

Indice

Prefazione	VII
Capitolo 1 – Introduzione ai sistemi geotermici	
1.1 Le risorse geotermiche.	1
1.2 Sistemi geotermici a bassa temperatura e fonti rinnovabili di energia	4
1.3 Il flusso geotermico come fonte rinnovabile di energia.	5
1.4 Irraggiamento solare e altri fattori influenzanti la temperatura del sottosuolo .	7
1.5 L'avvento dei sistemi geotermici a bassa temperatura per la climatizzazione .	9
Bibliografia	10
Capitolo 2 – Sistemi geotermici diretti a media e bassa temperatura	
2.1 Risorse geotermiche dirette a media e bassa temperatura	11
2.2 Origine e disponibilità delle risorse geotermiche a media e bassa temperatura	12
2.3 Sottosistemi impiantistici per lo scambio diretto con le risorse geotermiche ..	15
2.3.1 Il sottosistema di produzione	15
2.3.2 Il sottosistema di trasmissione, trasporto e distribuzione	19
2.3.3 Il sottosistema di consegna alle utenze.	20
2.3.4 Il sottosistema di smaltimento dei fluidi geotermici.	21
2.4 Le problematiche legate al chimismo dei fluidi estratti	23
2.5 Le strategie di progettazione dei sistemi di scambio geotermico a media temperatura.	27
2.6 Accorgimenti nell'utilizzo di pompe di calore	28
Bibliografia	31
Capitolo 3 – Sistemi geotermici a bassa temperatura	
3.1 Sistemi di coltivazione delle risorse geotermiche a bassa temperatura	33
3.2 Tecnologia degli scambiatori di calore geotermici verticali (SGV)	34
3.3 Pali energetici.	40

3.4	Scambiatori di calore geotermici verticali a tubi elicoidali	41
3.5	Tecnologia degli scambiatori di calore geotermici orizzontali (SGO)	42
3.6	Scambiatori di calore geotermici terreno-aria (EAHX)	42
3.7	Sistemi geotermici con accumulo di ghiaccio GIS®	45
	Bibliografia	45

Capitolo 4 – Le pompe di calore

4.1	Introduzione allo studio delle pompe di calore	47
4.2	Il concetto generale di pompa di calore	47
4.3	Pompe di calore a compressione di vapore frigorifero	48
4.3.1	Prestazioni energetiche delle pompe di calore a compressione di vapore	51
4.4	Pompe di calore ad assorbimento	53
4.4.1	Prestazioni energetiche delle pompe di calore ad assorbimento	55
4.5	Prestazioni attese da una pompa di calore e condizioni nominali	57
4.6	Lettura dei dati nominali a pieno carico	58
4.7	Estrapolazione delle prestazioni delle pompe di calore a compressione di vapore	58
4.8	Estrapolazione delle prestazioni delle pompe di calore ad assorbimento	64
4.9	Pompe di calore e consumo di energia primaria	66
4.10	Energia estratta dal terreno (funzione riscaldamento)	70
4.11	Energia immessa nel terreno (funzione condizionamento)	73
4.12	Calcolo dell'energia rinnovabile richiesta dalle normative	74
4.13	Impiantistica correlata alle pompe di calore	75
4.14	Verifica dei vasi inerziali	82
	Bibliografia	84

Capitolo 5 – I sistemi geotermici con sorgente termica negli acquiferi

5.1	L'acqua presente nel sottosuolo	86
5.2	Il fenomeno dell'infiltrazione	87
5.3	Porosità e capacità di ritenzione di terreni e rocce	88
5.4	Il movimento dell'acqua sotterranea	90
5.5	Le carte isopiezometriche	92
5.6	Pozzi di emungimento acqua di falda	94
5.7	La portata necessaria all'impianto termotecnico	101
5.8	La portata d'acqua estraibile dal pozzo	102
5.9	Dimensionamento di massima di un pozzo di estrazione	103
5.10	Impianti con vasca di raccolta	105
5.11	Prove di emungimento	108
5.12	Reimmissione in falda	109
5.13	Le sorgenti	112
	Bibliografia	114

Capitolo 6 – Caratteristiche termofisiche del terreno

6.1	Nozioni generali di geologia	115
6.2	Forze endogene	116
6.3	Disposizione degli strati rocciosi	117
6.4	Curve di livello	120
6.5	Cenni sulla lettura delle carte geologiche	121
6.6	Formazioni geologiche	130
6.7	Stratigrafia del sottosuolo da un punto di vista geotermico	131
6.8	Caratteristiche fisiche delle rocce e dei terreni	134
6.8.1	Densità	134
6.8.2	Porosità	135
6.8.3	Durezza	135
6.8.4	Gelività	135
6.8.5	Conducibilità o conducibilità	135
6.8.6	Capacità termica volumica e calore specifico	136
6.8.7	Diffusività	136
6.9	Caratteristiche del terreno lungo tutto lo spessore di perforazione	136
6.10	Stima dell'effetto della presenza di acqua sui dati termofisici del terreno	139
6.10.1	L'effetto sulla temperatura del suolo	139
6.10.2	L'effetto sulla massa volumica del terreno	140
6.10.3	L'effetto sul calore specifico del terreno	140
6.10.4	L'effetto sulla conducibilità del terreno	141
6.11	Il concetto di stabilità termica	141
6.12	Temperatura e profondità della superficie di discontinuità	142
6.13	Definizione della temperatura del terreno climaticamente perturbato	144
6.14	Definizione della temperatura del terreno climaticamente non perturbato	146
	Bibliografia	148

Capitolo 7 – Dimensionamento degli scambiatori geotermici verticali

7.1	Basi del calcolo	150
7.2	Metodi analitici di dimensionamento	150
7.3	Modelli matematici	151
7.4	Linee guida per avviare le valutazioni	153
7.5	Metodologia per la progettazione preliminare	155
7.6	Strategie di ottimizzazione del progetto	160
7.7	Metodo di calcolo analitico dei sistemi di scambio geotermici verticali	163
7.7.1	Equazioni generali di dimensionamento	163
7.7.2	Calcolo delle potenze di picco applicate al campo geotermico	165
7.7.3	Calcolo del flusso termico annuale del campo di sonde geotermico	166
7.7.4	Calcolo del coefficiente PLF	167
7.7.5	Calcolo del fattore di cortocircuito termico F_c	169
7.7.6	Definizione della resistenza termica equivalente	169
7.7.7	Calcolo delle resistenze termiche equivalenti del terreno	171
7.7.8	Definizione delle temperature del campo geotermico	173

7.8	Procedura di calcolo.....	178
7.8.1	L'ipotesi di terreno.....	178
7.8.2	L'ipotesi di edificio.....	179
7.8.3	L'ipotesi di sottosistema di generazione.....	179
7.8.4	Definizione dei dati tecnici degli scambiatori di calore geotermici.....	180
7.8.5	Definizione del fluido termovettore geotermico.....	183
7.8.6	Calcolo del numero e profondità degli scambiatori di calore geotermici.....	188
7.8.7	Calcolo delle temperature mensili della sorgente fredda terreno.....	189
7.9	Schemi di collegamento degli scambiatori di calore geotermici.....	191
7.10	Bibliografia.....	193

Capitolo 8 – Scambiatori geotermici orizzontali e pali energetici

8.1	Sistemi di scambio a terreno orizzontali.....	195
8.2	Dimensionamento dei sistemi di scambio orizzontali a sbancamento.....	199
8.3	Dimensionamento dei sistemi di scambio orizzontali in trincea.....	201
8.3.1	Metodo semplificato.....	202
8.3.2	Metodo analitico IGSHPA.....	204
8.4	Pali energetici.....	216
8.5.1	Dimensionamento dei pali energetici.....	218
	Bibliografia.....	221

Capitolo 9 – Sistemi geotermici non convenzionali

9.1	Sistemi di scambio a terreno orizzontali EAHX.....	223
9.1.1	Dimensionamento analitico dei sistemi EAHX.....	226
9.1.2	Bilancio energetico dei sistemi EAHX.....	230
9.2	Sistemi geotermici ad accumulo termico latente.....	231
9.2.1	Sistemi d'accumulo di ghiaccio a serpentino immerso.....	232
9.2.2	Sistemi d'accumulo di ghiaccio in contenitori.....	237
	Bibliografia.....	238