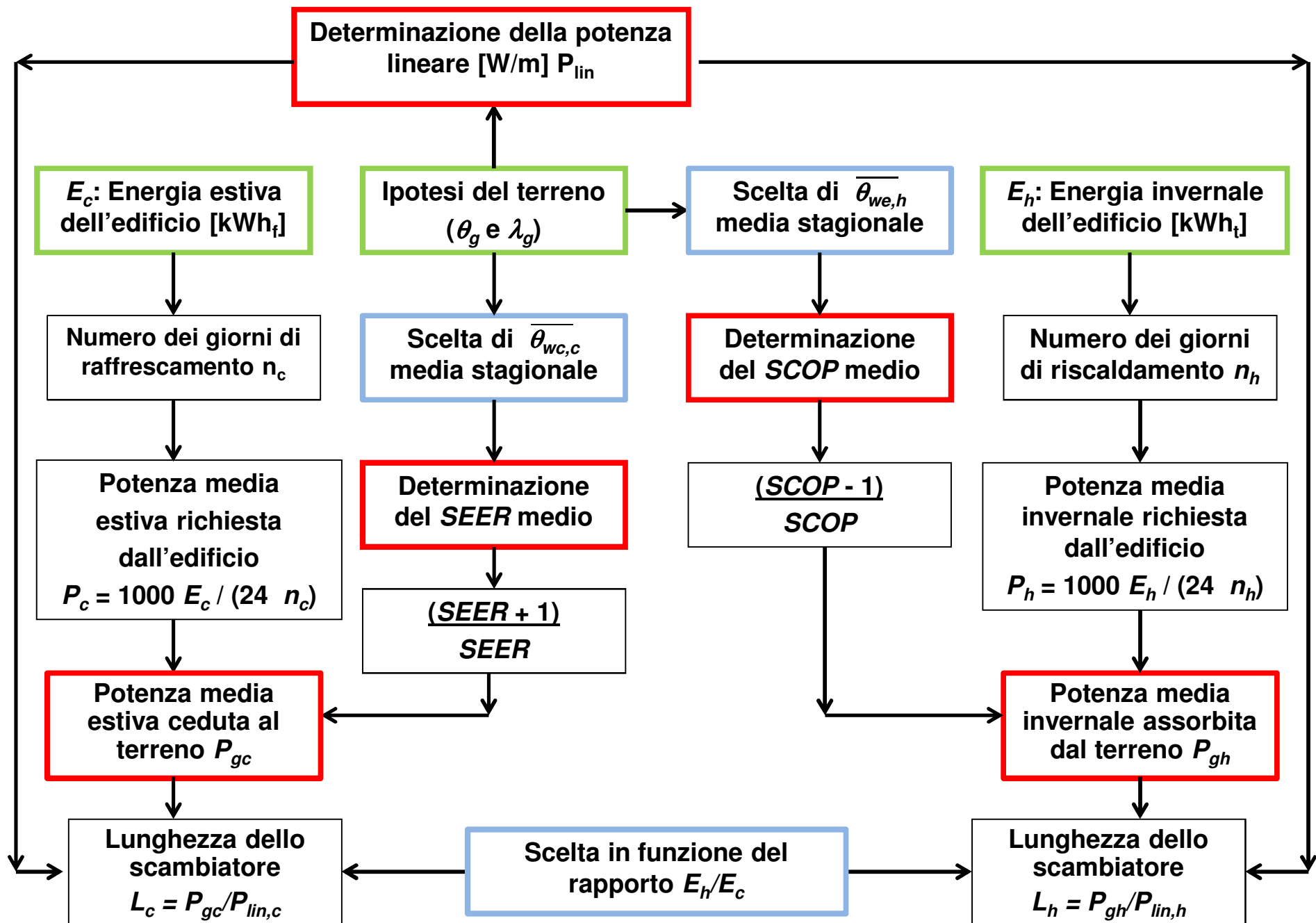
Di
Dipartimento di
Ingegneria Industriale

L'approccio di calcolo semianalitico:
la lunghezza totale di scambio

Dati raccomandati per il metodo semplificato

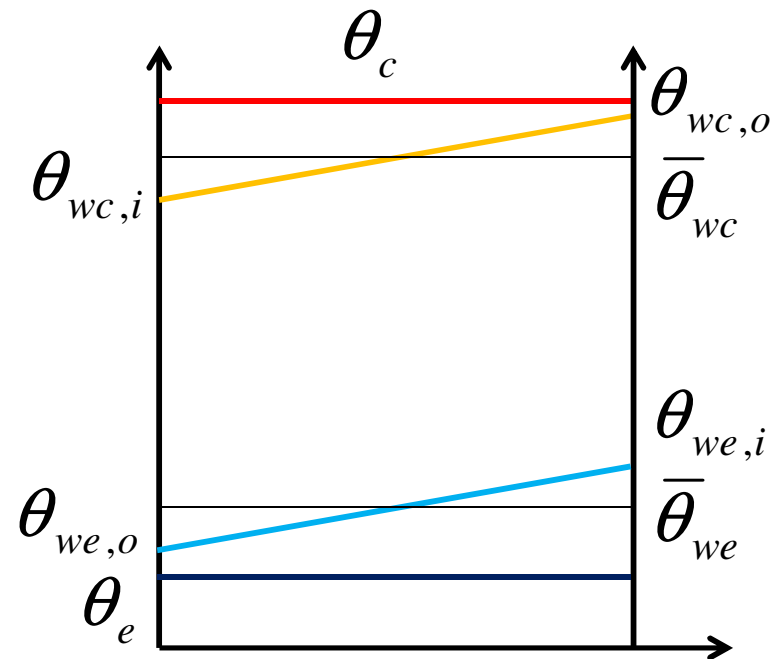
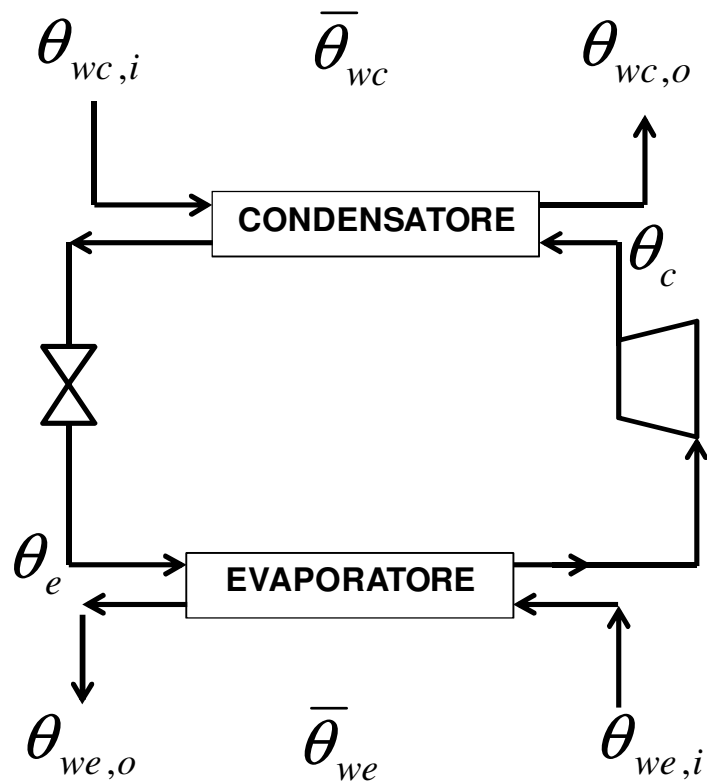
Scambiatori al terreno sottodimensionati

	E_h/E_c					
	<1,00		compreso tra 1,00 e 1,30		>1,30	
	Inverno	estate	inverno	estate	inverno	estate
θ_w temperatura media stagionale	-	27	7,0	25,0	7,0	-
$\Delta\theta_w$ scostamento rispetto al valore medio stagionale	-	10	-6,0	10,0	-6,0	-





$$\theta_c = \bar{\theta}_{wc} + \Delta\theta_c$$



$$\theta_e = \bar{\theta}_{we} - \Delta\theta_e$$



Efficienza ideale medio stagionale

$$COP_C = \frac{273,15 + \theta_c}{\theta_c - \theta_e} \quad EER_C = \frac{273,15 + \theta_e}{\theta_c - \theta_e} \quad \text{Cicli di Carnot}$$

Vanno calcolati in condizione di targa
($TCOP_C$, $TEER_C$)

E in condizioni medie di esercizio, alle temperature decise
di evaporazione e condensazione ($SCOP_C$, $SEER_C$)

$$SEER = TEER \frac{SEER_C}{TEER_C} \quad SCOP = TCOP \frac{SCOP_C}{TCOP_C}$$



Calcolo calore ceduto/assorbito dal terreno

Calore assorbito dal terreno in inverno

$$P_h = \frac{1000 \cdot E_h}{24 \cdot n_h} \longrightarrow P_{hg} = P_h \frac{SCOP - 1}{SCOP}$$

Calore ceduto al terreno in estate

$$P_c = \frac{1000 \cdot E_c}{24 \cdot n_c} \longrightarrow P_{cg} = P_c \frac{SEER + 1}{SEER}$$



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

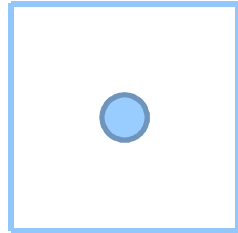


L'approccio di calcolo semianalitico:
la lunghezza totale di scambio

Scambio di calore sonde-terreno

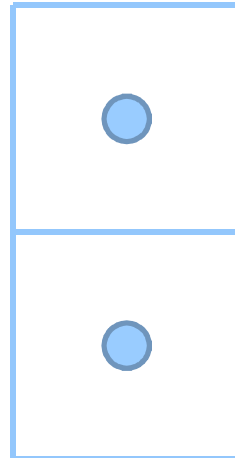
Dipende da:

- **Conducibilità termica del terreno**
- **Temperatura media del terreno**
- **Distribuzione delle sonde nel terreno**

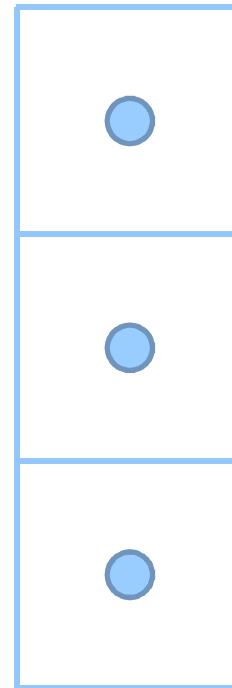


**Tutti i lati liberi
(100%)**

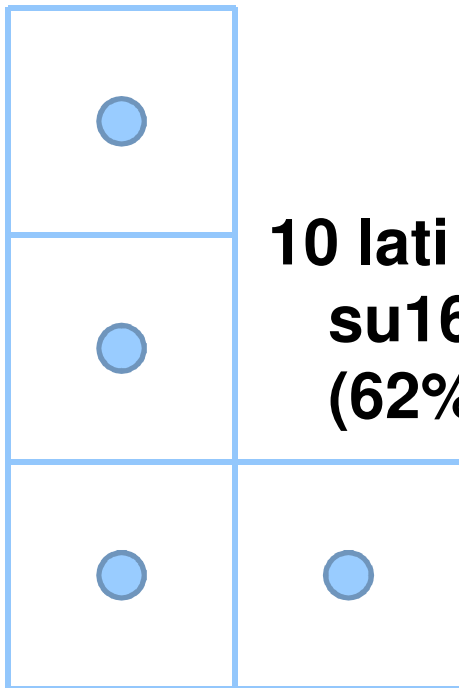
**6 lati liberi su 8
(75%)**



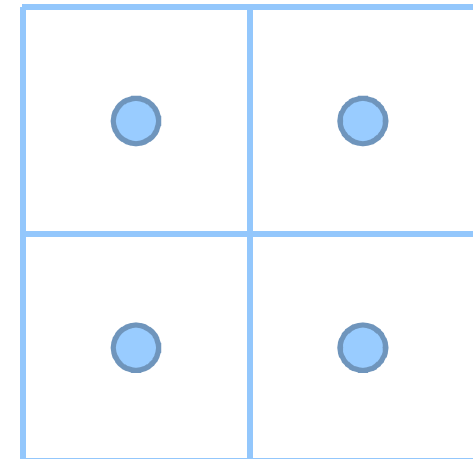
**8 lati liberi
su 12
(67%)**



**10 lati liberi
su 16
(62%)**



Geometria del campo sonde

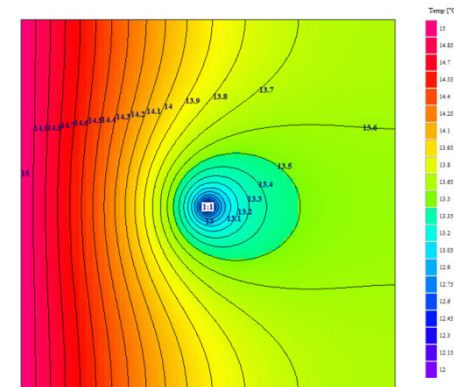
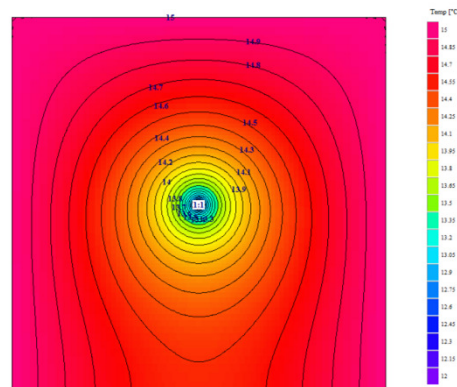


**8 lati liberi
su 16
(50%)**



Coefficienti di scambio termico lineare C_{lin} [W/(m K)]

Frazione di perimetro di scambio termico	Conducibilità termica del terreno λ_g [W/(m K)]		
	1,5	2,0	2,5
100%	1,55	1,93	2,28
75%	1,51	1,89	2,23
50%	1,39	1,75	2,07
25%	1,18	1,49	1,78





$$P_{lin,h} = C_{lin} \cdot (\bar{\theta}_{we,h} - \theta_g)$$



$$L_h = P_{hg} / P_{lin,h}$$

$$P_{lin,c} = C_{lin} \cdot (\bar{\theta}_{wc,c} - \theta_g)$$



$$L_c = P_{cg} / P_{lin,c}$$

Scelta in funzione del rapporto E_h / E_c

