



© Copyright 2011 by Maggioli S.p.A.

Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.  
Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001: 2000

47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8  
Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622020

www.maggioli.it/servizioclienti  
e-mail: servizio.clienti@maggioli.it

Diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione  
e di adattamento totale o parziale con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi.

Finito di stampare nel mese di giugno 2011  
dalla Litografia Titanlito s.a.  
Dogana (Repubblica di San Marino)

## Indice

Foreword alla II edizione di <i>Matheos Santamouris</i> .....	Pag.	15
Prefazione alla I e alla II edizione di <i>Federico Butera</i> .....	»	17
Premessa alla III edizione di <i>Mario Grosso</i> .....	»	21
Introduzione di <i>Mario Grosso</i> .....	»	23

### PARTE I CLIMA E BENESSERE

#### CAPITOLO I IL CLIMA

1.1. Lo scambio radiativo terra-sole .....	»	29
1.2. L'atmosfera terrestre .....	»	32
1.2.1. Caratteristiche .....	»	32
1.2.2. La circolazione generale dell'atmosfera .....	»	33
1.3. Le classificazioni del clima .....	»	36
1.3.1. Scale climatiche .....	»	36
1.3.2. Distribuzione geografica .....	»	38
1.4. Il clima in Europa e in Italia .....	»	43
1.4.1. Classificazione dei climi europei .....	»	43
1.4.2. Clima della penisola italiana e del bacino del Mediterraneo .....	»	45
1.4.2.1. Pianura padana e zone montane .....	»	45
1.4.2.2. Clima mediterraneo .....	»	46
1.4.3. Determinazione dei dati climatici di riferimento .....	»	49
1.4.3.1. Variabili .....	»	49
1.4.3.2. Fonti informative .....	»	49
1.4.3.3. Caratteristiche delle variabili climatiche .....	»	50
1.5. Cambiamenti climatici dovuti all'effetto serra .....	»	51
1.5.1. Introduzione .....	»	51
1.5.2. Cambiamenti osservati del sistema climatico .....	»	53
1.5.2.1. Cambiamenti nelle emissioni e concentrazione di gas serra .....	»	53
1.5.2.2. Variazioni di temperatura .....	»	56
1.5.2.3. Variazioni degli altri fattori caratteristici del sistema climatico .....	»	59
1.5.3. Previsioni di cambiamenti climatici .....	»	62

1.5.3.1. Parametri di risposta alla forzatura radiativa ...	Pag.	62
1.5.3.2. Simulazioni di scenari futuri .....	»	63

## CAPITOLO II IL MICROCLIMA

<b>2.1. Gli scambi termici terreno-atmosfera .....</b>	»	67
2.1.1. Bilancio energetico .....	»	68
2.1.2. Bilancio radiativo .....	»	70
<b>2.2. Effetti della corrugazione del territorio .....</b>	»	72
2.2.1. Scambio radiativo .....	»	72
2.2.2. Temperatura dell'aria .....	»	74
2.2.3. Vento .....	»	76
2.2.4. Precipitazioni .....	»	79
<b>2.3. Effetti della presenza di masse d'acqua .....</b>	»	80
2.3.1. Temperatura e umidità .....	»	80
2.3.2. Vento .....	»	81
<b>2.4. Effetti della vegetazione .....</b>	»	82
2.4.1. Scambi termici e umidità .....	»	82
2.4.2. Radiazione solare .....	»	83
2.4.3. Vento .....	»	85
<b>2.5. Effetti dell'ambiente costruito .....</b>	»	89
2.5.1. Edifici isolati e agglomerati edilizi .....	»	89
2.5.1.1. Scambi radiativi .....	»	90
2.5.1.2. Temperatura e umidità dell'aria .....	»	92
2.5.1.3. Vento .....	»	92
2.5.2. Aree urbane .....	»	95
2.5.2.1. Scambi radiativi .....	»	96
2.5.2.2. Temperatura dell'aria .....	»	98
2.5.2.3. Velocità del vento .....	»	100

## CAPITOLO III IL COMFORT TERMICO di Elisabetta Parisi

<b>3.1. Comfort termico e risparmio energetico .....</b>	»	105
<b>3.2. I parametri in gioco .....</b>	»	107
<b>3.3. Movimenti d'aria e comfort termico .....</b>	»	109
<b>3.4. Valutazione del comfort termico: il modello di Fanger .....</b>	»	113
3.4.1. Il Voto Medio Previsto (PMV) .....	»	113
3.4.2. Percentuale prevista di insoddisfatti (PDD) .....	»	115

3.4.3. Ventilazione e qualità dell'aria .....	Pag.	115
<b>3.5. Valutazione del comfort termico in condizioni estive .....</b>	»	117
3.5.1. Esempio di valutazione in clima temperato .....	»	117
3.5.2. Un modello adattativo .....	»	119
3.5.3. Il comfort termico negli edifici ventilati naturalmente ....	»	121

## PARTE II IL RAFFRESCAMENTO PASSIVO NELLA PROGETTAZIONE

### CAPITOLO IV ARCHETIPI BIOCLIMATICI

<b>4.1. Un archetipo del mondo animale: il termitaio .....</b>	»	129
<b>4.2. Archetipi bioclimatici dell'area nordamericana .....</b>	»	131
4.2.1. Costruzioni leggere .....	»	131
4.2.2. Costruzioni pesanti .....	»	134
<b>4.3. Archetipi bioclimatici dell'area mediorientale .....</b>	»	137
4.3.1. Archetipi di controllo solare .....	»	137
4.3.1.1. <i>Mashrabiya</i> .....	»	137
4.3.1.2. <i>Clastrum</i> .....	»	141
4.3.2. Sistemi per il controllo della ventilazione e il raffrescamento .....	»	144
4.3.2.1. Elementi di captazione dell'aria .....	»	145
4.3.2.2. Elementi di estrazione dell'aria .....	»	151
4.3.2.3. Elementi a funzione combinata captazione/estrazione dell'aria .....	»	153
4.3.2.4. Sistemi costruttivi a ventilazione naturale diretta .....	»	156
4.3.2.5. Sistemi costruttivi a ventilazione naturale indiretta e raffrescamento passivo geotermico .....	»	159
<b>4.4. Archetipi bioclimatici dell'area mediterranea .....</b>	»	160
4.4.1. Architettura nella terra .....	»	160
4.4.1.1. Insediamenti ipogei .....	»	160
4.4.1.2. Insediamenti semipogei: le abitazioni rupestri .....	»	163
4.4.1.3. La camera dello scirocco .....	»	166
4.4.2. L'architettura tra terra e cielo .....	»	167
4.4.2.1. Il trullo .....	»	167
4.4.2.2. Il dammuso .....	»	169
4.4.3. Archetipo dei sistemi di raffrescamento passivo ventilativo geotermico: i covoli .....	»	172

CAPITOLO V  
PROGETTAZIONE CLIMATICA DI SITO

<b>5.1.</b>	Introduzione .....	Pag.	177
<b>5.2.</b>	Controllo della radiazione solare .....	»	178
	5.2.1. Determinazione grafica del soleggiamento di un sito ...	»	180
	5.2.1.1. Metodo diacronico: determinazione dell'eliofania .....	»	180
	5.2.1.2. Metodo sincronico: determinazione dell'ombreggiamento .....	»	188
	5.2.2. Controllo della radiazione solare in spazi esterni .....	»	192
<b>5.3.</b>	Controllo dei flussi d'aria da vento .....	»	195
	5.3.1. Criteri generali .....	»	195
	5.3.1.1. Siti collinari e montani .....	»	195
	5.3.1.2. Siti costieri .....	»	196
	5.3.1.3. Siti urbani .....	»	197
	5.3.2. Flussi d'aria e distribuzione planimetrica degli edifici ....	»	198
	5.3.3. Flussi d'aria e forma/orientamento degli edifici .....	»	200
	5.3.3.1. Variazione della profondità di scia per il cubo di riferimento .....	»	202
	5.3.3.2. Profondità di scia al variare della lunghezza e dell'orientamento .....	»	203
	5.3.3.3. Profondità di scia in relazione al variare di altezza e larghezza .....	»	208
	5.3.3.4. Correlazioni tra i dati sperimentali sulla profondità di scia .....	»	209
	5.3.4. Flussi d'aria e barriere .....	»	209
<b>5.4.</b>	Matrice microclimatica di sito .....	»	212
<b>5.5.</b>	Controllo degli scambi termici nella progettazione degli spazi esterni .....	»	215
	5.5.1. Il comfort termico in ambiente esterno .....	»	215
	5.5.2. Tecniche di controllo del microclima esterno .....	»	217
	5.5.2.1. Riduzione della temperatura dell'aria .....	»	219
	5.5.2.2. Riduzione della temperatura radiante .....	»	220
	5.5.3. Risparmi energetici della sistemazione a verde .....	»	224

CAPITOLO VI  
PROGETTAZIONE EDILIZIA PER IL RAFFRESCAMENTO PASSIVO

<b>6.1.</b>	Processo progettuale e controllo endoclimatico passivo .....	»	227
<b>6.2.</b>	Metaprogetto degli interventi di raffrescamento passivo ...	»	229
	6.2.1. Requisiti .....	»	229

	6.2.2. Strumenti: le carte bioclimatiche .....	Pag.	232
	6.2.2.1. Zone di comfort e ventilazione corporea .....	»	232
	6.2.2.2. Zone di comfort, ventilazione e massa termica ..	»	232
	6.2.2.3. Zone di comfort e raffrescamento evaporativo ...	»	236
	6.2.2.4. Modo e limiti d'utilizzo delle carte bioclimatiche	»	238
<b>6.3.</b>	Progettazione degli interventi di raffrescamento passivo ..	»	239
	6.3.1. Definizioni e classificazione dei sistemi di raffrescamento passivo .....	»	239
	6.3.2. Requisiti progettuali per il controllo termico .....	»	242
	6.3.2.1. Requisiti degli elementi spaziali .....	»	242
	6.3.2.2. Requisiti degli elementi tecnici .....	»	242
	6.3.3. Requisiti progettuali per il raffrescamento naturale microclimatico .....	»	243
	6.3.3.1. Requisiti degli elementi spaziali .....	»	243
	6.3.3.2. Requisiti delle chiusure permeabili all'aria .....	»	247
	6.3.3.3. Caratteristiche di flusso per tipo di chiusura e modalità d'apertura .....	»	253
	6.3.4. Requisiti progettuali per il raffrescamento naturale geotermico .....	»	262
	6.3.4.1. Caratteristiche degli edifici ipogei o semipogei .....	»	263
	6.3.4.2. Requisiti progettuali degli edifici ipogei .....	»	265
	6.3.5. Requisiti progettuali per il raffrescamento naturale evaporativo .....	»	266
	6.3.5.1. Requisiti degli elementi spaziali per il raffrescamento evaporativo a caduta d'aria .....	»	266
	6.3.5.2. Elemento tecnico per il raffrescamento evaporativo ibrido: unità ventilante .....	»	271
	6.3.6. Requisiti progettuali per il raffrescamento naturale radiativo .....	»	273
	6.3.6.1. Requisiti degli elementi spaziali .....	»	274
	6.3.6.2. Requisiti degli elementi tecnici .....	»	274

**PARTE III**  
**I SISTEMI DI RAFFRESCAMENTO PASSIVO**  
**PER ZONE A CLIMA TEMPERATO**

CAPITOLO VII  
IL CONTROLLO TERMICO DELLA RADIAZIONE SOLARE  
di Luca Raimondo

<b>7.1.</b>	Generalità .....	»	281
-------------	------------------	---	-----

<b>7.2. Strategie e tecnologie</b> .....	Pag.	282
7.2.1. Chiusure opache .....	»	282
7.2.1.1. Controllo della temperatura superficiale .....	»	284
7.2.1.2. Controllo dell'inerzia termica .....	»	287
7.2.2. Chiusure trasparenti .....	»	290
7.2.2.1. Dimensionamento della chiusura trasparente ..	»	291
7.2.2.2. Proprietà termofisiche del componente trasparente .....	»	298
<b>7.3. Schermature solari</b> .....	»	301
7.3.1. Definizione e classificazione .....	»	301
7.3.1.1. Schermi vegetali .....	»	303
7.3.1.2. Schermi artificiali .....	»	306
7.3.2. Criteri di progetto di un sistema schermante .....	»	313
7.3.2.1. Fase preliminare .....	»	313
7.3.2.2. Fase definitiva .....	»	320
7.3.2.3. Integrazione architettonica dello schermo .....	»	322
7.3.3. Sistemi di schermatura e benessere psicofisico .....	»	325

## CAPITOLO VIII

## SISTEMI DI RAFFRESCAMENTO PASSIVO VENTILATIVO

<b>8.1. Definizioni e classificazione dei sistemi di raffrescamento passivo ventilativo</b> .....	»	327
<b>8.2. Raffrescamento ventilativo microclimatico</b> .....	»	328
8.2.1. Movimentazione controllata dei flussi d'aria .....	»	329
8.2.1.1. Motori della VNC .....	»	329
8.2.1.2. Tipi di VNC .....	»	330
8.2.1.3. Efficacia della ventilazione .....	»	332
8.2.2. Raffrescamento ventilativo corporeo .....	»	333
8.2.3. Raffrescamento ventilativo ambientale .....	»	335
8.2.4. Raffrescamento ventilativo strutturale .....	»	336
8.2.4.1. Massa termica .....	»	337
8.2.4.2. Ventilazione .....	»	338
8.2.4.3. Efficacia di dissipazione .....	»	339
<b>8.3. Raffrescamento ventilativo geotermico</b> (di Luca Raimondo) .....	»	340
8.3.1. Tipi di scambiatori geotermici ad aria .....	»	341
8.3.1.1. Scambiatori a singola canna .....	»	341
8.3.1.2. Scambiatori a collettore .....	»	344
8.3.2. Criteri di progettazione degli scambiatori geotermici ad aria .....	»	345
8.3.2.1. Dimensionamento dei condotti .....	»	345
8.3.2.2. Disposizione dei condotti .....	»	346

8.3.2.3. Materiali .....	Pag.	348
8.3.2.4. Sistema di filtraggio e ventilazione .....	»	349
8.3.2.5. Posa in opera .....	»	350
8.3.2.6. Sistemi d'allontanamento delle acque meteoriche e di condensa .....	»	351
8.3.2.7. Gestione e manutenzione periodica .....	»	351

PARTE IV  
METODI DI CALCOLO

## CAPITOLO IX

## DETERMINAZIONE DEL FABBISOGNO DI RAFFRESCAMENTO

di Luca Raimondo

<b>9.1. Il bilancio energetico dell'edificio</b> .....	»	355
9.1.1. Definizione generale .....	»	355
9.1.2. Flussi di calore sensibile .....	»	357
9.1.2.1. Trasferimenti di calore per differenza di temperatura .....	»	357
9.1.2.2. Apporti di calore .....	»	358
<b>9.2. Il fabbisogno di energia per il raffrescamento</b> .....	»	359
9.2.1. Definizione .....	»	359
9.2.2. Particolarità del calcolo .....	»	360
<b>9.3. Metodologia di calcolo</b> .....	»	361
9.3.1. Lo standard europeo .....	»	362
9.3.1.1. Caratteristiche del metodo dinamico .....	»	363
9.3.1.2. Caratteristiche del metodo quasi statico .....	»	364
9.3.2. Strumenti automatici di calcolo .....	»	364
9.3.2.1. <i>Trnsys</i> .....	»	365
9.3.2.2. <i>WINDCHILL</i> .....	»	366
<b>9.4. Procedura di calcolo semplificata</b> .....	»	370
9.4.1. Caratteristiche dell'edificio .....	»	370
9.4.1.1. Individuazione delle zone termiche .....	»	370
9.4.1.2. Modalità di gestione .....	»	371
9.4.2. Determinazione del calore da rimuovere .....	»	372
9.4.2.1. Calcolo degli apporti gratuiti di calore .....	»	373
9.4.2.2. Calcolo delle dispersioni di calore .....	»	377
9.4.2.3. Calcolo del fattore di utilizzo delle dispersioni ....	»	378

CAPITOLO X  
**RIDUZIONE DEL FABBISOGNO DI RAFFRESCAMENTO  
 DA SCHERMATURA**  
 di Luca Raimondo

<b>10.1. Generalità</b> .....	Pag.	381
<b>10.2. Il fattore di ombreggiamento</b> .....	»	383
10.2.1. Definizione .....	»	383
10.2.2. Metodi di valutazione .....	»	384
10.2.2.1. Metodi grafici .....	»	384
10.2.2.2. Metodi analitici .....	»	386
10.2.2.3. Simulazioni .....	»	386
<b>10.3. Procedura di calcolo semplificato del fattore di ombreggiamento</b> .....	»	388
10.3.1. Calcolo dell'area della superficie ombreggiata .....	»	389
10.3.2. Calcolo del fattore di ombreggiamento .....	»	389
10.3.3. Criteri di semplificazione del calcolo .....	»	390
10.3.3.1. Delimitazione dell'ambito di analisi .....	»	390
10.3.3.2. Scelta dei mesi di riferimento .....	»	392

CAPITOLO XI  
**POTENZIALE DI RAFFRESCAMENTO DA VENTILAZIONE  
 NATURALE CONTROLLATA**

<b>11.1. Determinazione della portata d'aria da VNC</b> .....	»	395
11.1.1. Velocità locale del vento .....	»	395
11.1.2. Variazione di pressione .....	»	398
11.1.2.1. Effetto del vento .....	»	398
11.1.2.2. Effetto della differenza di temperatura .....	»	399
11.1.3. Flusso d'aria attraverso chiusure permeabili .....	»	400
11.1.4. Flussi d'aria passanti in ambiente termico monozona ...	»	402
11.1.4.1. Ventilazione passante da vento .....	»	402
11.1.4.2. Ventilazione passante da gradiente termico ...	»	407
11.1.4.3. Ventilazione passante combinata vento-gra- diente termico .....	»	410
11.1.5. Flussi d'aria passante tra due zone termiche .....	»	411
11.1.5.1. Flusso da gradiente termico .....	»	412
11.1.5.2. Flusso da vento .....	»	416
11.1.5.3. Flusso combinato .....	»	416
11.1.6. Modelli di calcolo automatico dei flussi d'aria .....	»	416
<b>11.2. Potenziale del raffrescamento ventilativo ambientale/strut- turale</b> .....	»	418



<b>11.2.1. Metodo di calcolo su base mensile</b> .....	Pag.	418
11.2.1.1. Determinazione dei valori medi mensili di portata d'aria .....	»	419
11.2.1.2. Riduzione potenziale del fabbisogno di raf- frescamento .....	»	421
<b>11.2.2. Metodo di calcolo basato sulla distribuzione oraria di un giorno tipo</b> .....	»	421
11.2.2.1. Dati climatici di riferimento .....	»	422
11.2.2.2. Sequenza di calcolo .....	»	425

CAPITOLO XII  
**POTENZIALE DI RAFFRESCAMENTO  
 DA SCAMBIATORE GEOTERMICO AD ARIA**  
 di Luca Raimondo

<b>12.1. Caratteristiche dello scambio termico aria-terreno</b> .....	»	429
<b>12.2. Temperatura del terreno</b> .....	»	431
<b>12.3. Efficacia di scambio termico</b> .....	»	434
12.3.1. Definizione e parametri di riferimento .....	»	434
12.3.2. Procedura semplificata di calcolo .....	»	438
<b>12.4. Determinazione del potenziale di raffrescamento</b> .....	»	440
12.4.1. Generalità .....	»	440
12.4.2. Metodi di calcolo semplificato .....	»	441
12.4.2.1. Uno strumento di calcolo automatico: GAEA .....	»	443
12.4.2.2. Un metodo di calcolo manuale .....	»	444
<b>12.5. Monitoraggio di un caso studio</b> .....	»	445
12.5.1. Descrizione del caso studio .....	»	445
12.5.2. Misurazioni .....	»	446
12.5.3. Risultati .....	»	448
12.5.3.1. Valutazione delle prestazioni dello scambia- tore geotermico .....	»	450
12.5.3.2. Valutazione dell'efficacia di scambio .....	»	452
12.5.3.3. Capacità termica del terreno e inerzia .....	»	453
12.5.3.4. Modalità di funzionamento continuo ed in- termittente .....	»	455

PARTE V  
ESEMPI APPLICATIVI E CASI STUDIO

## CAPITOLO XIII

## ESEMPI APPLICATIVI DI TECNICHE VNC CON RVA/RVS

<b>13.1. Edificio della Facoltà di Ingegneria di Leicester, UK</b> .....	Pag.	459
13.1.1. Caratteristiche localizzative e morfologiche .....	»	459
13.1.2. Sistema VNC con RVA/RVS .....	»	462
<b>13.2. Edificio residenziale a Mezzocammino, Roma</b> .....	»	466
13.2.1. Descrizione del progetto .....	»	466
13.2.2. Sistema VNC con RVA/RVS .....	»	469
<b>13.3. Concorso internazionale per la progettazione del Centro della promozione della scienza a Belgrado</b> .....	»	472
13.3.1. Descrizione del progetto .....	»	472
13.3.2. Sistema di ventilazione e raffrescamento ibrido con VNC .....	»	473
<b>13.4. Concorso per la progettazione del recupero di un edificio industriale ex bricchettificio, da destinare a uffici e servizi della società La Castelnuovese a San Giovanni Valdarno (AR)</b> .....	»	477
13.4.1. Descrizione del progetto .....	»	477
13.4.2. Sistema ibrido con VNC/RVA e raffrescamento evaporativo .....	»	481
<b>13.5. Concorso di idee per la riqualificazione della piazza San Giorgio nel Comune di Quartucciu (CA)</b> .....	»	486
13.5.1. Descrizione del progetto .....	»	486
13.5.2. Sistema VNC/RVA .....	»	489
<b>13.6. Concorso internazionale di idee "Serbariu: dalla discarica all'ecoparco", Comune di Carbonia (CA)</b> .....	»	491
13.6.1. Localizzazione e caratteristiche del sito .....	»	491
13.6.2. Descrizione del progetto architettonico .....	»	495
13.6.3. Sistemi di climatizzazione ibridi integranti VNC e RVA/RVS .....	»	502

## CAPITOLO XIV

## RESIDENZE A ZERO BRANCO (TV)

<b>14.1. Contesto</b> .....	»	507
14.1.1. Localizzazione .....	»	507
14.1.2. Il concetto di residenze limite .....	»	507
14.1.3. Caratteristiche climatiche .....	»	508
<b>14.2. Caratteri morfologici e distributivi</b> .....	»	509

14.2.1. L'approccio progettuale .....	Pag.	509
14.2.2. La forma e gli elementi costituenti .....	»	510
14.2.3. Il percorso distributivo e percettivo .....	»	512
<b>14.3. Caratteristiche costruttive e ambientali</b> .....	»	514
14.3.1. Struttura principale .....	»	514
14.3.2. Involucro e struttura secondaria .....	»	515
14.3.3. Chiusure opache ventilate .....	»	521
<b>14.4. Sistemi di climatizzazione</b> .....	»	522
14.4.1. Raffrescamento ventilativo ambientale .....	»	523
14.4.1.1. Ventilazione naturale .....	»	523
14.4.1.2. Ventilazione ibrida .....	»	525
14.4.2. Raffrescamento ventilativo geotermico .....	»	525
14.4.2.1. Descrizione del sistema .....	»	525
14.4.2.2. Analisi termica prestazionale .....	»	529

## CAPITOLO XV

SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO "L. ORSINI",  
IMOLA (BO)

<b>15.1. Localizzazione, dati climatici e metaprogettuali</b> .....	»	534
15.1.1. Localizzazione .....	»	534
15.1.2. Dati climatici .....	»	537
15.1.3. Dati metaprogettuali .....	»	538
<b>15.2. Caratteristiche progettuali architettoniche</b> .....	»	538
<b>15.3. Strategie di climatizzazione e analisi energetica</b> .....	»	542
15.3.1. Strategie complessive di climatizzazione e produzione energetica .....	»	544
15.3.2. Analisi energetica .....	»	546
15.3.2.1. Stima dei fabbisogni annuali .....	»	546
15.3.2.2. Contributo dei sistemi ecocompatibili di climatizzazione .....	»	547
15.3.2.3. Prestazioni energetico-ambientali .....	»	549
<b>15.4. Controllo solare</b> .....	»	550
15.4.1. Strategie generali .....	»	550
15.4.2. Sistemi di schermatura .....	»	551
15.4.3. Efficacia energetica dei sistemi di schermatura delle aule S-SO .....	»	556
<b>15.5. Sistema di raffrescamento ventilativo strutturale</b> .....	»	557
15.5.1. Descrizione del sistema .....	»	557
15.5.2. Analisi fluidodinamica (di Marco Simonetti) .....	»	560
15.5.2.1. Simulazione bidimensionale .....	»	561
15.5.2.2. Modello 2D delle tre aule .....	»	566

15.5.2.3. Modello 3D di un'aula tipo e segmento d'atrio connesso .....	Pag.	574
15.5.3. Analisi termica .....	»	578
15.5.3.1. Effetti energetici .....	»	578
15.5.3.2. Effetti sulla temperatura dell'aria .....	»	579
<b>15.6. Sistema di raffrescamento ventilativo geotermico .....</b>		<b>581</b>
15.6.1. Descrizione del sistema .....	»	581
15.6.2. Caratteristiche dimensionali e funzionali .....	»	585
15.6.3. Caratteristiche fisiche e di posa in opera .....	»	586
15.6.3.1. Materiali .....	»	586
15.6.3.2. Filtraggio e drenaggio .....	»	586
15.6.3.3. Posa in opera .....	»	586
15.6.4. Analisi energetica .....	»	588
15.6.4.1. Simulazione con GAEA: dati di input .....	»	588
15.6.4.2. Simulazione con GAEA: dati di output .....	»	589
15.6.4.3. Prestazione energetica complessiva .....	»	589
<b>15.7. Monitoraggio .....</b>		<b>591</b>
15.7.1. Misure microclimatiche esterne .....	»	591
15.7.2. Monitoraggio della diffusione dell'aria nelle aule .....	»	591
15.7.3. Monitoraggio dei sistemi di raffrescamento ventilativo .....	»	593
15.7.3.1. Sistema di raffrescamento ventilativo strutturale .....	»	593
15.7.3.2. Sistema di raffrescamento ventilativo geotermico .....	»	594

## CAPITOLO XVI

## GUIDA UTENTE DEL SOFTWARE WINDCHILL

<b>16.1. Introduzione .....</b>	»	<b>595</b>
<b>16.2. Dati di input .....</b>	»	<b>596</b>
16.2.1. Caratterizzazione termo-fisica dell'elemento spaziale considerato .....	»	596
16.2.1.1. Descrizione del progetto .....	»	596
16.2.1.2. Descrizione dell'edificio .....	»	598
16.2.1.3. Descrizione della zona di calcolo .....	»	600
16.2.1.4. Descrizione dell'unità di calcolo .....	»	602
16.2.1.4.1. Caratteristiche ambientali .....	»	603
16.2.1.4.2. Caratteristiche d'involucro .....	»	604
16.2.2. Sistema di ventilazione naturale controllata (VNC) ..	»	611
16.2.2.1. Caratteristiche del sistema VNC e gestione delle aperture .....	»	612

16.2.2.2. Caratteristiche specifiche delle aperture .....	Pag.	612
<b>16.3. Dati di output .....</b>	»	<b>614</b>
16.3.1. Dati generali .....	»	615
16.3.2. Risultati grafici e tabellari .....	»	615
16.3.3. Report .....	»	615
<b>16.4. Caso studio .....</b>	»	<b>615</b>
16.4.1. Descrizione dell'edificio .....	»	616
16.4.1.1. Elaborati grafici .....	»	616
16.4.1.2. Dati localizzativi e climatici .....	»	618
16.4.1.3. Dati dimensionali .....	»	618
16.4.2. Descrizione della zona di calcolo 1 .....	»	618
16.4.2.1. Dati dimensionali .....	»	618
16.4.2.2. Descrizione del sistema VNC .....	»	620
16.4.2.3. Dati di output .....	»	621
16.4.3. Descrizione della zona di calcolo 2 .....	»	621
16.4.3.1. Dati dimensionali .....	»	621
16.4.3.2. Descrizione del sistema VNC .....	»	623
16.4.3.3. Dati di output .....	»	623
<i>Bibliografia .....</i>	»	625
<i>Nomenclatura .....</i>	»	633
<i>Appendici .....</i>	»	639
<i>Indice analitico .....</i>	»	683