

Parte

D

In questa quarta parte si analizzano gli aspetti prettamente più tecnici che hanno portato alle scelte ingegneristiche (tipo le strutture portanti, i sistemi di isolamento termico ed acustico, ecc.) nonché di quelle impiantistiche per il mantenimento dei requisiti di benessere predeterminati secondo le normative vigenti.

Questa parte è composta da 3 capitoli:

La **Fase 12**, detta “**Approfondimenti Ingegneristici**”, presenta un’attenta analisi degli aspetti ingegneristici alla base del progetto di recupero del Complesso Edilizio attraverso la stesura di un Programma Prestazione dei subsistemi edilizi attraverso la definizione dei requisiti connotanti generali.

Vengono successivamente analizzate le Scelte Tecnologiche degli interventi effettuati partendo dalla definizione delle strutture e dei relativi calcoli strutturali.

Si prosegue poi con le analisi relative al Benessere Igrotermico tramite le verifiche della Trasmittanza, della Condensazione Interstiziale, della Condensazione Superficiale e dell’inerzia Termica dei componenti edilizi.

Un altro aspetto analizzato è quello del Benessere Acustico tramite il calcolo del potere fono isolante e del tempo di riverberazione.

Non sono da sottovalutare poi gli aspetti della Sicurezza al Fuoco.

Come ultima analisi viene effettuata l’analisi Illuminotecnica relativa sia all’illuminazione naturale che quella di carattere artificiale.

La **Fase 13**, detta “**Approfondimenti Impiantistici**”, riguardano invece tutti gli aspetti legati agli impianti presenti all’interno del Complesso Edilizio e che aiutano al mantenimento delle condizioni di Benessere.

Vengono dunque analizzati il Riscaldamento, il Raffrescamento, l’approvvigionamento della corrente elettrica attraverso l’installazione di pannelli fotovoltaici e l’approvvigionamento idrico fino alla stesura dei schemi impiantistici di massima.

La **Fase 14**, detta “**Flessibilità**”, ha come scopo quello di illustrare la possibilità di combinare i vari ambienti aumentando o diminuendo le superficie a disposizione a seconda delle varie esigenze delle funzione insediate all’interno del Complesso Edilizio.

Questa scelta alla base dell’intervento di recupero ha determinato anche le scelte strutturali effettuate per l’intero organismo edilizio e che verranno analizzate in questo capitolo.

Approfondimenti Ingegneristici

12

12.1.	PROGRAMMA PRESTAZIONALE	289
12.1.1.	Requisiti connotanti generali	289
12.1.2.	Individuazione dei Subsistemi	290
12.1.2.1.	Struttura portante	291
12.1.2.2.	Chiusure	291
12.1.2.3.	Partizione Interne	292
12.1.2.4.	Partizioni Esterne	293
12.2.	SCELTE TECNOLOGICHE	294
12.3.	DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE	295
12.3.1.	Analisi dei carichi	295
12.3.1.1.	Carico neve	295
12.3.1.1.1.	Carico neve al suolo	295
12.3.1.1.2.	Coefficienti di forma del carico	295
12.3.1.2.	Azioni del vento	297
12.3.1.2.1.	Azioni statiche equivalenti	297
12.3.1.2.2.	Pressione del vento	297
12.3.1.2.3.	Azione tangente del vento	298
12.3.1.2.4.	Pressione cinetica di riferimento	298
12.3.1.2.5.	Coefficienti di esposizione	299
12.3.1.2.6.	Coefficienti di topografia	299
12.3.2.	Definizione delle strutture del Complesso Edilizio F	300
12.3.2.1.	Descrizione generale della struttura	300
12.3.2.2.	Metodo di calcolo	302
12.3.2.3.	Dimensionamento del Solaio tipo	303
12.3.2.4.	Dimensionamento delle Travi Principali	303
12.3.2.5.	Dimensionamento dei Pilastrini (Edificio F3)	304
12.4.	BENESSERE IGROTHERMICO	305
12.4.1.	Trasmittanza	309
12.4.2.	Condensazione Interstiziale	311
12.4.3.	Condensazione superficiale	312
12.4.4.	Inerzia Termica	313
12.4.5.	Riferimenti normativi sui disperdimenti energetici	314
12.4.5.1.	Quadro complessivo delle leggi e novità	315
12.5.	BENESSERE ACUSTICO	317
12.5.1.	Acustica degli ambienti chiusi e controllo del rumore	318
12.5.2.	Il Potere Fonoisolante	319
12.5.2.1.	Il Potere fono isolante in pareti non omogenee	320
12.5.2.2.	Il Potere fono isolante nei serramenti	320
12.5.3.	Tempo di riverberazione	321
12.5.4.	Riferimenti normativi	322

12.6.	SICUREZZA AL FUOCO	323
12.6.1.	Metodo di calcolo	323
12.6.2.	Calcolo del carico di incendio	330
12.6.3.	Calcolo dei coefficienti di riduzione	330
12.6.3.1.	Indici di valutazione	330
12.6.4.	Determinazione della classe di resistenza	331
12.6.5.	Riferimenti Normativi	331
12.6.5.1.	Resistenza al fuoco	332
12.6.5.2.	Reazione al fuoco ed assenza di emissioni di sostanze nocive in caso di incendio	332
12.6.5.3.	Limitazione dei rischi di generazione e propagazione di incendio	332
12.6.5.4.	Evacuazione in caso di emergenza e accessibilità ai mezzi di soccorso	332
12.7.	BENESSERE LUMINOSO	334
12.7.1.	Geometria solare	334
12.7.1.1.	Calcolo della posizione apparente del Sole	334
12.7.1.2.	Attenuazione dovuta all'attraversamento dell'atmosfera	336
12.7.1.3.	Calcolo della radiazione solare: cielo sereno	337
12.7.1.4.	Calcolo della radiazione solare: cielo nuvoloso	337
12.7.1.5.	Radiazione solare su un piano inclinato	337
12.7.1.6.	Le carte dei percorsi solari	338
12.7.1.7.	Definizioni, dati, prospetti e norma UNI 10349	338
12.7.1.8.	Valori mensili di temperatura media giornaliera	339
12.7.1.9.	Irradiazione solare giornaliera mensile	339
12.7.2.	Illuminotecnica	340
12.7.2.1.	Effetto della luce sull'uomo	341
12.7.2.2.	Caratteristiche ottiche dei materiali	341
12.7.2.3.	La luce in architettura	341
12.7.2.4.	Illuminazione naturale	343

12.1 Programma Prestazionale

Verranno eseguite tutta una serie di verifiche che si possono schematicamente descrivere nello schema qui a fianco riportato che parte dall'individuazione di un programma prestazionale del sistema costruttivo e che permette di arrivare ad una proposta di **riqualificazione tecnologica**.

12.1.1. Requisiti connotanti generali

Attraverso l'analisi delle esigenze in connessione, con l'approccio generale del processo edilizio, si individuano per ogni sub sistema i requisiti necessari con le relative definizioni e chiarimenti che sono ben espresse nella norma UNI 8290.

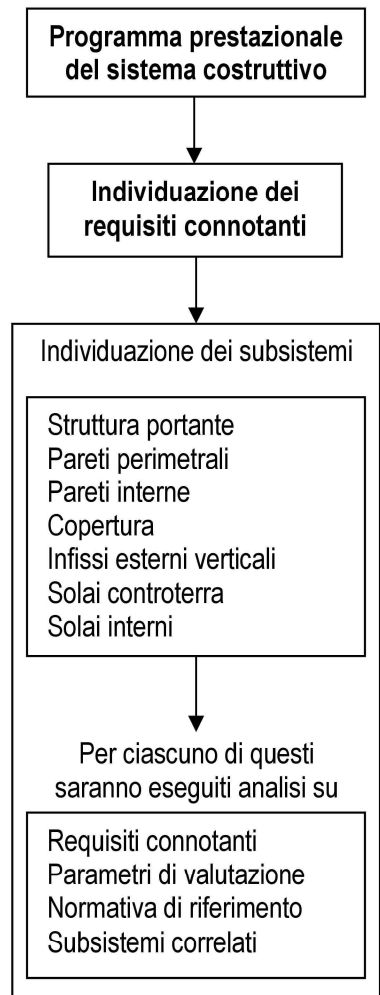
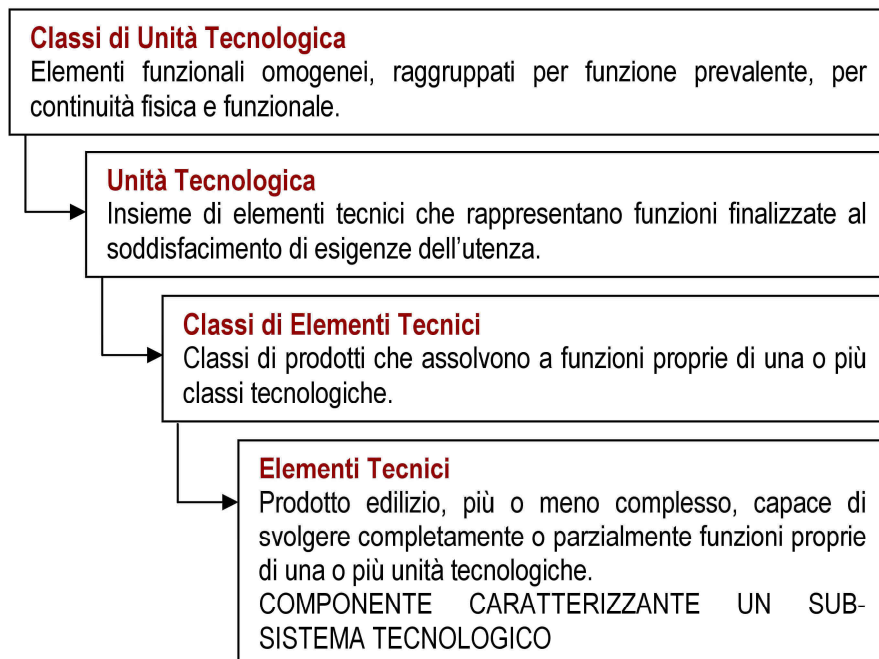
Questa fornisce infatti un elenco dettagliato dei principali requisiti del sistema tecnologico con lo scopo di:

- Unificare l'esposizione nelle attività normative, programmatiche, progettuali, operative e di comunicazione relative al processo edilizio;
- Definire il quadro di riferimento dei requisiti rispetto agli agenti che li motivano alle esigenze a cui sono trasposti e agli oggetti del sistema tecnologico cui sono riferibili.

La loro individuazione passa attraverso l'analisi delle stesse, controllate con i sistemi di agenti, ovvero dell'insieme dei fattori ambientali ed economici che interessano gli edifici.

La concezione della normativa su base esigenziale e prestazionale presuppone che siano opportunamente individuati gli oggetti di cui le norme trattano.

La norma fornisce, nel campo residenziale che è stata qui ampliata agli altri settori, la classificazione e l'articolazione del sistema tecnologico, in base alla funzione che svolge all'interno dell'organismo edilizio, prevedente tre gradi gerarchici di scomposizione partendo da 8 classi di elementi tecnologici-funzionali:



100. Schema programma prestazionale

101. Schema articolazione e classificazione del sistema tecnologico

12.1.2. Individuazione dei subsistemi

La classificazione di riferimento per i subsistemi tecnologici è ricavabile dalla **Norma UNI8290**.

Le 8 Classi di Unità Tecnologica sono le seguenti:

- | | |
|------------------------|-------------------------------------|
| 1. Struttura portante; | 5. Impianti di fornitura e servizi; |
| 2. Chiusure; | 6. Impianti di sicurezza; |
| 3. Partizioni Interne; | 7. Attrezzature Interne; |
| 4. Partizioni Esterne; | 8. Attrezzature Esterne. |

All'interno di questo capitolo saranno analizzate le prime 4 classi delle Unità Tecnologiche, mentre la quinta e la sesta saranno trattate all'interno del prossimo capitolo mentre per quanto riguarda le ultime due sono state ampiamente oggetto di analisi all'interno del Capitolo 10 – Metaprogettazione.

Tabella 16.
Classificazione di riferimento per i subsistemi tecnologici.

Classi di Unità Tecnologiche	Unità Tecnologiche	Classi di elementi tecnici
Struttura portante	...di fondazione	...dirette
		...indirette
	...di elevazione	...verticali
		...orizzontali ed inclinate
		...spaziali
	... contenimento	...verticali
	...orizzontali	
Chiusura	...verticale	Pareti perimetrali verticali
		Infissi esterni verticali
	...orizz. inferiore	Solai a terra
		Infissi orizzontali
	...orizz. su spazi esterni	Solai su spazi aperti
	...superiore	Coperture
Partizione Interna	...verticale	Pareti interne verticali
		Infissi interni verticali
		Elementi di protezione
	...orizzontale	Solai
		Soppalchi
		Infissi interni orizzontali
	...inclinata	Scale interne
		Rampe interne
Partizione esterna	...verticale	Elementi di protezione
		Elementi di separazione
	...orizzontale	Balconi e logge
		Passerelle
	...inclinata	Scale esterne
		Rampe esterne

Prima di procedere occorre definire il concetto di

- Gerarchia Strutturale: necessità di pensare la struttura di un manufatto come un elemento unitario che, sottoposto a sollecitazioni limite, collapsi in modo da conservare la propria integrità per più tempo possibile.
- Coerenza Tecnologica: necessità tecnica di continuità tra le unità tecnologiche. Ovvero si pone il problema di congruenza tra le tecnologie scelte, non soltanto da un punto di vista espressivo ma soprattutto da un punto di vista **TECNOLOGICO-REALIZZATIVO** e **STATITO PRESTAZIONALE**.

12.1.2.1. Struttura portante

Insieme delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici appartenenti al sistema edilizio aventi funzione di **sostenere i carichi** del sistema edilizio stesso e di **collegare staticamente** le sue parti.

12.1.2.1.1. Struttura di FONDAZIONE

Insieme degli elementi tecnici del sistema edilizio aventi funzione di **trasmettere i carichi** del sistema edilizio stesso **al terreno**.

Le classi di elementi tecnici le distinguono in

- **dirette**, ovvero di strutture appoggiate direttamente al terreno che reagisce alla compressione
- **indirette**, ovvero strutture non appoggiate direttamente al terreno che agiscono attraverso altri elementi sul terreno.

12.1.2.1.2. Struttura di ELEVAZIONE

Insieme degli elementi tecnici del sistema edilizio aventi funzione di **sostenere i carichi verticali e/o orizzontali trasmettendoli alle strutture di fondazione**.

Le classi di elementi tecnici le distinguono in

- **verticali**, ovvero elementi tecnici verticali che assolvono alla funzione di trasferire i carichi della sovrastruttura alle strutture sottostanti preposte a riceverli,
- **orizzontali ed inclinati**, ovvero elementi tecnici orizzontali ed inclinati che assolvono alla funzione di trasferire i carichi della sovrastruttura
- **spaziali**, ovvero sono costituite dagli elementi tecnici aventi la funzione di sostenere i carichi mediante un sistema strutturale morfologicamente spaziale.

12.1.2.1.3. Struttura di CONTENIMENTO

Insieme degli elementi tecnici funzionalmente **connessi** con il sistema edilizio aventi funzioni di **sostenere i carichi derivanti dal terreno**.

Le classi di elementi tecnici le distinguono in

- **verticali**, ovvero elementi tecnici verticali connessi all'organismo edilizio che hanno la funzione di assorbire i carichi orizzontali del terreno
- **orizzontali**, ovvero elementi tecnici verticali connessi all'organismo edilizio che hanno la funzione di assorbire i carichi verticali del terreno.

12.1.2.2. Chiusure

Insieme delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici appartenenti al sistema edilizio aventi funzione di **separare e conformare** gli spazi interni del sistema edilizio stesso rispetto all'**esterno**.

12.1.2.2.1. Chiusura VERTICALE

Insieme degli elementi tecnici **verticali** del sistema edilizio aventi funzione di **separare spazi interni del sistema edilizio rispetto all'esterno**.

Le classi di elementi tecnici le distinguono in

- **pareti perimetrali verticali** quali elementi tecnici **verticali opachi** che gestiscono gli scambi energetici, acustici, gassosi senza permettere il passaggio di materia
- **infissi esterni verticali** quali elementi tecnici **verticali trasparenti** che gestiscono gli scambi energetici, acustici, gassosi e di materia.

12.1.2.2.2. Chiusura ORIZZONTALE INFERIORE

Insieme degli elementi tecnici **orizzontali** del sistema edilizio aventi funzione di **separare spazi interni del sistema edilizio rispetto al terreno**.

Le classi di elementi tecnici le distinguono in

- **solai a terra** quali elementi tecnici **orizzontali opachi** che gestiscono gli scambi energetici, acustici, gassosi con il terreno sottostante

- **infissi orizzontali inferiori** quali elementi tecnici orizzontali che gestiscono gli scambi energetici, acustici, gassosi e permettono il passaggio di materia verso lo spazio sottostante

12.1.2.2.3. Chiusura ORIZZONTALE SU SPAZI APERTI

Elementi tecnici **orizzontali** con funzione di **separare spazi interni del sistema edilizio rispetto a spazi esterni sottostanti**.

Le classi di elementi tecnici le distinguono in:

- **solai su spazi aperti** quali elementi tecnici orizzontali **opachi** che gestiscono gli scambi energetici, acustici, gassosi verso lo spazio sottostante.

12.1.2.2.4. Chiusura SUPERIORE

Insieme degli elementi tecnici **orizzontali** del sistema edilizio aventi funzione di **separare spazi interni del sistema edilizio rispetto a spazi esterni sovrastanti**.

Le classi di elementi tecnici le distinguono in:

- **coperture** quali elementi tecnici **orizzontali opachi** che gestiscono gli scambi energetici, acustici, gassosi, senza permettere il passaggio di materia verso lo spazio esterno sovrastante.

- **infissi orizzontali superiori** quali elementi tecnici **orizzontali trasparenti** che gestiscono gli scambi energetici, acustici, gassosi e il passaggio di materia verso lo spazio esterno sovrastante

12.1.2.3. Partizioni Interne

Insieme delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici appartenenti al sistema edilizio aventi funzione di **separare e conformare** gli spazi interni del sistema edilizio stesso.

12.1.2.3.1. Partizione interna VERTICALE

Insieme degli elementi tecnici **verticali** del sistema edilizio aventi funzione di **dividere e articolare gli spazi interni del sistema edilizio**.

Le classi di elementi tecnici le distinguono in:

- **pareti interne verticali** quali elementi tecnici verticali che articolano lo spazio e gestiscono gli scambi energetici, acustici, gassosi e il passaggio di materia attraverso gli spazi interni del sistema edilizio.

- **infissi interni verticali**

- **elementi di protezione**

12.1.2.3.2. Partizione interna ORIZZONTALE

Insieme degli elementi tecnici **orizzontali** del sistema edilizio aventi funzione di **dividere e di articolare gli spazi verticale del sistema edilizio**.

Le classi di elementi tecnici le distinguono in:

- **solai** quali elementi tecnici **orizzontali** che articolano lo spazio e gestiscono gli scambi energetici acustici, gassosi e il passaggio di materia attraverso gli spazi interni del sistema edilizio.

- **soppalchi**

- **infissi interni orizzontali**

12.1.2.3.3. Partizione interna INCLINATA

Insieme degli elementi tecnici **inclinata** del sistema edilizio aventi funzione di **collegare spazi a quote diverse**.

Le classi di elementi tecnici le distinguono in:

- **scale interne** quali elementi tecnici prossimi all'orizzontale che collegano spazi a quote diverse, tramite alzate e pedate regolate da rapporti specifici in base alle funzioni

- rampe interne

12.1.2.4. Partizioni Esterne

Insieme delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici appartenenti al sistema edilizio aventi funzione di **separare e conformare** gli spazi **connessi** con il sistema edilizio stesso.

12.1.2.4.1. Partizione esterna VERTICALE

Insieme degli elementi tecnici **verticali** del sistema edilizio aventi funzione di **dividere e di articolare gli spazi esterni connessi al sistema edilizio.**

Le classi di elementi tecnici le distinguono in:

- **elementi di protezione** quali elementi tecnici connessi al sistema edilizio aventi funzione di proteggere le utenze e il sistema edilizio stesso da agenti esterni

- **elementi di separazione** quali elementi tecnici connessi al sistema edilizio aventi funzione di articolare lo spazio esterno

12.1.2.4.2. Partizione esterna ORIZZONTALE

Insieme degli elementi tecnici **orizzontali** del sistema edilizio aventi funzione di **dividere ed articolare gli spazi verticali esterni connessi al sistema edilizio.**

Le classi di elementi tecnici le distinguono in:

- **balconi e logge** quali elementi tecnici connessi al sistema edilizio aventi la funzione di articolare lo spazio esterno verticale

- **passerelle**

12.1.2.4.3. Partizione esterna INCLINATA

Insieme degli elementi tecnici **inclinata** del sistema edilizio aventi funzione di **collegare spazi esterni a quote diverse.**

- **scale esterne**

- **rampe esterne**

Per la rifunzionalizzazione sono stati considerati i seguenti subsistemi:

- Chiusure orizzontali inferiori: solaio controterra aerato;
- Chiusure Verticali: pareti perimetrali verticali;
- Chiusure Verticali: infissi esterni verticali;
- Partizioni interne: Partizioni interne verticali;
- Partizioni interne: Solaio interpiano;
- Chiusure orizzontali superiori: copertura.

TAV. 12.01-195
Chiusure orizzontali inferiori
Solaio controterra aerato

TAV. 12.01-196
Chiusure Verticali
Pareti perimetrali verticali

TAV. 12.01-197
Chiusure verticali
Infissi esterni verticali

TAV. 12.01-198
Partizioni interne
Partizioni interne verticali

TAV. 12.01-199
Partizioni interne
Partizioni interne orizzontali

TAV. 12.01-200
Chiusure orizzontali superiori
Copertura

12.2 Scelte Tecnologiche

Fanno parte di questo paragrafo tutta una serie di tavole nelle quali vengono riportate le sezioni correnti dei vari sistemi tecnologici e i nodi tecnici per mostrare le scelte progettuali effettuate nel progetto di riqualificazione dell'ex cotonificio Fossati & Lamperti.

TAV. 12.01-201
Solai contro terra

TAV. 12.01-202
Chiusure Verticali opache 01

TAV. 12.01-203
Chiusure Verticali opache 02

TAV. 12.01-204
Solai Interpiano

TAV. 12.01-205
Chiusure verticali trasparenti
Partizioni interne leggere

TAV. 12.01-206
Partizioni interne pesanti

TAV. 12.01-207
Coperture 01

TAV. 12.01-208
Coperture 02

TAV. 12.01-209
NODI A1, A2 e A3

TAV. 12.01-210
NODI B1, B2 e B3

TAV. 12.01-211
NODI C1, C2 e C3

TAV. 12.01-212
NODI D1, D2 e D3

TAV. 12.01-213
NODI E1, E2 e E3

TAV. 12.01-214
NODI F1, F2 e F3

TAV. 12.01-215
NODI G1, G2, G3 e G4

TAV. 12.01-216
NODI H1, H2, H3 e H4

TAV. 12.01-217
NODI I1, I2 e I3

TAV. 12.01-218
NODI L1, L2, L3, L4 e L5

12.3 Dimensionamento Strutturale

12.3.1. Analisi dei carichi

12.3.1.1. Carico neve

La neve può depositarsi su un tetto in molte maniera differenti in dipendenza della forma del tetto, dalle sue proprietà termiche, dalla rugosità della sua superficie, dalla quantità di calore generata dal tetto, dalla prossimità degli edifici limitrofi, dal terreno circostante e dal clima meteorologico locale (in particolare dalla sua ventosità, dalle variazioni di temperatura e probabilità di precipitazioni di pioggia o neve). Inoltre i depositi di neve possono essere dovuti ad un accumulo di neve proveniente da differenti direzioni o ad una o più precipitazioni di neve all'interno di una singola perturbazione.

Per la stima del carico è usuale considerare prima di tutto lo strato uniforme di neve accumulata sotto condizioni di aria calma, la forma del tetto e la configurazione dello strato della neve causata dalle condizioni di vento.

Il carico neve sulle coperture sarà valutato con la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

dove:

μ_i è il coefficiente di forma del carico neve

q_{sk} è il valore caratteristiche del carico della neve al suolo in KN/m²

C_E è il coefficiente di esposizione, che generalmente ha valore pari a 1,0

C_t è il coefficiente termico, che generalmente ha valore pari a 1,0

Si ipotizza che il carico agisca verticalmente e lo si riferisce alla proiezione orizzontale dell'area del tetto.

12.3.1.1.1. Carico neve al suolo

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerando la variabilità delle precipitazioni a carattere nevoso da zona a zona.

In mancanza di adeguate indagini statistiche, che tengano conto sia dell'altezza del manto nevoso che delle sue densità, il carico di riferimento neve al suolo, per località posto a quota inferiore ai 1500 m.s.l.m., non dovrà essere assunto minore di quello calcolato in base alle espressioni nel seguito riportate, cui corrispondono valori con periodo di ritorno di circa 200 anni.

Per altitudini superiori ai 1500 m.s.l.m. si dovrà invece fare riferimento alle condizioni locali di clima e di esposizione utilizzando comunque valori di carico neve non inferiori a quelli previsti per i 1500 m.s.l.m.

La città di Monza e quindi il sito oggetto di intervento si trovano in Lombardia e quindi nella Zona nazionale I e quindi soggetta ai seguenti valori:

Zona Nazionale I

Regioni: Valle D'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Veneto, Abruzzo, Molise, Marche:

$q_{sk} = 1,60$	kN/m ²	A ≤ 200 m. s.l.m.
$q_{sk} = 1,60 + 3 \cdot \frac{(A - 200)}{1000}$	kN/m ²	200 < A ≤ 750 m. s.l.m.
$q_{sk} = 3,25 + 8,50 \cdot \frac{(A - 750)}{1000}$	kN/m ²	A > 750 m. s.l.m.

A = altezza sul livello del mare del luogo oggetto di intervento

EUROCODICE 1

Basi di calcolo ed azioni sulle strutture

Parte 2-3: Azioni sulle strutture
Carichi da neve

102. Italia – zona della neve



Tabella 17.
Zona Nazionale I

12.3.1.1.2. Coefficienti di forma del carico

In generale verranno usati i coefficienti di forma per il carico neve contenuti nel presente paragrafo, dove vengono indicati i relativi valori nominali per le coperture a una o più falde, essendo espresso in gradi sessagesimali l'angolo formato dalla falda con l'orizzontale.

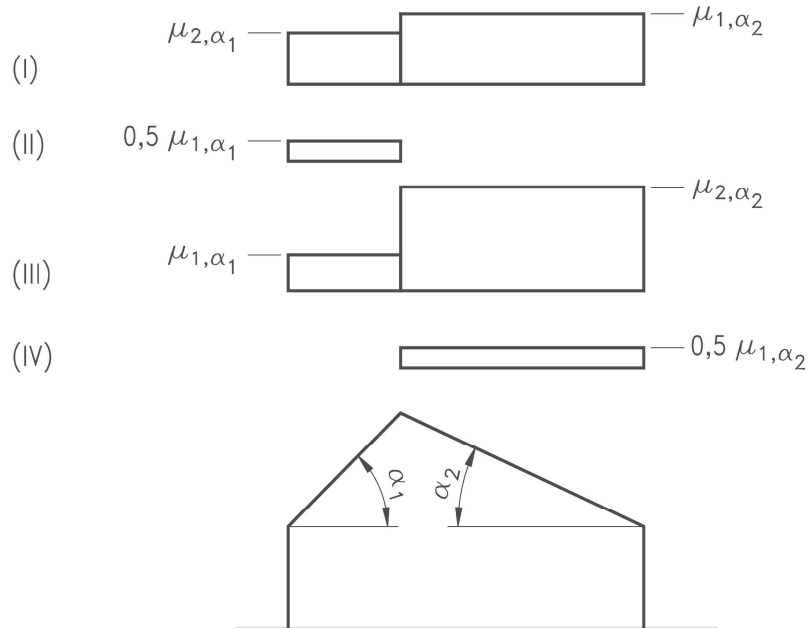
Nel caso specifico occorre fare riferimento alle tabelle sia per i tetti a due falde per quanto riguarda il corpo F5 e anche per i tetti a più falde per quanto riguarda la parte più a nord del corpo F2.

Tabella 18.

Coefficiente di forma del carico della neve – tetto a due falde.

Angolo Falda	$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$	$15^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
Coefficiente di forma μ_1	0,8	0,8	$0,8 \cdot (60 - \alpha) / 30$	0,0
Coefficiente di forma μ_2	0,8	$0,8 + 0,6 \cdot (\alpha - 15) / 30$	$1,1 \cdot (60 - \alpha) / 30$	0,0

103. Schema delle combinazioni di carico del tetto a due falde.



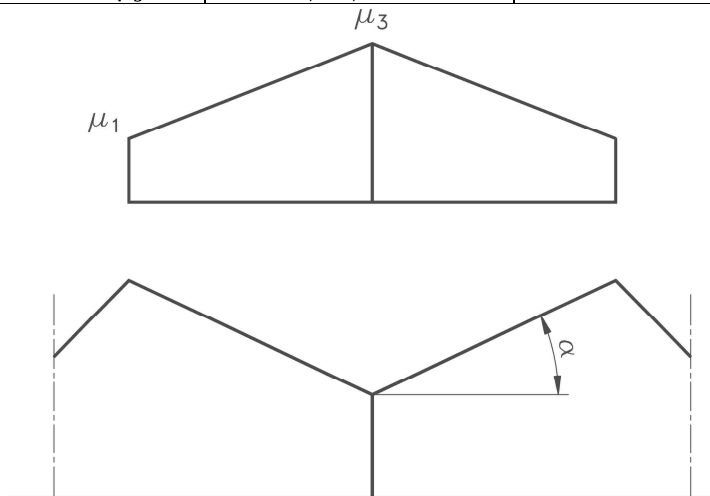
Deve essere considerata la combinazione di carico più sfavorevole di quelle qui sopra esposte

Tabella 19.

Coefficiente di forma del carico della neve – tetto a più falde.

Angolo di falda	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$
Coefficiente di forma μ_1	0,8	$0,8 \cdot (60 - \alpha) / 30$
Coefficiente di forma μ_3	$0,8 + 0,8 \cdot \alpha / 30$	1,6

104. Schema delle combinazioni di carico del tetto a più falde.



Per gli abbaini montati sulla prima parte dell'edificio F2 e per la copertura della grande galleria che presentano una forma curva, sia concava che convessa occorre costruire particolari formule di carico.

12.3.1.2. Azioni del vento

Le azioni del vento sono classificate come azioni variabili libere. Esse agiscono direttamente sulle superfici esterne di strutture chiuse e, attraverso la porosità delle superfici esterne, agiscono anche indirettamente sulle superfici interne. Esse possono investire anche direttamente le superfici interne di strutture aperte.

L'effetto di altre azioni sulle strutture (come neve, traffico o ghiaccio) che modificherebbero l'area di riferimento e i coefficienti deve essere tenuto in considerazione.

La pressione agisce sulle superfici producendo forze normali ad esse per la struttura o per singoli componenti del rivestimento. Inoltre, quando larghe aree di strutture sono investite dal vento, le forze di attrito che agiscono tangenzialmente alla superficie, possono essere significative.

La risposta complessiva delle strutture e dei loro elementi può essere considerata come sovrapposizione di una componente di "fondo", che agisce quasi staticamente e una componente di "risonanza" alla componente dell'eccitazione vicina alle frequenze naturali. Per la maggioranza delle strutture le componenti di risonanza sono modeste e il carico del vento può essere semplificato considerando la sola componente di fondo.

12.3.1.2.1. Azioni statiche equivalenti

Le azioni statiche del vento si traducono in pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione

L'azione del vento sul singolo elemento viene determinata considerando la combinazione più gravosa della pressione agente sulla superficie esterna e della pressione agente sulla superficie interna dell'elemento.

Nel caso di costruzioni o elementi di grande estensione, si deve inoltre tenere conto delle azioni tangenziali esercitate dal vento. L'azione d'insieme esercitata dal vento su una costruzione è data dalla risultante delle azioni sui singoli elementi, considerando di norma, come direzione del vento, quella corrispondente ad uno degli assi principali della pianta della costruzione; in casi particolari, come ad esempio le torri, si deve considerare anche l'ipotesi di vento spirante secondo la direzione di una delle diagonali.

12.3.1.2.2. Pressione del vento

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_{ref} \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

dove

q_{ref} è la pressione cinetica di riferimento

c_e è il coefficiente di esposizione

c_p è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento

c_d è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

TAV. 12.03-219
Calcolo del carico neve

EUROCODICE 1
Basi di calcolo ed azioni sulle
strutture
Parte 2-4: Azioni sulle strutture
Azioni del vento

12.3.1.2.3. Azione tangente del vento

L'azione tangente per unità di superficie parallela alla direzione del vento è data dall'espressione:

$$p_f = q_{ref} \cdot c_e \cdot c_f$$

dove

q_{ref} e c_e sono già stati definiti al punto precedente
 c_f è il coefficiente d'attrito funzione della scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangenziale

12.3.1.2.4. Pressione cinetica di riferimento

La pressione cinetica di riferimento q_{ref} (in N/m²) è data dall'espressione:

$$q_{ref} = \frac{v_{ref}^2}{1,6}$$

nella quale v_{ref} è la velocità di riferimento del vento (in m/s).

La velocità di riferimento è il valore massimo, riferito ad un intervallo di ritorno di 50 anni, della velocità del vento misurata a 10 metri dal suolo su un terreno di V categoria e mediata su 10 minuti. In mancanza di adeguate indagini statistiche è data dall'espressione:

Tabella 20.
Definizione di v_{ref}

$v_{ref} = v_{ref,0}$	per $a_s \leq a_0$
$v_{ref} = v_{ref,0} + k_a \cdot (a_s - a_0)$	per $a_s > a_0$

dove

$v_{ref,0}$, a_0 , k_a sono in funzione della zona ove sorge la costruzione come da tabella sottostante e dalla figura qui accanto.

Tabella 21.
Coefficienti delle zone del vento.

Zona	Descrizione	$v_{ref,0}$ (m/s)	a_0	$k_0 = \frac{1}{s}$
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia , Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,012
2	Emilia Romagna	25	750	0,024
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,030
4	Sicilia e prov. di Reggio Calabria	28	500	0,030
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola della Maddalena)	28	750	0,024
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola della Maddalena)	28	500	0,030
7	Liguria	29	1000	0,024
8	Provincia di Trieste	31	1500	0,012
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,030

a_s è l'altitudine sul livello del mare (in metri) del sito ove sorge la costruzione.



105. Mappa del vento (zone)

12.3.1.2.5. Coefficienti di esposizione

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza della costruzione z sul suolo, dalla rugosità e dalla topografia del terreno, dall'esposizione e della tipologia del terreno, dall'esposizione del sito ove sorge la costruzione.

È dato dalla formula:

$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot \left[7 + c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right]$	per $z \geq z_{min}$
$c_e(z) = c_e(z_{min})$	per $z < z_{min}$

Tabella 22.
Definizione $c_e(z)$

dove:

k_r, z_0, z_{min} sono assegnati in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

c_t è il coefficiente di topografia.

In mancanza di analisi che tengano conto sia della direzione di provenienza del vento sia delle variazioni di rugosità del terreno, la categoria di esposizione è assegnata in funzione della posizione geografica del sito ove sorge la costruzione e della classe di rugosità del terreno.

Categoria del terreno		k_r	$z_0 [m]$	$z_{min} [m]$
I	Mare aperto, laghi con minimo 5 km di estensione sopravento e campagna senza ostacoli	0,17	0,01	2
II	Terreno agricolo con recinzioni, piccole fattorie isolate, case o alberi.	0,19	0,05	4
III	Aree suburbane o industriali o foreste permanenti	0,22	0,30	8
IV	Area urbana in cui almeno il 15% della superficie sia coperta da edifici la cui altezza media superi i 15 m.	0,24	1	16

Tabella 23.
Categorie del terreno e parametri relativi.

12.3.1.2.6. Coefficiente di topografia

Il coefficiente di topografia c_t è posto di regola pari a 1 sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose, montane. Nel caso di costruzioni ubicate presso la sommità di colline o pendii isolati il coefficiente di topografia c_t deve essere valutato con analisi più approfondite.

Nelle fasce entro i 40 km dalla costa delle zone da 1 a 6, la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito.

TAV. 12.03-220
Calcolo dell'azione del vento

12.3.2. Definizioni delle strutture del Complesso Edilizio F

12.3.2.1. Descrizione generale della struttura

Il Complesso Edilizio F sorge nella periferia sud della città di Monza nei pressi di un'ampia zona verde lungo il corso del fiume Lambro dove si alternano piccole zone boschive e vasti campi agricoli e cascine.

L'edificio presenta una struttura esistente costituita principalmente da murature portanti in mattoni pieni, solette in latero-cemento con forma a volta e copertura a due falde con struttura portante lignea.

Per poter comprendere al meglio l'intervento proposto occorre suddividere il Complesso Edilizio F in parti omogenee rispetto alle strutture realizzate. Il progetto è suddivisibile in 6 parti distinte ma che presentano oltre ad alcune differenze anche scelte comuni e ripetute per tutto l'intervento, o quasi, in grado quindi di conferire un certo grado di uniformità ed omogeneità stilistico-strutturale.

TAV. 12.03-221
Assonometrico Strutture Ed. F1

— La parte Blu corrisponde al lungo corridoio parallelo a tutto il Complesso Edilizio F ed è costruito interamente da nuovo, demolendo la vecchia struttura. Questa parte prende il nome di Edificio F1 e si sviluppa sia a piano terra che a piano interrato (che costituisce un ampliamento). La struttura portante di questa parte presenta soletta contro terra e chiusure verticali di contenimento del terreno in cemento armato mentre il resto delle strutture di elevazione sono costituite da una struttura a telaio in metallo.

TAV. 12.03-222
Assonometrico Strutture Ed. F2

— La parte Verde corrisponde a tre diverse funzioni e cioè ai laboratori artigianali, ad alcuni spazi commerciali e al piccolo centro congressi con annessa zona foyer/espositiva. La struttura portante resta quella esistente costituita da murature portanti in mattoni pieni e da volte in mattoni a copertura del piano interrato. Sulle murature perimetrali in mattoni vengono fissate le travi metalliche portanti che sorreggono i vari soppalchi realizzati all'interno. Viene sostituita interamente la copertura lignea con un'altra copertura anch'essa in legno con una serie di abbaini per collegare gli spazi del piano primo e per permettere il passaggio della luce naturale all'interno dell'edificio. Per inserire i nuovi sistemi di collegamento verticale (scale, ascensori e montacarichi) tra piano interrato e piano terra vengono demolite alcune porzioni delle volte esistenti.

TAV. 12.03-223
Assonometrico Strutture Hall

— La parte Rossa corrisponde alla Grande Hall di ingresso ed è costruita ex novo in quanto l'intervento è volto anche ad ampliare la parte a piano interrato aggiungendo addirittura un secondo livello interrato. Le strutture controterra sono in cemento armato, la parte esistente che è stata ricostruita presenta una struttura portante in metallo e legno del tutto analoga con le finiture al resto dell'intervento di recupero generale mentre la parte in ampliamento è caratterizzata da una struttura portante in legno con copertura in lastre di vetro sorrette da spider metallici.

TAV. 12.03-224
Assonometrico Strutture Ed. F3

— La parte Azzurra prevede la demolizione della copertura esistente ampliando la superficie a disposizioni con la realizzazione di soppalchi intermedi all'interno dell'Edificio F3 in modo del tutto analogo per tipologia a quelli realizzati all'interno dell'edificio F2 e una nuova struttura a secco a piano secondo al posto della vecchia copertura a padiglione. Questa nuova struttura è realizzata con struttura metallica e pareti / copertura in vetro con infissi metallici. A questo livello sono stati inseriti alcuni balconi in aggetto.

TAV. 12.03-225
Assonometrico Strutture Ed. F4

— La parte Gialla riguarda la Grande Galleria Pubblica costruita ex novo dopo la demolizione degli edifici esistenti. La parte interrata è costituita da strutture portanti in cemento armato mentre il resto risulta essere costituito da strutture in metallo con solai intermedi realizzati come tutti gli altri solai di nuova costruzione

all'interno del Complesso Edilizio. La copertura è costituita con travi curve in legno sorrette da pilastri "alberiformi" in metallo.

La parte Rosa riguarda il recupero dell'Edificio F5 con il mantenimento delle strutture esistenti in mattoni pieni e dei solai in laterocemento a piano interrato, a piano terra e piano primo. Viene realizzato il recupero del sottotetto esistente per ampliare la superficie a disposizione. Per poter fare questo è stato inserito un nuovo solaio interpiano con struttura a secco e con tipologia strutturale del tutto analoga alle scelte tecnologiche per precedenti solai che costituiscono i vari nuovi soppalchi a progetto. La copertura a due falde è stata realizzata con nuove capriate metalliche, studiate ad ok senza intervenire su pendenza né altezza di gronda, che permettono di ottenere questo nuovo spazio. Non tutto il sottotetto viene recuperato come spazio chiuso, una parte di questo, verso est, viene trattato come una lastrico solare ad utilizzo della funzione insediata a piano sottotetto.

TAV. 12.03-226
Assonometrico Strutture Ed. F5



106. Planivolumetrico riportante le varie parti del Complesso Edilizio F

12.3.2.2. Metodo di calcolo

Per ogni asta orizzontale che compone la struttura in oggetto è stata eseguita quindi la progettazione allo stato limite ultimo e la verifica della freccia allo stato limite d'esercizio ($f < f_{max}$). La verifica allo stato tensionale ($\sigma < \sigma_{adm}$) è già soddisfatta nella fase di progetto e la verifica più vincolante è quella della deformazione.

Nella fase di progetto allo SLU sono stati utilizzati i coefficienti di sicurezza per g , g_1 e g_2 di 1,4 mentre per q di 1,5.

È stato calcolato il momento sollecitante e in seguito il modulo di resistenza s . Dai proutuari si individuano i profili con W maggiore del W_d di progetto e scegliendo infine il profilo più adatto per il pacchetto costruttivo del solaio e comunque quello di peso inferiore per motivi soprattutto economici. Per la verifica della freccia allo SLE viene assunto il più sfavorevole schema di carico considerando una trave in semplice appoggio e sollecitata con un carico omogeneamente distribuito sulla lunghezza delle travi.

In tali condizioni la freccia è data dalla seguente espressione:

$$f_{max} = \left(\frac{5 \cdot g \cdot l^4}{384 \cdot EJ} \right) < \left(\frac{l_{uce}}{500} \right)$$

Per i pilastri è stato utilizzato il metodo omega, impiegando la normativa C.N.R. 10011/98 per la verifica della stabilità.

Per poter applicare il metodo occorre considerare la lunghezza di libera inflessione, calcolata attraverso questa formula:

$$l_0 = l \cdot \beta$$

dove

l = altezza del pilastro

β = coefficiente di vincolo valutato in funzione delle condizioni di vincolo dell'asta nel piano di inflessione considerato secondo la C.N.R. 10011.

Questa grandezza permette di trovare la snellezza del pilastro:

$$\lambda_x = \frac{l_0}{i_x} \qquad \lambda_y = \frac{l_0}{i_y}$$

È stata quindi considerata sia la snellezza λ_y calcolata nel piano in cui agisce il momento flettente che la snellezza λ_x calcolata nel piano in cui non agisce il momento flettente.

Nella direzione della snellezza λ_y il pilastro è pressoinflesso e la normativa prevede di verificare il profilato mediante la formula:

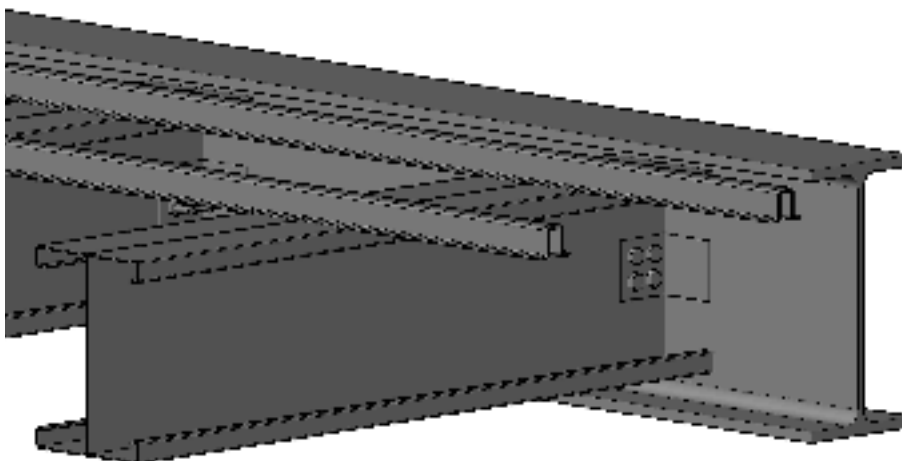
$$\omega \cdot \left(\frac{N}{A} \right) + \left(\frac{M_{eq}}{W \cdot \left(1 - v \left(\frac{N}{A \cdot \sigma_{critico}} \right) \right) \cdot \varphi} \right) < \sigma_{adm}$$

Infine stabiliti i profili utilizzabili per i pilastri dimensionati secondo la normativa C.N.R. 10011, sono state operate su di essi le verifiche con il metodo delle tensioni ammissibili secondo l'Eurocodice 3. Per quanto riguarda i valori di progetto delle azioni sulla struttura si dovrebbero prendere in considerazione varie combinazioni nelle quali le azioni permanenti quando incrementano l'effetto delle azioni variabili, cioè producono effetti sfavorevoli, dovrebbero essere dai loro valori di progetto superiori, mentre quando diminuiscono l'effetto delle azioni variabili producono cioè effetti favorevoli, dovrebbero essere rappresentate dai loro valori di progetto inferiori. Ne segue che tali azioni dovrebbero essere amplificate con dei coefficienti parziali di sicurezza fornite dal prospetto 2.2 dell'Eurocodice 3, che li diversifica a secondo

dell'azione considerata (permanente, variabile) e dell'effetto che induce sulla struttura (favorevole o sfavorevole). Per quanto riguarda le verifiche che verranno svolte, si prenderanno i valori di carico ottenuti dalla combinazione dello S.L.U. esaminata.

12.3.2.3. Dimensionamento del Solaio Tipo

Il solaio tipo progettato per i soppalchi realizzati all'interno della struttura principale esistente sono costituiti come dallo schema riportato qui sotto.



107. Struttura metallica del solaio tipo

Sono stati dimensionati tutti i vari elementi che costituiscono il solaio attraverso l'utilizzo di alcuni fogli elettronici.

Il primo elemento che è stato dimensionato è il profilo ad Omega che è posizionato appena sotto l'assito in legno e che vengono utilizzati al fine di ottenere planarità di appoggio con gli elementi strutturali portanti.

Il secondo elemento che è stato oggetto di verifiche dimensionali sono i profili a C accoppiati che costituiscono i Profil-Haus e sui quali sono posizionati in semplice appoggio i profili ad Omega. Tali elementi sono realizzati in lamiera presso piegata dello spessore di 4 mm e comunque sono già analizzati e verificati dalla casa produttrice che ne specifica le caratteristiche di resistenza in funzione delle dimensioni. Nel caso specifico il calcolo di questi elementi è condotto secondo le linee guida che caratterizzano il calcolo dei comuni profili da carpenteria metallica. Nelle soluzioni più penalizzanti l'interasse massimo tra le travi principali è di 450 cm e sono stati utilizzati Profil-Haus, cioè profili a C piegati a freddo 200x75x30 spess. 4 mm in acciaio tipo Fe360 disposti con interasse massimo di cm 60.

Mentre i profili ad Omega sono semplicemente appoggiati sui profili a C, questi ultimi sono fissati con squadrette alla travatura secondaria o principale, a seconda dei casi. Le squadrette utilizzate risultano già saldate sulla trave principale o secondaria mentre presentano dei fori sull'altra parte della squadretta dove poter fissare con appositi bulloni i profili a C.

12.3.2.4. Dimensionamento delle travi principali

Le travi principali dei vari soppalchi sono in semplice appoggio anche se la scelta di travi continue in alcune situazioni sarebbe stata di aiuto per diminuire la sezione della trave stessa ma essendo un intervento di recupero sono presenti una serie di grosse murature che dividono i vari ambienti e che vengono mantenute.

Sono stati effettuati i calcoli per il dimensionamento delle travature portanti in tutti e 5 gli spazi precedentemente evidenziati perché presentano luci differenti tra loro mentre gli interassi sono più o meno gli stessi.

TAV. 12.03-227
Dimensionamento Profilo ad Omega

TAV. 12.03-228
Dimensionamento ProfilHaus

TAV. 12.03-229
Verifica unioni bullonate
Verifica unione saldate

TAV. 12.03-230
Dimensionamento travi principali solai
interpiano

Il sovraccarico accidentale nei calcoli è sempre considerato pari a 5,00 in quanto gli ambienti considerati sono aree di compere al dettaglio generali, per esempio magazzini, cartolerie, magazzini d'ufficio, ecc. e le deformazioni massime ammesse sono pari a 1/500 della luce stessa dei solai.

Sulle travi principali sono presaldato le squadrette di ancoraggio dei profili tipo Profil-Haus con il passo specificato caso per caso, in modo tale da velocizzare il montaggio.

12.3.2.5. Dimensionamento pilastri

TAV. 12.03-231
Dimensionamento pilastri
Edificio F3

In questa parte vengono presi in considerazione i pilastri che costituiscono il nuovo piano realizzato sopra l'Edificio F3.

Si considera la nuova struttura in ferro appoggiata sulla struttura in muratura esistente e vengono svolti i calcoli necessari per determinare le azioni interne che agiscono sui vari profili scelti, per verificarne anche l'effettiva capacità resistente.

I risultati dei calcoli portano all'utilizzo di pilastri costituiti da profili HEA 220, più che sufficienti a sopportare i carichi e le sollecitazioni di un solo nuovo piano visto che il resto della struttura portante perimetrale è costituita dalle pareti esistenti in mattoni pieni.

12.4 Benessere Igrometrico

La prestazione di benessere igrotermico è espressa attraverso parametri di valutazione e relativi livelli che devono mantenersi all'interno di determinati "range" per non produrre situazioni di disagio.

Essi vanno già programmati nella fase di progettazione esecutiva e verificati al termine della progettazione, al termine della costruzione dell'edificio, nella fase di collaudo.

Per meglio comprendere il problema legato al benessere termico bisogna premettere alcune considerazioni sulla fisiologia umana.

Nelle cellule e nei tessuti del corpo umano avvengono un complesso di processi chimici e fisici che prendono il nome di **metabolismo**. Tali processi realizzano la trasformazione degli alimenti ingeriti e la trasformazione dell'ossigeno in anidride carbonica, consentendo la modificazione, l'accrescimento e la rigenerazione delle cellule dell'organismo, le funzioni fisiologiche indispensabili alla vita (quali l'attività nervosa, la circolazione del sangue, i movimenti respiratori) nonché le attività motorie. Si definisce **tasso metabolico**, o **metabolismo energetico M** la differenza tra l'energia somministrata mediamente nell'unità di tempo all'organismo sotto forma di alimenti, bevande e ossigeno e quella, media nell'unità di tempo, connessa a quanto scaricato dall'organismo stesso sotto forma di feci, urine, anidride carbonica.

Il termine M viene anche impropriamente visto come un termine di generazione per il volume di controllo uomo; non è costante nel tempo, dipendendo dalla qualità e quantità dei cibi ingeriti, dal momento della loro ingestione, dalle condizioni ambientali esterne, ma soprattutto dall'attività che la persona svolge: cresce passando dalla quiete ad attività intense e faticose.

La potenza meccanica ceduta per le attività motorie è sempre minore del termine di generazione: pertanto il corpo umano, affinché la sua energia interna e la sua temperatura non varino, deve cedere energia all'ambiente circostante. Tale energia viene ceduta essenzialmente per convezione con l'aria, per irraggiamento con le superfici circostanti e tramite evaporazione di acqua, dalla pelle e dai polmoni.

Quando l'energia ceduta risulta maggiore (minore) del tasso metabolico, la temperatura media del corpo diminuisce (cresce) fino a giungere o ad una nuova condizione di regime o al collasso. L'organismo reagisce ad eventuali squilibri innescando complessi meccanismi di termoregolazione. **Condizioni di benessere termico o termoigrometrico sono definite le condizioni di soddisfazione termica per l'individuo ovvero le condizioni nelle quali l'individuo "non ha né caldo né freddo"**. Da un punto di vista fisiologico rappresentano condizioni per le quali l'attività dei meccanismi di termoregolazione è modesta.

Nella fisiologia della termoregolazione il corpo umano si suddivide in due zone: una esterna costituita dalla pelle e dai tessuti sottocutanei, ed una interna, o nucleo, comprendente gli organi vitali. Le due zone sono caratterizzate da temperature diverse; in un soggetto sano la temperatura del nucleo è quasi costante, mediamente uguale a 37 °C, con variazioni nell'arco della giornata di +/- 0,5 0C. La funzione di mantenere quasi isoterma il nucleo del corpo è delegata al sistema di termoregolazione. Esistono due tipi di termoregolazione:

- vasomotoria
- comportamentale.

La termoregolazione vasomotoria interessa i capillari periferici, cioè quelli superficiali; essi sono dotati di sfinteri (valvole), che aprendosi o chiudendosi, permettono o impediscono l'afflusso di sangue. In ambienti freddi si ha la chiusura delle valvole

(vasocostrizione), con diminuzione dell'afflusso di sangue verso la periferia, con conseguente diminuzione della temperatura superficiale e dello scambio termico con l'esterno.

In ambienti caldi si riscontra la situazione opposta. L'apertura degli sfinteri determina un aumento dell'afflusso di sangue alla periferia, con conseguente aumento della temperatura della pelle e dello scambio termico con l'esterno.

Nel caso in cui la termoregolazione vasomotoria non sia sufficiente ad assicurare l'omeotermia del nucleo, interviene la termoregolazione comportamentale. Contro il freddo essa si manifesta con il brivido, che consiste nell'attivazione di quasi tutti i gruppi muscolari e nell'aumento di generazione di energia all'interno del corpo; contro il caldo consiste nella sudorazione. Se neanche la termoregolazione comportamentale è sufficiente ad assicurare l'omeotermia, si può avere ipotermia (fino alla morte per fibrillazione cardiaca) o ipertermia (fino alla morte per danni irreversibili alle proteine dei tessuti nervosi).

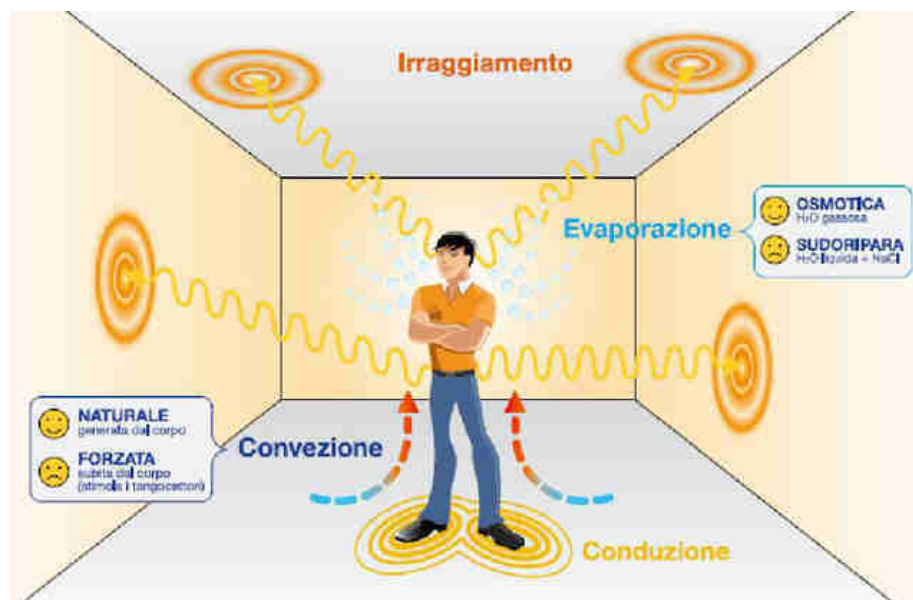
Il bilancio di energia sul corpo umano è espresso dall'equazione:

$$S = M - (W + E_{res} + C_{res} + C + R + E + K)$$

Nella quale tutti i termini sono potenze, usualmente espresse in W, con:

- S = accumulo di energia nel corpo
- M = metabolismo energetico
- W = potenza meccanica ceduta all'ambiente
- E_{res} = potenza termica ceduta all'ambiente nella respirazione come calore latente
- C_{res} = potenza termica ceduta all'ambiente nella respirazione come calore sensibile
- C = potenza termica ceduta all'ambiente per convezione
- R = potenza termica ceduta all'ambiente per irraggiamento
- E = potenza termica ceduta all'ambiente per evaporazione dalla pelle
- K = potenza termica ceduta all'ambiente per conduzione

108. Meccanismi di scambio termico ed igrotermico tra uomo, ambiente ed edificio



Si definiscono termicamente moderati gli ambienti nei quali la progettazione e la gestione degli impianti tendono al raggiungimento del benessere termico, definito come stato psicofisico in cui il soggetto esprime soddisfazione nei riguardi del microclima oppure come condizione in cui il soggetto non ammette nessuna sensazione di caldo o di freddo.

Entrambe le definizioni sono particolarmente semplici; estremamente più complesso è l'espressione del benessere termico o lo scostamento da esso in termini fisiologici o di parametri microclimatici.

Affinché si verifichino condizioni di benessere termico o termoigrometrico l'accumulo di energia nel corpo deve essere praticamente nullo; poiché inoltre sia il termine relativo alla potenza meccanica che allo scambio conduttivo tra il corpo e gli oggetti a contatto con esso sono di entità trascurabile rispetto agli altri termini, l'equazione precedente, in condizioni di benessere, può essere così riscritta :

$$M - (E_{res} + C_{res} + C + R + E) = 0$$

M → dipende dal tipo di attività svolta; per un normotipo adulto va dai 100 W per condizioni di riposo ai 200 W per lavoro leggero fino ad oltre 500 W per attività sportive o sforzi intensi.

E_{res} e **C_{res}** → sono funzioni di M, temperatura ed umidità dell'aria, complessivamente assumono valori delle decine di W;

C → è funzione del tipo di abbigliamento, della temperatura e della velocità dell'aria ambiente: assume valori delle decine di W;

R → è funzione del tipo di abbigliamento e della temperatura delle superfici dell'ambiente: assume valori delle decine di W;

E → è funzione del tipo di abbigliamento e della temperatura, umidità e velocità dell'aria ambiente: può assumere valori che vanno dalla decina di W ad alcune centinaia di W per attività sportive o sforzi intensi.

Dall'analisi sinteticamente effettuata dei diversi termini del bilancio termico sul corpo umano, si evince che alla determinazione dello stato termico del corpo umano contribuiscono quattro parametri fisici dell'ambiente:

1. temperatura dell'aria, t_a ,
2. velocità dell'aria, V_a ,
3. temperatura media radiante, t_r ,
4. grado igrometrico o umidità relativa, Φ ,

e due grandezze relative al soggetto:

5. attività svolta, ovvero il metabolismo energetico, M,
6. resistenza termica dell'abbigliamento, I_{cl} ,

L'insieme di queste sei variabili viene generalmente chiamato **ambiente termico**.

Nella tabella sottostante sono riportati valori della temperatura operativa t_0 , per i quali si rientra nelle condizioni di benessere come definite nella Norma EN-ISO 7730 del 2005 nel caso di attività leggere, 50% di umidità relativa e velocità media dell'aria $\leq 0,15$ m/s.

Stagione	I_{cl}	T_0 ottimale	Campo di possibile variazione della t_0 per un 10% di insoddisfatti
Inverno	0,90	22,0 °C	20,0°C 23,5°C
Estate	0,50	24,5 °C	23,0°C 26,0°C

Tabella 24.
Valori della temperatura operativa t_0

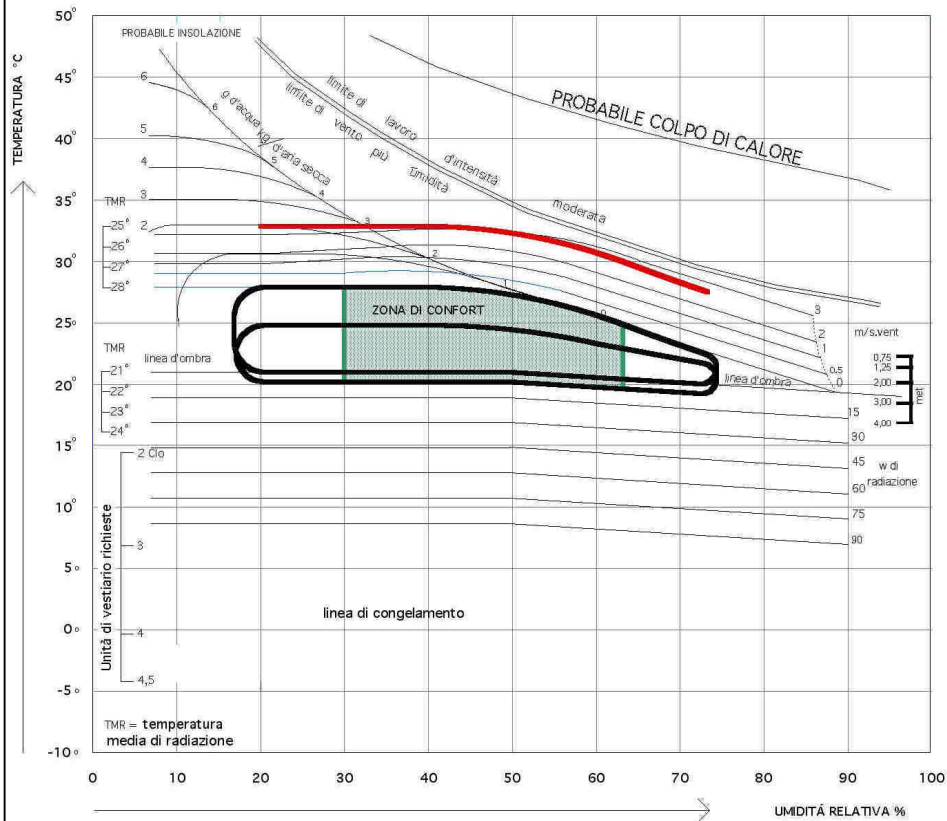
Una delle molteplici rappresentazioni diagrammate delle condizioni di benessere igrotermico è la carta bioclimatica di Olgay costruita sui seguenti parametri:

A. Flusso radiativo [W/m^2] che rappresenta la temperatura radiante media ponderata che a sua volta è la media delle temperature delle superfici che delimitano il locale, ponderata rispetto ai fattori di forma delle varie superfici.

B. Temperatura dell'aria (T_a) e velocità dell'aria (v_a) che in rapporto alla temperatura epiteliale governano gli scambi termici radiativi tra uomo e ambiente. La velocità dell'aria agisce anche sull'igroscambio facilitando l'evaporazione del sudore e la perspirazione.

C. Umidità relativa che incide sull'ogroscambio tra uomo e ambiente accompagnato da effetti termici.
 Attraverso la carta bioclimatica si può stimare se una specifica condizione igrotermica ambientale può essere considerata ottimale oppure no per il benessere igrotermico

109. Carta bioclimatica



Quando le condizioni igrotermiche ambientali ostacolano la cessione termica (situazione estiva), la temperatura del sangue tende a crescere e si manifesta una sensazione di caldo.

Quando tali condizioni al contrario attivano un' eccessiva cessione termica (situazione invernale), la temperatura del sangue tende a decrescere e si manifesta una sensazione di freddo.

Tali sensazioni sono i segnali che evidenziano come in condizioni estreme possono portare ad un innalzamento della temperatura corporea al di là dei limiti di sopravvivenza. A tal proposito è necessario distinguere tra benessere termico invernale e benessere termico estivo avendo osservato come il comportamento dell'organismo e la sua reattività al contesto è dipendente anche dalle condizioni termiche ambientali. Nei paragrafi successivi saranno presentati i controlli della condensazione interstiziale o della massa, della condensazione superficiale, della trasmittanza termica o termotrasmittanza e infine dell' inerzia termica.

12.4.1. Trasmittanza

Il benessere termico in un ambiente confinato dipende dai processi di termoscambio (scambi convettivi, conduttivi, radiativi) e da quelli di igroscambio (sudorazione, respirazione).

Nel periodo invernale, negli ambienti confinati, prevalgono i meccanismi di termoscambio i cui parametri di controllo sono:

T_{ai} = temperatura dell'aria interna (scambi convettivi)

V_{ai} = velocità dell'aria (scambi conduttivi)

T_{pav} = temperatura di pavimento (scambi conduttivi)

T_{mr} = temperatura media radiante degli elementi tecnici che, delimitano l'ambiente interno che si calcola con la seguente formula $T_{mr} = \frac{(\sum_i T_i \cdot A_i)}{(\sum_i A_i)}$

dove con T_i s'intende la temperatura piana radiante nelle sei direzioni dello spazio (sopra, sotto, sinistra, destra, avanti ed indietro) e con A_i i fattori di area proiettata .

ΔT_{mr} = differenza tra la temperatura media radiante di due emispazi definiti da un piano verticale passante per il punto calcolato. La velocità dell'aria, che influisce sul termoscambio, in inverno deve essere contenuta e non superare i 0.25 m/s.

Il valore dell'umidità relativa, poco influente ai fini del benessere termico invernale, deve essere contenuta tra il 40% e il 70%.

Un parametro sintetico indicativo degli scambi radiativi e convettivi é la temperatura operante definita dalla seguente formula:

$$T_o = \frac{(T_{mr} + T_a)}{2}$$

La T_o rappresenta la temperatura di equilibrio, che verrebbe a determinarsi su un punto infinitesimo posto al centro di una stanza, per effetto degli scambi radiativi e convettivi.

La Normativa Tecnica impone che:

$$18^\circ\text{C} < T_{op} < 20^\circ\text{C}$$

I dati presi in considerazione sono:

$T_{ai} = 20^\circ\text{C}$ (DPR 419/93)

$T_{op} = 19^\circ\text{C} \rightarrow T_{mr} = 18^\circ\text{C}$

$T_{pav} = 18^\circ\text{C}$

$\Delta T_{mr} = x_i$ (variabile)

Note le temperature superficiali interne degli elementi tecnici che racchiudono lo spazio di riferimento, si possono confrontare le termotrasmittanze obiettivo (definite dalla più recente normativa vigente D.M. 26 gennaio 2010) di ciascun elemento tecnico che andranno confrontate con le termotrasmittanze di progetto, sapendo che

$$K_p = \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{h_{hi}} \right) + \left(\sum_i \frac{s_i}{\lambda_i} \right) + \left(\frac{1}{h_e} \right) \right)}$$

$$Q = K_o \cdot (T_i - T_e) = a_i \cdot (T_i - T_s)$$

Nelle tavole il cui riferimento lo si può trovare in questa pagina in alto a destra sono riportati i calcoli di verifica delle trasmittanze per quanto riguarda le chiusure verticali opache, orizzontali contro terra e le coperture.

TAV. 12.03-232

Calcolo Trasmittanza di progetto
CHIUSURE VERTICALI OPACHE

TAV. 12.03-233

Calcolo Trasmittanza di progetto
SOLETTE CONTROTERRA
COPERTURE

Per quanto riguarda invece le chiusure verticali o orizzontali (inclinate) trasparenti occorre affrontare un discorso diverso in base alla tipologia della chiusura stessa.

La prima tipologia analizzata riguarda la copertura e alcune delle pareti verticali della grande Hall di ingresso. Queste pareti sono costituite da particolari lastre di vetro sorrette da spider in acciaio e non presentano alcun tipo di telaio. La verifica di queste parti si riduce quindi alla sola verifica della trasmittanza termica della lastra che risulta così composta:

- Vetrocamera 6/16/6 mm: vetro extrachiario, autopulente pirolitico in facciata e copertura, selettivo e basso emissivo magnetronico per il controllo solare:
 $U_g = 1,00 \text{ [W/m}^2\text{K]} < 1,80 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ tab. valori limite della trasmittanza termica unite (D.M. 26/01/2010)

Gli altri serramenti sono dotati della stessa vetrocamera ma presentano anche un telaio per cui occorre che l'intero sistema, telaio più vetro, debba rispettare il limite di legge di $U_w < 1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$.

In alcune parti si è scelto di installare dei curtain wall con una struttura con montanti e traversi tubolari, a taglio termico e con il reticolo che risulta a vista solo all'interno. Si ha una estetica esterna a tutto vetro e i moduli vetrati sono fissi o apribili senza che all'esterno si evidenzino differenze estetiche. Questa tipologia di serramento è garantita direttamente dalla casa produttrice con un $U_w = 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$, valore ben al di sotto del limite di legge. Per ridurre gli apporti eccessivi di luminosità o di calore all'interno dei locali nelle giornate estive sono state inserite delle tende alla veneziana di dimensioni molto ridotte all'interno dello stesso vetrocamera e comandabili elettricamente.

Le parti che presentano serramenti tradizionali presentano finestre in alluminio a taglio termico con vetrocamera analoghi ai precedenti. Il telaio risulta inserito e montato su una struttura monoblocco che consente di realizzare un foro finestra ad alta efficienza energetica che massimizza la resa termica e acustica. Si tratta di un sistema che permette contemporaneamente di definire con certezza i costi di produzione e di ridurre quelli di cantiere, coniugando serialità del prodotto e possibilità di personalizzazione ai massimi livelli. Questo monoblocco presenta spalle laterali coibentate in polistirene estruso XPS e fibrocemento associati ad un cassonetto ad alta densità appositamente sagomato per ospitare lamelle frangisole con inoltre la funzione di chiusura di sicurezza. Il tutto è completato da un sottobancale a taglio termico, per massimizzare il grado di isolamento. All'interno di spallette, voltini e sottobancali sono inseriti sistemi di ventilazione meccanizzata che trasforma il foro finestra in una struttura tecnologicamente avanzata, capace di rinnovare costantemente l'aria indoor, aumentando il benessere abitativo e la qualità dell'aria e valorizzando l'edificio grazie al miglioramento delle prestazioni energetiche dell'involucro. Questa possibilità di poter utilizzare tutte le aperture per un ricambio d'aria diffuso permette di non inserire impianti di grosse dimensioni e dai consumi elevati per assolvere allo stesso scopo. Queste tipologie di serramenti sono garantiti dalla ditta in fase di produzione con un $U_w = 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ del sistema serramento+vetro.

12.4.2. Condensazione interstiziale

L'equazione riportata qui sotto è formata dai seguenti elementi:

g	= quantità di vapore diffusa attraverso 1 m ² di muro in 1h	[kg/m ² h]
P_1	= pressione parziale di vapore nell'ambiente caldo	[Kg/m ²]
P_2	= pressione parziale di vapore nell'ambiente freddo	[kg/m ²]
R_d	= costante dei gas pari a 47,1	[kg/kg K]
T	= temperatura assoluta	[K]
μ	= fattore di resistenza alla diffusione del materiale	
D	= coefficiente di diffusione del vapor d'acqua nell'aria	[m ² /h]
S	= spessore dei vari strati	[m]

e regola la diffusione del vapore in assenza di condensazione:

$$g = \frac{(P_1 - P_2)}{\left(\sum s \cdot \mu \cdot \left(\frac{R \cdot \Delta T}{D}\right)\right)}$$

in particolar modo risulta: $D = 0,083 \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{1,81}$

Le specifiche di prestazione richieste sono:

- assenza di condensazione interna;
- in caso contrario che l'eventuale presenza di condensa interna sia rievaporabile annualmente, in modo da non dar luogo ad alterazioni.

Su tutte le stratigrafie è stata eseguita la verifica igrometrica con il tracciamento di due grafici:

- il primo riporta l'andamento delle temperature all'interno dei vari strati che costituiscono l'elemento tecnico a progetto
- il secondo riporta l'andamento dalla Pressione di saturazione (P_{sat}) e della Pressione di Vapore (P_v) all'interno dei vari strati che costituiscono l'elemento tecnico a progetto. Laddove la P_{sat} risulta essere maggiore della P_v allora non si ha formazione di condensa all'interno degli strati mentre nel caso contrario si. Se si dovesse verificare questa seconda situazione occorre calcolare la quantità di condensa che si forma all'interno dell'elemento tecnico e verificare se tale quantità può evaporare nell'arco di una stagione per evitare l'insorgere di problemi.

TAV. 12.03-234

Verifica Condensazione interstiziale
CHIUSURA PERIMETRALE OPACA –
Tipo 1

TAV. 12.03-235

Verifica Condensazione interstiziale
CHIUSURA PERIMETRALE OPACA –
Tipo 4

TAV. 12.03-236

Verifica Condensazione interstiziale
SOLETTA CONTROTERRA – Tipo 2

12.4.3. Condensazione superficiale

Questo controllo è legato all'igrometria ambientale, cioè ai fattori che influenzano l'umidità relativa nell'ambiente e risulta molto importante per il benessere connesso all'igiene ed alla salute degli utenti; per questo motivo è bene mantenere l'umidità relativa su valori contenuti tra il 40% e il 70% e controllarla mediante sistemi di aerazione naturali o artificiali, tenendo conto però che la capacità di scambiare umidità con l'ambiente da parte di chiusure, partizione ed arredo può ridurre in termini di una certa consistenza le punte di umidità relativa dell'aria ambientale connesse a specifiche attività.

Si può effettuare una veloce verifica sulla possibile formazione della condensazione superficiale o meno andando a confrontare il valore della Pressione di Vapore e della Pressione di Saturazione sulla riga della superficie interna della parete.

Se la Pressione di Saturazione è maggiore della Pressione di Vapore non si innescheranno i processi per l'attivazione della formazione della condensa sulle superfici interne delle relative pareti.

12.4.4. Inerzia termina

E' il parametro di valutazione specificamente orientato a caratterizzare il comportamento di un edificio in condizioni termiche non stazionarie. Esso dipende fortemente dal sistema costruttivo adottato e costituisce un mezzo per valutare la massa efficace dal punto di vista inerziale, di tutti gli elementi costruttivi protetti termicamente: (a) solai, (b) pareti interne, (c) strati interni di pareti esterne.

Si distinguono due ordini di inerzia:

1. inerzia quotidiana: riferita alla valutazione del comportamento termico (surriscaldamento) dell'insieme degli ambienti di un edificio o di un singolo ambiente rispetto all'escursione termica esterna giornaliera (estate) e ai flussi termici entranti, oppure rispetto allo spegnimento notturno (raffreddamento) dell'impianto di riscaldamento (inverno);
2. inerzia sequenziale: riferita alla capacità dell'edificio o dell'ambiente di alleviare su tempi lunghi l'influenza di variazioni climatiche anormali (periodi di gelo e di caldo).

La specificazione di prestazione richiesta, nel caso di edifici occupati in continuo con riscaldamento intermittente prevede un fattore d'inerzia < 150 Kg/mq.

Inerzia	Massa efficace per unità di superficie [kg/mq]	Classe
quotidiana	$M/Sa < 150$	L _{q1}
quotidiana	$150 \leq M/Sa \leq 400$	L _{q2}
quotidiana	$M/Sa > 400$	L _{q3}

Inerzia	Massa efficace per unità di superficie [kg/mq]	Classe
sequenziale	$M/Sa < 750$	L _{q1}
sequenziale	$750 \leq M/Sa \leq 1500$	L _{q2}
sequenziale	$M/Sa > 1500$	L _{q3}

Tabella 25.

Valori della Massa Efficace con inerzia quotidiana

Tabella 26.

Valori della Massa Efficace con inerzia sequenziale

12.4.5. Riferimenti normativi sui disperdimenti energetici

L'attuale normativa italiana prevede la regolamentazione dei disperdimenti energetici attraverso una serie di leggi che nel corso degli anni si sono evolute, modificate e migliorate.

Ad esempio precedentemente alla **legge 10/91** vigeva la **373/76** che fondava la verifica dell'isolamento termico dell'edificio sul coefficiente volumico di dispersione (per il cui calcolo si utilizzano dati istantanei, temperatura di progetto e per i serramenti valori diurni).

I principali contenuti sono i seguenti:

- A. Obbligo di un progetto del sistema edificio/impianto con attenzione al contenimento del consumo energetico
- B. Rimozione dei principali ostacoli alla delibera dei provvedimenti di risparmio energetico
- C. Deposizione presso gli uffici comunali della relazione tecnica di progetto al fine di assicurare le prescrizioni della legge
- D. Certificazione e collaudo delle opere
- E. Certificazione energetica degli edifici
- F. Manutenzione degli impianti
- G. Sanzioni per eventuali contravvenzioni

Nello specifico risultano rilevanti i seguenti articoli:

Articolo 1 comma 3

fonte di energia è anche il risparmio energetico

Articolo 1 comma 4

le opere di risparmio energetico "opere indifferibili e urgenti"

Articolo 26 comma 3

massimo contenimento dei consumi energetici ed elettrici, compatibilmente con l'avanzamento tecnologico.

Articolo 26 commi 7 e 8

impone agli Enti il ricorso alle fonti rinnovabili inoltre evidenzia come gli impianti debbano consumare poco, non che costare poco.

La novità introdotta dalla **Legge 10/91** è il calcolo del consumo convenzionale di energia e conseguente verifica del sistema edificio - impianto.

Tale legge prevedeva una serie di decreti attuativi ed in sintesi i contenuti principali sono i seguenti:

- A. Individuazione delle zone climatiche e dei gradi giorno
- B. Classificazione degli edifici per categorie
- C. Valori massimi della temperatura ambiente negli edifici
- D. Dimensionamento degli impianti termici
- E. Termoregolamentazione del calore
- F. Valori limite del fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale
- G. Limiti di esercizio degli impianti termici
- H. Controlli sugli impianti termici

Nel D.M. del 6/8/1994, in attuazione alla legge 10/91, si recepiscono le seguenti norme UNI per la descrizione dei criteri di calcolo e progettazione:

- **UNI 7357** Fabbisogno termico per il riscaldamento degli edifici: il calcolo di potenza è molto cautelativa, di conseguenza non necessita di specializzazione professionale, ognitipologia di impianto può essere adeguata, non esistono discriminanti sull'adozione dell'uno piuttosto di un altro e serve a verificare l'idoneità dell'isolamento termico.
- **UNI 10344** Riscaldamento degli edifici : il calcolo del fabbisogno termico di energia in termini di energia è necessario per : (a). verifiche previste dal DPR 412/93 - FEN (b) verifica dei consumi (c) diagnosi energetica degli edifici esistenti e la simulazione di interventi di risparmio energetico (d) certificazione energetica degli edifici nuovi ed esistenti
- **UNI 10379** Fabbisogno energetico convenzionale normalizzato
- **UNI 5364** Temperature esterne di progetto
- **UNI 7357** Trasmittanza componenti opachi
- **UNI 10344** Calcolo FEN (metodo A)*
- **UNI 10345** Trasmittanza termica finestre*
- **UNI 10346** Scambi di calore con il terreno*
- **UNI 10347** Scambi di calore tra tubazione e ambiente
- **UNI 10348** Rendimento impianti riscaldamento
- **UNI 10349** Dati climatici
- **UNI 10375** Metodo di calcolo per la temperatura interna
- **UNI 10376** Isolamento Termico Impianti
- **UNI 10379** Calcolo FEN
- **UNI 10380** Illuminazione d'interni con luce artificiale
- **UNI 10389** Misurazione in opera rendimento
- **UNI 10351** Caratteristiche termiche di materiali e strutture
- **EN 10221** Ponti termici nelle strutture edilizie

(*) norme abrogate

La legge 10/91 in particolare introduce il fabbisogno energetico convenzionale di climatizzazione invernale che è la quantità di energia primaria globalmente richiesta per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura al valore costante di 20°C.

$$FEN = Q_s / (V \cdot GG)$$

dove

Q è il fabbisogno convenzionale stagionale di energia primaria
(indicato come Q_s nella UNI 10344);

V è il volume lordo;

GG sono i gradi giorno della località.

Il FEN tiene conto di:

apporti: energia primaria immessa nella centrale termica
energia solare fornita all'edificio
apporti gratuiti interni

perdite: energia persa per trasmissione e ventilazione
energia persa dall'impianto nelle fasi di produzione

12.4.5.1. Quadro complessivo delle leggi e novità

Dalla fine degli anni '70, in conseguenza della crisi petrolifera del 1973, l'Italia ha iniziato a rendersi conto della necessità di dotarsi di politiche di risparmio energetico al fine di non dipendere eccessivamente dalle importazioni petrolifere straniere.

Nell'edilizia, tale consapevolezza ha trovato un riscontro nella legge n. 10 del 9 gennaio 1991, che è stata finora la linea guida di base per le condizioni termiche negli edifici. Tuttavia, nel frattempo si sono verificati molti eventi importanti, che hanno però sempre dato luogo a posizioni e requisiti obsoleti e non adeguati.

La Commissione Europea ha creato la Direttiva 89/106/CE (concernente i materiali edilizi) e, più di recente, la Direttiva 2002/91/CE (relativa all'efficienza degli edifici da un punto di vista energetico) al fine di prendere in considerazione un approccio sostenibile verso il nostro sempre più difficile ambiente.

In tale contesto, la Direttiva 2002/91/CE è entrata in vigore il 4 gennaio 2006.

Ciò significa che l'Italia, così come le altre nazioni dell'Unione Europea, ha dovuto adattare le proprie normative nazionali alla nuova Direttiva.

Il decreto legislativo n° 192 di attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al "rendimento" energetico nell'edilizia, introduce nuove verifiche per la progettazione e la costruzione di edifici. Le verifiche del Cd e del FEN vengono abrogate e sostituite dai limiti sul fabbisogno energetico primario FEP o sulle trasmittanze dei componenti introdotti dal regime transitorio.

Di recente è stato emanato il Decreto 26 gennaio 2010 dal Ministero dello Sviluppo Economico che ha aggiornato i requisiti tecnici di ammissibilità e la tabella dei valori limite di trasmittanza termica utile U delle strutture componenti l'involucro edilizio espresse in (W/m²K)

Tabella 27.
Valori limite di trasmittanza termica
utile U

Zona Climatica	Strutture opache verticali	Strutture opache orizzontali o inclinate		Chiusure apribili e assimilabili
		Coperture	Pavimenti	
A	0,54	0,32	0,60	3,70
B	0,41	0,32	0,46	2,40
C	0,34	0,32	0,40	2,10
D	0,29	0,26	0,34	2,00
E	0,27	0,24	0,30	1,80
F	0,26	0,23	0,28	1,60

Il testo di base in vigore per le norme, le prescrizioni, ecc. risulta essere il Decreto Ministeriale 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici e sue successive modificazioni.

12.5 Benessere Acustico

Per introdurre questo capitolo sembra lecito chiarire i concetti di base che ruotano attorno al fenomeno sonoro fornendo alcune definizioni degli elementi che lo costituiscono.

Primo fra tutti **il suono si può definire una sensazione**, percepita attraverso l'orecchio, dovuta a variazioni di pressione dell'aria che trasferiscono energia meccanica dovuta al rapido succedersi di compressioni ed espansioni di un mezzo elastico; tale energia, che ha origine in una sorgente sonora s , propaga nel mezzo stesso per onde con velocità finita.

Perché il fenomeno nasca e si propaghi occorre dunque che esistano una **sorgente** e un **mezzo elastico** attraverso il quale la perturbazione si muovi.

La **sorgente** si può immaginare come una superficie piana che si muove di moto armonico semplice a una estremità di un condotto di lunghezza infinita nel quale si trova un mezzo elastico in quiete.

La perturbazione nasce dal moto armonico del pistone caratterizzato dalla **frequenza f** con cui la superficie piana si muove. La frequenza è il numero di cicli di compressione e rarefazione dell'aria compiuti in un secondo, legata al periodo T ed espressa in Hz. In acustica invece che alla frequenza si fa spesso riferimento all'altezza di un suono, prendendo in prestito la parola dal linguaggio musicale: più alta è la frequenza e maggiore è l'altezza di un suono. Si parla di fenomeno acustico quando la sorgente è in grado di generare una perturbazione percepita dall'orecchio dell'uomo, la cui frequenza è compresa tra i 20 e 20000 Hz circa e il limite superiore diminuisce con l'età. La voce umana occupa un campo che va da 100 a 600 Hz relativamente alle frequenze fondamentali.

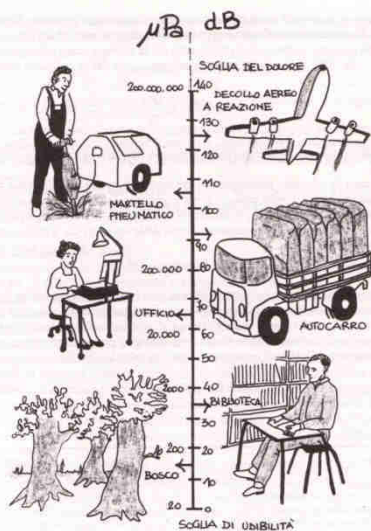
La presenza del **mezzo elastico** è indispensabile per poter parlare di propagazione del fenomeno sonoro, in quanto sono proprio le sue caratteristiche fisiche a stabilire la **velocità** con cui la perturbazione si trasmette e la quantità di energia meccanica trasferita dalla sorgente nell'unità di tempo. La **velocità** di propagazione dell'onda sonora corrisponde alla velocità con cui viaggia il suono; questa varia a seconda del mezzo di propagazione e al suo stato fisico. La velocità risulta legata alla frequenza dalla seguente relazione: $v = f \times \lambda$ per cui risulta che ad alta frequenza i suoni sono caratterizzati da piccole lunghezze d'onda e viceversa.

Nella seguente tabella vengono riportate le velocità in alcuni mezzi, i valori sono approssimativi dato che dipendono dal mezzo.

MEZZO	VELOCITA' (m/s)
Aria	344
Acqua	1410
Legno	3300
Mattone	3600
Cemento	3700
Acciaio	4900
Vetro	5000
Alluminio	5800
Granito	6000

Tabella 28.

Velocità di propagazione del suono attraverso alcuni mezzi



110. Scala dell'inquinamento acustico

Restano da specificare anche l'intensità e la pressione sonora.

La prima espressa in W/m^2 rappresenta il flusso di potenza che attraversa una unità di superficie di una sfera di dimensioni arbitrarie con al centro una sorgente sonora puntiforme di potenza P .

La soglia di udibilità che l'orecchio è in grado di percepire è di $10^{-12} W/m^2$ e la soglia del dolore senza danno è di circa $10 W/m^2$. La potenza sonora associata ai fenomeni che l'orecchio dell'uomo può percepire varia quindi in un campo di valori estremamente ampio; da quelli minimi dell'ordine dei nanowatt, a valori di alcuni kilowatt; per questo motivo i livelli sonori sono stati associati a una scala logaritmica nella quale si fa corrispondere il logaritmo del rapporto tra quello stesso valore e un valore di riferimento o meglio il valore di una grandezza acustica, espresso in decibel.

L'intensità sonora è difficile da misurare, mentre risulta relativamente facile per la pressione sonora; queste due quantità sono legate dalla seguente relazione:

$$I = p^2/\rho v$$

12.5.1. Acustica degli ambienti chiusi e controllo del rumore

La progettazione acustica dell'organismo edilizio tende a realizzare un'opera che garantisca condizioni di benessere acustico a tutti coloro che, in diverso modo, utilizzano l'opera stessa.

All'esterno e all'interno dell'organismo edilizio esistono infatti delle sorgenti di rumore che, se non controllate, possono determinare condizioni acustiche ambientali non favorevoli allo svolgimento delle attività per le quali l'opera è stata pensata e realizzata.

Il progetto acustico deve garantire i livelli di prestazione richiesti ai vari requisiti acustici che caratterizzano gli ambienti abitati.

Partendo da tali valori, a fronte delle azioni esterne che tendono a perturbare le condizioni acustiche interne, si deve allora realizzare un'opera in grado di assicurare isolamenti adeguati e ambienti confinanti controllati acusticamente. Il primo passo del processo progettuale consiste pertanto nell'individuazione dei requisiti acustici dei vari ambienti e nella scelta dei relativi livelli di prestazione.

Dalla conoscenza poi delle azioni esterne che interferiscono con le condizioni acustiche interne richieste agli ambienti, nasce la scelta e il progetto acustico della struttura.

Il tema per essere affrontato in forma generalizzata necessita dell'allontanamento delle fonti inquinanti, nonché della protezione delle aree urbane con barriere antirumore. La legge "quadro" n. 447/95 sembra percorrere la strada dell'intervento attivo attraverso l'adozione dei piani pluriennali per il contenimento delle emissioni sonore e di risanamento acustico.

La sensazione auditiva è legata, oltre che all'intensità dell'onda sonora (dB), alla sua frequenza (Hz) e un suono non controllato può generare danni all'udito se superiori ai 90 dB e disturbi al sonno se maggiore di 35 dB. Il rumore che in qualità di inquinante atmosferico aveva già in qualche misura interessato la normativa di impatto ambientale, dal 1991 (D.P.C.M. del 1° marzo 1991) diviene fattore di valutazione urbanistica poiché demanda ai comuni la zonizzazione acustica che lo stesso decreto suddivide in sei zone in relazione alla destinazione d'uso.

Attenuare un rumore significa in pratica trasformare energia sonora in calore. Poiché le quantità di energia in gioco nella trasmissione dei suoni sono piccolissime, la produzione di calore è del tutto trascurabile.

Convenzionalmente si distinguono due modalità di propagazione dell'energia sonora:

- (a) per via aerea, quando le onde sonore, direttamente o attraverso pareti divisorie, si trasmettono dalla sorgente all'ascoltatore;
- (b) per via strutturale, quando le onde sonore che raggiungono l'ascoltatore sono generate da urti e vibrazioni prodotte sulle strutture dell'edificio in cui si trova nell'ambiente disturbato.

Isolare acusticamente significa ridurre la quantità di energia sonora che passa da un ambiente ad un altro e poiché la maggior parte di energia si trasmette a causa della vibrazione della parete, innanzitutto è necessario ridurre tale vibrazione.

I requisiti acustici richiesti agli elementi edilizi saranno diversi in relazione alle diverse modalità di propagazione dell'energia sonora; in particolare, si dovranno garantire alle strutture di confine requisiti di:

- (a) assorbimento acustico, nel caso di rumore aereo prodotto nel locale stesso;
- (b) isolamento acustico, nel caso di rumori aerei trasmessi attraverso le pareti divisorie;
- (c) isolamento dai rumori impattivi, nel caso di rumore strutturale.

12.5.2. Il Potere Fonoisolante

Il potere fonoisolante è dato dalla differenza tra l'energia sonora incidente e l'energia sonora emergente. In concreto dipende dai seguenti elementi:

- **MASSA**: l'attenuazione è proporzionale al logaritmo della massa superficiale della muratura e a parità di massa aumenta con l'aumentare della frequenza del suono
- **IMPERMEABILITA'**: la presenza di fori, giunti mal sigillati, fessure sotto porte o pareti, riducono drasticamente l'attenuazione del rumore aereo;
- **ELASTICITA'**: una parete sottile ed elastica dovrebbe entrare in risonanza col suono che la investe diminuendo notevolmente il potere fonoisolante.

Il fatto che una parete sia dotata di un buon potere fonoisolante non è condizione sufficiente per far sì che un locale sia dotato di un confort acustico eccellente.

Nel caso in cui si debbano valutare le proprietà isolanti di una struttura, occorre fare riferimento al valore del coefficiente di trasmissione t che esprime la percentuale di energia sonora che ha attraversato la parete e che effettivamente raggiunge l'ascoltatore: la grandezza che caratterizza tali proprietà è il potere fonoisolante R della parete, definito dalla relazione seguente:

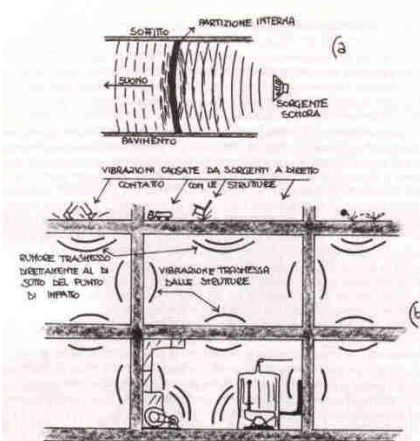
$$R = 10 \log \frac{1}{t} \quad [dB]$$

e che risulta in funzione delle proprietà geometriche e fisiche della parete oltre che della frequenza e direzione di provenienza del suono.

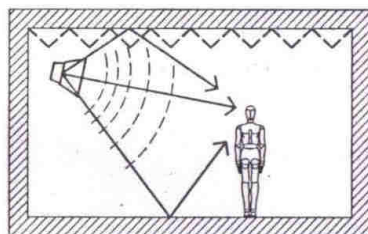
Secondo la norma UNI 8270/3 conforme alla ISO 140/III vengono realizzati in laboratorio i controlli sperimentali di R che si calcola con la seguente equazione riferita alle due camere di prova L_1 e L_2 :

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad [dB]$$

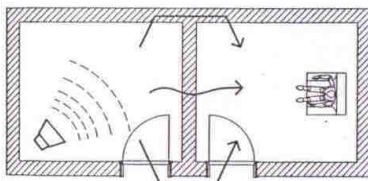
in cui sono noti i livelli di pressione sonora medi nell'ambiente disturbante L_1 e nell'ambiente ricevente L_2 per ogni banda di frequenza, e si considera S la superficie del divisorio (m^2) e A l'area equivalente di assorbimento acustico [$A = 0.16x(V/T)$ (m^2)].



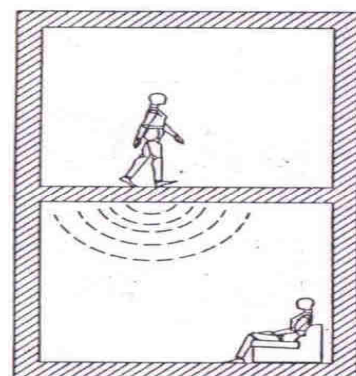
111. Modalità di propagazione dell'energia sonora



112. Propagazione dell'energia sonora per via diretta



113. Propagazione dell'energia sonora tra pareti divisorie



114. Propagazione dell'energia sonora per via strutturale

12.5.2.1. Il potere fono isolante in pareti non omogenee

In un ristretto campo di frequenza di centro banda compreso tra 100 e 3150 Hz è possibile prevedere il potere fonoisolante R utilizzando la seguente relazione:

$$R_o = 20 \log \sigma + 20 \log f - 42.5 \quad [\text{dB}]$$

valida nel caso di parete omogenea di massa per unità di superficie σ (kg/m²) e detta "legge di massa".

Nel caso in cui invece sulla parete siano presenti aperture, porte o finestre, il potere fonoisolante complessivo si riduce notevolmente.

$$R = -10 \cdot \log \frac{\sum S_i \cdot 10^{\frac{-R_i}{10}}}{s} \quad [\text{dB}]$$

Questa relazione permette di calcolare tale valore in funzione del potere fonoisolante R_i e delle superfici S_i delle singole parti che costituiscono la parete; dove S è la superficie totale della parete ed R il potere fonoisolante complessivo.

È facile verificare come componenti edilizi caratterizzati da bassi valori di R_i possano ridurre notevolmente il potere fonoisolante complessivo, per questo risulta importante prestare massima attenzione nella realizzazione di ogni parte dell'opera edilizia, in particolare serramenti sulle pareti perimetrali esterne.

Poiché non è possibile effettuare un calcolo analitico relativo al potere fonoisolante degli elementi costruttivi del complesso in esame, si fa riferimento a modelli strutturali presenti su manuali specifici.

12.5.2.2. Il potere fono isolante nei serramenti

I serramenti costituiscono il punto più debole della trasmissione acustica del rumore dall'esterno verso l'interno dell'edificio: particolare cura deve pertanto essere posta nella loro scelta e messa in opera.

Va evidenziato inoltre il fatto che il serramento si considera costituito da due parti: superficie vetrata e infisso. La prima si comporta dal punto di vista acustico come una parete omogenea e che in questo caso le caratteristiche del materiale impiegato sono praticamente costanti, l'unica variabile che influenza il valore di R è lo spessore del vetro. Si usa quindi la seguente formula:

$$R_w = 12 \log \sigma + 17 \quad [\text{dB}]$$

dove σ è la massa per unità di superficie del vetro (kg/m²) ed il R_w il valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante.

Tale relazione è valida per valori di σ inferiori a 60 kg/m² e spessore dell'intercapedine nelle strutture vetro-camera non superiore a 2 cm.

Gli infissi dovranno garantire una buona tenuta all'aria e una perfetta chiusura perimetrale del vano della finestra.

Di seguito viene riportata una tabella che classifica gli infissi secondo le norme UNI e fornisce indicazioni circa la perdita di R_w dovuta alla permeabilità all'aria.

Tabella 29.

Perdita di R_w degli infissi dovuti alla permeabilità all'aria

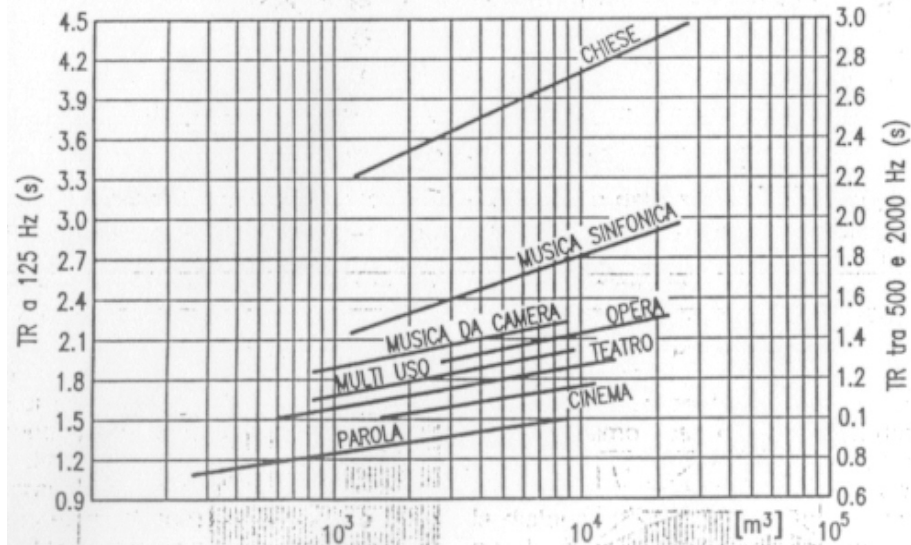
Perdite di R_w e permeabilità all'aria degli infissi	
Classe A1 (< 7 m ³ /m ² h)	< 2 dB
Classe A2 (7-20 m ³ /m ² h)	2-5 dB
Classe A3 (20-50 m ³ /m ² h)	5-8 dB

A questo punto sono stati eseguiti i calcoli della sala polivalente realizzata all'interno del complesso.

12.5.3. Tempo di riverberazione

Per molti anni il R_T è stato assunto come unico parametro in grado di decidere delle qualità acustiche di una sala e, pur essendo oggi dimostrato che non può essere l'unico dato di progetto e di verifica, rimane il riferimento che più spesso viene indicato in fase di definizione dei requisiti acustici di una sala da spettacolo; anche perché il R_T offre il vantaggio di una relativa facilità di previsione e di una semplice misura sperimentale.

Al variare del volume dell'ambiente e per due diversi campi di frequenze (le basse 125 Hz e le medio-alte tra 500 e 2000 Hz) sono riportati nello schema seguenti i valori ottimali del R_T . Le curve sono diverse a seconda del principale uso della sala.



TAV. 12.03-239
Verifica Tempo di riverberazione
Conference Hall

115. Tempi di riverberazione in funzione del volume della sala

Il tempo di riverbero è considerato uno dei parametri più importante per la determinazione della qualità acustica di una sala e per definizione rappresenta la quantità di tempo che serve per avere un decremento di 60 dB e in genere si calcola con la **formula di Sabine**

$$R_T = 0,16 V / A$$

dove

V rappresenta il volume dell'ambiente

$A = \sum \alpha S$ con α coefficienti di assorbimento (solitamente sono valori tabulati) delle singole superfici S che delimitano il Volume.

Il tempo di riverberazione viene espresso in secondi e come esprime la formula dipende essenzialmente dal volume e dalla geometria dell'ambiente e dal grado di assorbimento acustico delle pareti che lo circondano.

Dal grafico precedente si nota come i tempi di riverberazione consigliati sono in funzione del volume della sala, con valori limitati per sala conferenze e più elevati per sale da concerto.

Esistono alcune relazioni semplificate per il calcolo del tempo di riverberazione di sale con specifiche utilizzazioni e queste evidenziano un fatto importante, che cioè la maggior parte dell'assorbimento acustico è dovuto alle persone presenti nella sala a cui si assegna in pratica un valore di assorbimento pari a 1.

12.5.4. Riferimenti normativi

In tema di isolamento acustico i principali riferimenti normativi sono contenuti nei seguenti documenti:

- Circolare del Ministero dei lavori pubblici n. 1769 del 30.04.1966, Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici nelle costruzioni edilizie;
- Decreto Ministeriale del 18.12.1975, Altezza minima e requisiti igienico sanitari principali dei locali di abitazione.
- DCPM del 05.12.1997, Requisiti acustici passivi per gli edifici
- DCPM del marzo 1991, Limiti alla rumorosità nel territorio
- Decreto Ministeriale del dicembre 1975, Requisiti di accettabilità da determinare con misure in laboratorio (con indice di valutazione riferito al valore dell'ordinata a 500 Hz nel rispetto della norma ISO R 717)

Tabella 30.

Normative e indice di valutazione $D_{nT,w}$

NORMATIVE	N	S
Circolare del Ministero dei lavori pubblici n. 1769 del 30.04.1966	36	42
Decreto Ministeriale del 18.12.1975	40	42
Bollettino ufficiale Lombardia		45
Bollettino ufficiale Emilia Romagna	35	45

[N e S indicano le classi di isolamento "Normale" e "Superiore"]

Tabella 31.

Sintesi delle norme UNI e ISO in tema di acustica

MISURE IN LABORATORIO	UNI	ISO
Componenti edilizi		
Prescrizioni relative alla prescrizione		140/II
Misure del potere fonoisolante	8270/3	140/ III
Misure del livello del rumore di calpestio (solai completi)	8270/6	140/VI
Misura dell'attenuazione del livello di rumore di calpestio (rivestimenti di pavimento)	8270/8	140/VIII
Valutazione dei risultati	8270/7	717/1-2-3
MISURE IN OPERA		
Edifici		
Isolamento acustico per via aerea fra ambienti interni	8270/4	140/IV
Trasmissione del rumore di calpestio fra ambienti	8270/4	140/ VII
Isolamento acustico per via aerea rispetto ai rumori esterni	8270/5	140/V

12.6 Sicurezza al fuoco

Le strutture degli edifici debbono avere il requisito di conservare durante e dopo un incendio, le caratteristiche di isolamento termico e di capacità portante. La verifica di tali condizioni si esplica con tre fasi: - determinazione della classe dell'edificio - progettazione dei rivestimenti protettivi - collaudo delle strutture e dei rivestimenti Per il calcolo e la verifica della sicurezza al fuoco, oltre alla normativa vigente, si è fatto ricorso alle linee guide proposte dal C.I.P.I. (comitato interprofessionale prevenzione incendi).

12.6.1. Metodo di calcolo

12.6.1.1. Generalità

Obiettivi:

- Uniformare le definizioni in cui si farà riferimento nel seguito
- Chiarire la validità di specifici parere dei comandanti di V.V.F., norme, deroghe, ecc
- Specificare le norme cui riferirsi per la segnaletica di sicurezza.

Metodo

Ai fini delle presenti linee guida si fa riferimento ai termini ed alle definizioni generali contenute nel Decreto del Ministero dell'Interno 30 Novembre 1983 (G.U. n. 339 del 12 Dicembre 1983)

Restano validi i provvedimenti di deroga già concessi nonché i pareri, i progetti concessi o formulati o approvati del locale Comando dei V.V.F., nonché le eventuali normative specifiche esistenti che prevalgono evidentemente sulle considerazioni indicative proposte.

Si fa riferimento al D.P.R. 8 giugno 1982 n. 524 (g.U. n. 218 del 10 Agosto 1982) espressamente finalizzate alla sicurezza antincendio

12.6.1.2. Estintori

Obiettivi:

- Rendere il più immediato possibile l'uso degli estintori e consentire che l'azione estinguente sia efficace sul focolaio ipotizzabile

Metodo

Si fa riferimento ai termini ed alle definizioni generali contenute nel Decreto del Ministero dell'Interno 30 Novembre 1983 (G.U. n. 339 del 12 Dicembre 1983)

Vigenti disposizioni sulla segnaletica di sicurezza D.P.R. 8 giugno 1982 n. 524 (G.U. n. 218 del 10 Agosto 1982) espressamente finalizzate alla sicurezza antincendio.

La disposizione degli estintori deve essere tale da garantire che da ogni punti dell'attività pericolosa questi siano raggiungibili con un percorso libero da ostacoli non superiore . 25

La capacità estinguente deve essere commisurata al volume del principio di incendio ragionevolmente ipotizzabile.

La scelta dell'estinguente deve essere curata in relazione al tipo di incendio da combattere:

- classe A = fuochi da materiali solidi combustibili (legna, carta, ecc.)
- classe B = fuochi da liquidi infiammabili e/o combustibili (olio, benzine, ecc.)
- classe C = fuochi da gas
- classe D = fuochi da sostanze spontaneamente combustibili (nitriti, permanganati, perossidi, ecc.)
- classe E = fuochi su impianti elettrici.

12.6.1.3. Impianti Elettrici

Obiettivi:

- Rendere elettricamente sicura l'intera attività evitando che possano nascere, per effetto Joule, punti di innesco
- Consentire, in caso di intervento di spegnimento, di poter escludere e sezionare i vari compartimenti in cui l'attività viene suddivisa e garantire contro le fulminazioni degli operatori in caso di utilizzo dell'acqua come estinguente
- Analogamente ove siano possibili formazioni di cariche elettrostatiche convogliare le stesse onde evitarne l'accumulo e quindi la possibilità di creazione di scariche

Metodo

L'impianto deve essere realizzato a perfetta regola d'arte secondo quanto disposto anche dalla Legge 186 del 1968 e dalla Legge 46 del 1990 (e sue successive modificazioni ed integrazioni).

È consigliabile per ogni settore o comparto, in cui viene suddivisa l'attività pericolosa (ai fini della compartimentazione del pericolo di incendio), disporre in prossimità degli ingressi idonei interruttori in grado di disattivare globalmente l'alimentazione elettrica nel settore stesso.

Agli interruttori locali possono essere preferiti altri dispositivi che comunque però siano in grado di svolgere la medesima funzione. Analogo dispositivo può essere previsto anche per l'alimentazione elettrica di sicurezza.

12.6.1.4. Resistenza al Fuoco

Obiettivi:

- Assicurare che gli elementi di separazione e strutturali siano in grado di resistere al fuoco mantenendo per un determinato periodo di tempo le prestazioni minime necessarie

Metodo

Per la valutazione delle caratteristiche di resistenza al fuoco degli elementi si deve far riferimento a precise prove e certificazioni dei Laboratori Autorizzati, in condizioni di esercizio riconducibili a quelle effettivamente presenti nella realtà, o alle specifiche norme UNI 9502, UNI 9503, UNI 9504 od in osservanza di altri riferimenti alle tabelle e alle specifiche della circolare n. 91 del Ministero degli Interni del 14 settembre 1961 o al D.M. 06 giugno 2003

12.6.1.5. Vigilanza Aziendale

Obiettivi:

- Rendere il più immediata e tempestiva l'azione di spegnimento da parte degli operatori interni

Metodo

La vigilanza aziendale deve essere attuata secondo la circolare n. 27186/4101 del 17.12.1979 (e sue successive modificazioni) che prende in considerazione anche i rapporti di programmazione con i Comandi Provinciali

12.6.1.6. Impianti di Raffreddamento

Obiettivi:

- Rendere il più affidabili possibili gli impianti di raffreddamento per evitare che il loro anche parziale non funzionamento possa costituire principio di innesco od incendio

Metodo

Gli impianti di raffreddamento, ove previsti dalle vigenti normative, devono essere progettati, realizzati e collaudati secondo norme di buona tecnica e comunque verificati con cadenza almeno ogni sei mesi

12.6.1.7. Impianti di Rilevazione ed Allarme

Obiettivi:

- Consentire una rapida rilevazione dell'inizio di un incendio e la conseguente rivelazione

Metodo

L'opportunità dell'installazione di un impianto dipende da molti fattori fra i quali si ricorda il carico d'incendio, la superficie massima del comparto, ecc. Gli impianti devono essere collegati a dispositivi ottici o acustici percepibili in locali presidiati almeno nelle ore di attività. Ove nelle ore di inattività non fosse garantita la presenza di personale, la segnalazione dovrà essere percepibile all'esterno (istituti di sorveglianza, combinatori telefonici, ecc.)

12.6.1.8. Aerazione

Obiettivi:

- Evitare la formazione di concentrazioni pericolose di gas o vapori infiammabili
- Allontanare i prodotti della combustione in caso di incendio, consentendo che al di sotto della quota di 2 metri dal pavimento l'atmosfera resti convenientemente priva di fumi

Metodo

L'aerazione nella misura minima pari a 1/60 della superficie in pianta dei locali deve essere realizzata mediante aperture poste sopra alla quota di metri 2 dal piano di calpestio del locale. Deve valutarsi eventualmente, ai fini del rispetto del limite, solo quella parte delle aperture superiori alla quota di metri 2.

Come apertura si intende qualsiasi comunicazione con l'esterno realizzata sia con serramenti, anche chiudibili purché con elemento frangibile, con canalizzazioni in grado di svolgere normalmente la funzione per cui viene richiesta l'aerazione.

Superficie locale in mq	Aerazione con $0 \leq q < 50$ kg/m	Aerazione con $q \leq 50$ kg/m
$0 \leq S < 400$ mq	1/30	1/20
$S \leq 400$ mq	1/50	1/30

Tabella 32.

Misure minime di aerazione

Qualora non fosse possibile tecnicamente o per le metodologie di lavoro una aerazione nei limiti sopra consigliati sarà sempre possibile fare ricorso a ventilazione meccanica che deve garantire almeno un ricambio pari a due volumi ora in modo continuativo o, se asservito ad impianto di rivelazione fumi per un periodo di almeno 60 minuti, garantendone il funzionamento per temperature sino a 400 gradi.

L'alimentazione elettrica dei dispositivi di ventilazione deve consentire il loro funzionamento anche quando si voglia isolare e scollegare elettricamente il comparto in questione, fermo restando la necessità di garantire agli operatori contro le fulminazioni in caso di spegnimento con acqua.

12.6.1.9 Divieti e Limitazioni

Obiettivi:

- Evitare la possibilità di inneschi, separare tra di loro le lavorazioni pericolose per limitare l'allargamento e la diffusione del rischio.

Metodo

Nelle aree dove si immagazzinano, lavorano sostanze infiammabili è vietato l'uso di fiamme libere e di apparecchi ad incandescenza senza protezione, nonché immagazzinarvi sostanza che possano, per la loro vicinanza, reagire tra loro provocando incendio e/o esplosioni.

È vietato effettuare travasi, intendendosi spostamenti di liquidi a contatto con l'atmosfera, di sostanze infiammabili o esplosive.

È parimenti vietato effettuare operazioni di travaso nei locali ove avviene anche il deposito della sostanza travata.

I divieti precedenti non si applicano ai casi in cui rientri nel processo produttivo per il quale però sono adottati accorgimenti atti a conferire lo stesso grado di sicurezza al quale sono finalizzati i divieti di cui sopra.

È vietato depositare al piano interrato prodotti gassosi con densità relativa maggiore di 0,8. È parimenti vietato la presenza di griglie o aperture che possano far defluire nei piani interrati gas con densità relativa maggiore di 0,8.

È ammessa la comunicazione diretta dell'attività a rischio con altri locali che abbiano relazione con l'attività stessa, ma non costituiscano a loro volta attività a rischio.

12.6.1.10. Limitazioni del carico di incendio

Obiettivi:

- Contenere il quantitativo di materiale combustibile presente in modo che la violenza dell'eventuale incendio sia contrastabile con i consueti mezzi di difesa attiva e passiva, consentendo l'esodo delle persone presenti.

Metodo:

Si contiene il massimo valore del carico di incendio tenendo conto sia della superficie massima interessata, sia dei mezzi di protezione attiva installati che della presenza di persone.

La superficie massima dei compartimenti ed il relativo carico di incendio massimo può venir valutato con riferimento alla seguente tabella:

Tabella 33.

Dimensioni comparto in funzione del tipo di protezione e del carico di incendio

Tipo di protezione	Superficie massima di comparto distribuito su di un solo piano			
	$q \leq 30$	$30 \leq q \leq 50$	$50 \leq q \leq 100$	$q \geq 100$
Nessuna	≤ 5000 mq	≤ 2400 mq	≤ 1200 mq	≤ 600 mq
Rivelazione o sfogo fumi	≤ 8000 mq	≤ 5000 mq	≤ 2400 mq	≤ 1200 mq
Spegnimento automatico	≤ 16000 mq	≤ 10000 mq	≤ 5000 mq	≤ 2400 mq

q = carico d'incendio specifico in kg/mq

12.6.1.11. Distanze di sicurezza esterne/interna di protezione

Obiettivi:

- Limitare la possibilità che un incidente occorso nell'attività considerata si possa estendere coinvolgendone altre esterne o/o interne, nonché minimizzare eventuali danni alle persone transitanti fuori dall'area di pertinenza dell'attività stessa

Metodo

Separare, con adeguate distanze, le attività pericolose da altre attività esterne e/o interne e/o da altre attività facenti parte dello stesso complesso o dal confine di

recinzione. In generale per le attività normali si applicano i valori ed i termini stabili dalle norme.

Per le attività non normate si applicano i valori già stabili caso per caso secondo il principio delle caratteristiche chimico-fisiche delle sostanze o lavorazioni in questione.

12.6.1.12. Sistemi di vie di uscita

Obiettivi:

- Consentire lo sfollamento degli occupanti in modo che possano, prima di essere soggetti ai rischi di incendio, allontanarsi dalle zone pericolose e portarsi in luoghi sicuri

Metodo

Realizzare percorsi di sfollamento ed uscite in luoghi sicuri con larghezza commisurate alla massima presenza di persone e contenere adeguatamente la lunghezza dei percorsi

Salvo diverse indicazioni le vie di uscita debbono essere dimensionate con le seguenti capacità di esodo (modulo = 60 cm):

- 50 persone per modulo senza dislivelli con luoghi sicuri
- 37,5 persone per modulo con dislivelli contenuti entro +/- 7,5 metri dal luogo sicuro
- 33 persone per modulo con dislivelli superiori a 7,5 metri dal luogo sicuro

Affollamento	Tipo di rischio	N° min di porte	dimensione
5<a<25	Incendio e esplosione	$N \geq 1$	120 cm
25<a<50	Comunque	$N \geq 1$	120 cm
A<50	Comunque	$N \geq 2$	120 cm

Tabella 34.

Numero e dimensione uscite di sicurezza in funzione dell'affollamento e del tipo di rischio

Quando in un locale sia necessaria la presenza di almeno due uscite queste devono presentarsi in punti ragionevolmente contrapposti. Si possono intendere come tali quelle uscite che da qualsiasi punto del locale sono viste con un angolo superiore a 45°.

La lunghezza effettiva "L_e", cioè quello che in realtà le persone debbono percorrere aggirando gli ostacoli per raggiungere un luogo sicuro, non deve superare 1,5 x L_i, dove L_i è la lunghezza massima teorica.

12.6.1.13 Compartimentazione al fuoco delle strutture

Obiettivi:

- Stabilire dei tempi di resistenza delle strutture correlandole con la presenza di materiali combustibili

Metodo:

Tutti i locali debbono garantire una resistenza strutturale al fuoco, salvo ove diversamente indicate, pari al carico d'incendio del locale stesso sino ad un valore massimo di 180 minuti primi.

Nella valutazione del tempo per cui le strutture debbono consentire la loro capacità portante si fa riferimento alla circolare del M.I. n. 91 del 14/09/1961 relativamente solo alle premesse all'art. 2

Per le determinazioni analitiche si rimanda alle norme UNI 9502, UNI 9503 e UNI 9504.

12.6.1.14 Impianti fissi di estinzione

Obiettivi:

- Consentire una protezione attiva adeguata alle caratteristiche dell'incendio ipotizzabile dotandosi di impianti ad uso sia del personale interno che da parte dei soccorritori

Metodo

Salvo casi di manifesta incompatibilità con le materie immagazzinate l'agente estinguente di raffreddamento ricorrente è l'acqua. Questa deve essere erogabile a mezzo di idranti unificati (UNI 70 o UNI 45) o naspi (UNI 25).

La scelta di questi può avvenire tramite l'ausilio della seguente tabella che considera Napsi, idranti UNI 45 ed estintori.

Tabella 35.

Scelta della protezione attiva

	Carico d'incendio ≥ 50 kg/mq	Carico d'incendio > 30 e < 50 kg/mq	Carico d'incendio ≤ 30 kg/mq
Superficie comparto	$> \text{mq } 600$	$< \text{mq } 600$ e $> \text{mq } 300$	$< \text{mq } 300$
Tipo protezione attiva	UNI 45 ed estintori	Naspi ed estintori	Estintori

UNI 70

Quanto il perimetro del più ampio compartimento ha lati di dimensioni superiori a 50 m occorre l'installazione di idranti UNI 70 posti all'esterno del fabbricato stesso in area a cielo libero con distanze reciproche non superiori a 50 m misurate lungo lo sviluppo del perimetro dell'edificio.

La loro dislocazione deve essere adeguatamente distanziata dal fabbricato con un minimo di almeno tre m per consentire la fruibilità senza pericoli per gli operatori

Nel raggio di 10 m dall'idrante stesso debbono essere collocate in posizione segnalata la chiave di erogazione, la manichetta e quanto necessario per l'attivazione dell'idranti.

Salvo disposizioni impiantistiche particolari la gittata sia in verticale che in orizzontale non può essere considerata efficace per distanze superiori a 25 m.

UNI 45 (idranti)

La disposizione degli idranti UNI 45 deve essere in ragione di una protezione totale dell'area. Si intende come area di protezione di ogni idrante l'area raggiungibile dalla lunghezza della manichetta aumentata di metri 5.

La lunghezza delle manichette non deve eccedere i 20 metri, la lancia non deve avere bocchello con diametro inferiore a 10 mm

La pressione ad idrante attivo non deve essere inferiore a 3 bar.

UNI 25 (naspi)

La presenza di naspi UNI 25 deve essere in ragione di una protezione totale dell'area.

La collocazione del naspo deve essere interna all'area da proteggere.

Occorre inoltre dotare di attacchi UNI 45 gli ingressi all'area da proteggere onde consentire l'allacciamento da parte dei mezzi di soccorso, gli attacchi vanno posti all'esterno dell'area a rischio ma in prossimità degli accessi ad essa.

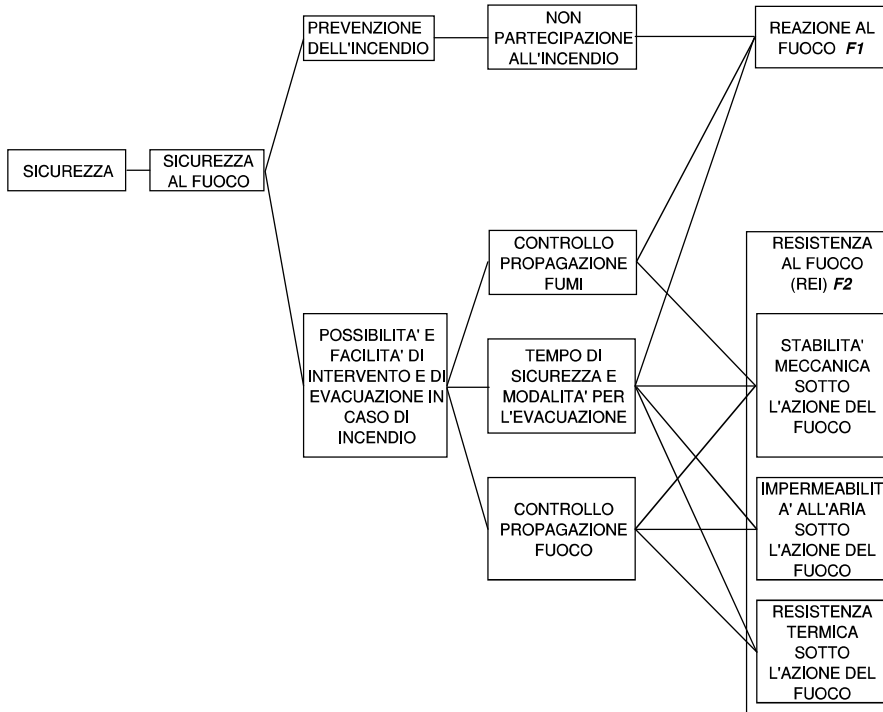
Rete di Alimentazione

Salvo casi di palese e certa incompatibilità è libero l'uso degli usuali materiali per le normali reti idriche, purchè garantiti contro la corrosione.

12.6.1.15. Sicurezza al Fuoco

CLASSI DI ESIGENZE DELL'UTENZA FINALE	ESIGENZA AMBIENTALE	REQUISITO AMBIENTALE (GENERALE)	PRESTAZIONE AMBIENTALE	SUBSISTEMI TECNOLOGICI COINVOLTI	PRESTAZIONE TECNOLOGICA
---------------------------------------	---------------------	---------------------------------	------------------------	----------------------------------	-------------------------

1 2 3



1 CHIUSURE

2 PARTIZIONI INTERNE (Vertic. / orizz.)

3 STRUTTURE (rivestimenti di protezione)

F1, F2: verifica come da norma

116. Schema valutazione sicurezza al fuoco

12.6.1.16. Impianti automatici di spegnimento

Obiettivi:

- Consentire in situazioni di particolare rischio che l'incendio venga spento ed eventualmente ne venga impedita l'estensione

Metodo

L'opportunità dell'installazione di un impianto dipende da molti fattori tra i quali si ricorda il carico di incendio, l'infiammabilità dei prodotti, la superficie massima del comparto, ecc.

12.6.1.16. Impianti automatici di spegnimento

Obiettivi:

- Rendere facilmente visibili durante le ore di attività le vie di esodo e la segnaletica di emergenza onde facilitare le operazioni di esodo e di intervento.

Metodo

L'illuminazione di sicurezza deve intendersi un impianto che sia in grado di svolgere le proprie funzioni anche in assenza della rete di alimentazione principale.

Per alimentazione diversa da quella principale si vuole indicare una fonte energetica autonoma centralizzata e/o localizzata che per durata consenta un periodo di funzionamento non inferiore ai 60 minuti primi.

12.6.2. Calcolo del carico d'incendio

Il calcolo del carico d'incendio, nella normativa italiana, è stato definito dalla circolare n. 91 del 14.09.1961 "Norme per la sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio destinati ad uso civile".

$$q = (g H) / (18480 A)$$

dove

q	= carico d'incendio in Kg legna/m ²
g	= massa in Kg del generico fra gli n combustibili che si prevedono presenti nel locale o nel piano nelle condizioni più gravose di carico d'incendio
H	= potere calorifico superiore del generico fra gli n combustibili di massa g
18480 kJ/kg	= potere calorifico superiore del legno (= 4400 kcal/kg)
A	= superficie orizzontale in m ² del locale o del piano

Per il manufatto in esame sono stati svolti i calcoli solo per due specifici locali (definiti per semplicità ZONAA e ZONA B).

Sono stati utilizzati dati provenienti da tabulati che stimano il potere calorifico in base alla destinazione d'uso dei locali forniti dalla letteratura specifica.

Una volta definito il carico d'incendio si può determinare la classe del compartimento e quindi dimensionare le protezioni delle strutture portanti e/o di compartimentazione.

12.6.3. Calcolo del coefficiente di riduzione

Tale coefficiente compreso tra 0,2 e 1, viene determinato secondo le seguenti modalità.

In base alle caratteristiche dell'edificio, alla natura del materiale combustibile presente, alla destinazione, alla distanza da altri edifici e alle esistenti misure di segnalazione e prevenzione incendi.

Per il calcolo vengono valutati i singoli fattori d'influenza mediante indici numerici che possono essere positivi o negativi, in quanto s'intendono riferiti a un caso reale medio d'incendio.

12.6.3.1. Indici di valutazione

Si prosegue ora con un'analisi delle due zone identificate attraverso i seguenti indici di valutazione per determinare il coefficiente di riduzione:

1. Altezza dell'edificio e del piano
2. Superficie delimitata da un compartimento
3. Utilizzazione dei locali
4. Pericolo di propagazione
5. Segnalazione, accessibilità ed impianti di spegnimento.

Prendendo in considerazione i cinque punti sopra espressi risultano i seguenti coefficienti di riduzione K.

ZONA A	
1	4
2	2
3	0
4	3
v5	-36
TOT.	-27
K_A	0.40

ZONA B	
1	4
2	2
3	-5
4	3
5	-36
TOT.	-32
K_B	0.40

Tabella 36.

Zona A: calcolo coefficiente di riduzione K

Tabella 37.

Zona B: calcolo coefficiente di riduzione K

12.6.4. Determinazione della classe di resistenza

La classe di resistenza si calcola infine grazie ai valori ricavati finora attraverso la seguente formula:

$$C = K q$$

In cui

C = numero della classe indicativo

K = coefficienti di riduzione

q = carico d'incendio

Carico d'incendio [kg/mq] =	16,0
K _A =	0,40
C =	6,4
ZONA A	REI 30

Carico d'incendio [kg/mq] =	20,0
K _B =	0,40
C =	8,0
ZONA B	REI 30

Tabella 38.

Zona A: determinazione classe di resistenza al fuoco

Tabella 39.

Zona B: determinazione classe di resistenza al fuoco

12.6.5. Riferimenti normativi

Vengono infine riportati i punti salienti da considerare in merito alla SICUREZZA AL FUOCO con i relativi riferimenti normativi.

REQUISITI DI SICUREZZA IN CASO DI INCENDIO

Proposizione essenziale secondo Direttiva 89/106 CEE

L'edificio deve essere concepito e costruito in modo che, in caso di incendio: a) la capacità portante dell'edificio possa essere garantita per un periodo di tempo determinato; b) la produzione e la propagazione del fuoco e del fumo all'interno delle opere siano limitate; c) la propagazione del fuoco ad opere vicine sia limitata; d) gli occupanti possano lasciare l'opera o essere soccorsi altrimenti; e) sia presa in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso.

Dovranno quindi in particolare essere controllati: la infiammabilità dei materiali della costruzione, la dotazione di impianti, il contenuto degli edifici, la prossimità di punti di rischio, la compartimentazione, i tempi di propagazione tra i locali, la resistenza e la reazione al fuoco delle partizioni, con riferimento a combustibilità, infiammabilità, velocità di propagazione della fiamma ecc..

Fanno parte della presente famiglia i seguenti requisiti:

12.6.5.1. Resistenza al fuoco

E' data dall'attitudine degli elementi di struttura, di chiusura e di partizione interna a conservare le prestazioni utili a garantire l'incolumità degli utenti per un tempo dato, limitando la propagazione del fuoco fra ambienti diversi senza subire degrading o deformazioni incompatibili con la propria funzione.

Specificca di prestazione

La specifica è espressa dalla prestazione di resistenza al fuoco che indica il tempo durante il quale un elemento costruttivo conserva:

- stabilità meccanica (R);
- tenuta alle fiamme, ai fumi e ai gas (E);
- isolamento termico (I).

Gli elementi della struttura portante ed i solai devono quindi garantire una resistenza al fuoco REI pari ad un numero adeguato di minuti. Il requisito si intende soddisfatto se vengono rispettati gli ambiti di applicazione e le prescrizioni tecniche e procedurali previste dalle norme nazionali vigenti in materia.

12.6.5.2. Reazione al fuoco e assenza di emissioni di sostanze nocive in caso d'incendio

E' l'attitudine di materiali e componenti utilizzati negli interventi edilizi, nonché negli impianti, a non essere causa aggravante il rischio di sviluppo di incendio ed a non sviluppare in fase di combustione gas e fumi nocivi. Tale prestazione è da ottenere mediante il controllo dei materiali costituenti l'elemento tecnico, il suo rivestimento superficiale e i relativi strati di posa, in relazione alla loro infiammabilità.

Specificca di prestazione

Il requisito si intende soddisfatto se vengono rispettate le prescrizioni tecniche e procedurali previste dalle norme nazionali vigenti in materia.

12.6.5.3. Limitazione dei rischi di generazione e propagazione di incendio

Il requisito si riferisce al controllo dei seguenti parametri:

- infiammabilità dei materiali della costruzione;
- combustibilità del contenuto degli edifici;
- compartimentazione;
- tempi di propagazione tra locali (v di propagazione fiamma);
- dotazione di impianto antincendio.

Specificca di prestazione

Nell'intervento edilizio devono essere previsti ed attuati accorgimenti tipologici e tecnologici tali da conseguire, attraverso il controllo dei parametri soprariportati, il rispetto delle prescrizioni tecniche e procedurali previste dalle norme nazionali vigenti in materia.

12.6.5.4. Evacuazione in caso di emergenza e accessibilità ai mezzi di soccorso

L'organismo edilizio deve essere dotato di un sistema organizzato di vie di fuga, per lo sfollamento rapido e ordinato, nonché realizzato in modo tale da consentire una rapida accessibilità e agevoli manovre ai mezzi ed alle squadre di soccorso.

Specificca di prestazione

Il sistema organizzato per l'evacuazione di emergenza dovrà essere progettato in modo tale che siano rispettati:

- tempi di evacuazione ammissibili;

- le idonee dimensioni delle uscite e delle vie di uscita;
- accessibilità e praticabilità ai mezzi ed alle squadre di soccorso.

Il requisito si intende soddisfatto se vengono rispettate le prescrizioni tecniche procedurali previste dalle norme nazionali vigenti in materia.

Campo di applicazione (per tutti i requisiti della famiglia): tutte le destinazioni e/o attività previste dalle norme nazionali vigenti.

Metodo di verifica

- Per gli interventi edilizi destinati ad attività assoggettate al controllo del Comando Provinciale dei VV FF (D.M. 16/2/82 e/o tabelle A e B allegate al D.P.R. 26/5/59 n. 689), la verifica è demandata al controllo dell'oggettiva applicazione delle normative vigenti svolta dal Comando Provinciale dei VV FF ai fini del rilascio del certificato prevenzione incendi.
- Per gli interventi edilizi non assoggettati al controllo di cui sopra la verifica è demandata al controllo diretto, da esercitarsi da parte del tecnico progettista in fase di redazione del progetto edilizio e successivamente da parte del tecnico verificatore, dell'effettiva realizzazione di opere ed utilizzo di materiali conformi alle prescrizioni normative vigenti con particolare riferimento a: (a) D.M. 26/6/84 relativamente alla infiammabilità e combustibilità di materiali ed arredi; (b) Circ. 91 del 14/9/61, norme UNI 9502/3/4 relativamente alle caratteristiche di materiali e componenti le costruzioni; (c) certificazioni di conformità per materiali e componenti (non ricompresi nella normativa di cui ai precedenti punti (a) e (b) rilasciata da laboratorio autorizzato ai sensi D.M. 26/3/85; d) D.M. 16/5/87 n. 246 "Norme di sicurezza antincendio per edifici di civile abitazione"; (e) D.M. 1/2/86 "Norme di sicurezza antincendio per la costruzione e l'esercizio di autorimessa e simili"; (f) Circ. n. 68 del 25/11/69 "Norme di sicurezza per impianti termici a gas di rete"; (g) Circ. n. 73 del 29/7/91 "Impianti termici ad olio combustibile e gasolio"; (h) Circ. n.91 del 14/9/61 "Norme di sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio ad uso civile"; (i) Norma UNI 9494 "Sistemi di evacuazione fumi". Per attività non elencate si rimanda alla specifica normativa in vigore. Per quanto concerne la corretta installazione e funzionalità degli impianti si fa riferimento alla specifica certificazione di regolare esecuzione rilasciata dalla ditta esecutrice dei lavori (L 5/3/90 n. 46 e D.P.R. 26/8/93 n. 412).

12.7 Benessere Luminoso

12.7.1. Geometria Solare

Il sole è la fonte di energia primaria che permette la vita sul nostro pianeta (non a caso gli antichi lo adoravano come un dio).

La radiazione solare, attraversando l'atmosfera, in parte si disperde in essa, in parte raggiunge la superficie della terra, comunicando calore agli oggetti investiti. Più i raggi sono perpendicolari alle superfici colpite, maggiore è il calore che essi trasmettono ai corpi.

Il succedersi delle stagioni e l'alternarsi di periodi più caldi a periodi più freddi, dipendono dal fatto che la terra ruota intorno al sole rimanendo sempre un po' inclinata su un lato, così che in estate i raggi solari sono più vicini alla verticale (riscaldando di più), in inverno sono più bassi (riscaldando meno). Ma non tutta l'energia liberata dal sole e intercettata dalla nostra atmosfera, raggiunge la superficie della terra: una parte viene riflessa nuovamente nello spazio (l'energia radiante riflessa da un oggetto si definisce albedo); un'altra parte, mentre attraversa l'atmosfera, viene dispersa e diffusa dalle molecole d'aria e dalle particelle di polvere in tutte le direzioni (la radiazione diffusa è causa del colore azzurro del cielo sereno); una parte ancora viene assorbita dal vapore acqueo, dall'anidride carbonica e dall'ozono; la parte restante di energia, detta **radiazione diretta**, riesce a raggiungere la superficie terrestre. La quantità di radiazione diretta dipende molto dalla lunghezza dell'atmosfera che i raggi solari devono attraversare: quanto maggiore è la massa d'aria che essi devono attraversare, tanto maggiore saranno i fenomeni di diffusione ed assorbimento durante il percorso e tanto minore sarà l'energia che raggiungerà la terra. E la lunghezza dell'atmosfera, a causa dell'inclinazione dell'asse terrestre e dell'orbita del nostro pianeta intorno al sole, varia con l'ora del giorno ed il mese dell'anno, causando le differenti condizioni climatiche stagionali e le oscillazioni giornaliere.

La terra si muove annualmente attorno al sole con un'orbita (eclittica) leggermente ellittica, ruotando contemporaneamente attorno al proprio asse in 24 ore. Questo asse è inclinato di 23.47° rispetto alla perpendicolare al piano dell'orbita, e la sua inclinazione è causa delle variazioni stagionali: nei mesi estivi il nostro emisfero (emisfero boreale) ha un numero maggiore di ore di soleggiamento e l'inclinazione dei raggi solari è più vicina alla perpendicolare, nei mesi invernali la situazione si inverte.

12.7.1.1 Calcolo della posizione apparente del Sole

Il sole si muove lungo il suo percorso giornaliero da est verso ovest lungo un arco; questo arco è più basso in inverno (raggiungendo la minima altezza sull'orizzonte a mezzogiorno del 21 dicembre) e più alto in estate (raggiungendo la massima altezza a mezzogiorno del 21 giugno, momento dell'anno nel quale le ombre sono le più corte in assoluto).

Queste variazioni stagionali fanno sì che le diverse facciate degli edifici, a seconda della loro esposizione ai punti cardinali, siano più o meno riscaldate in estate e in inverno; ma c'è una costante: il lato sud riceve i raggi solari in ogni periodo dell'anno, quello nord mai.

Per esempio negli interventi a carattere residenziale è opportuno fare affacciare a nord gli ambienti interni della casa come i corridoi, i ripostigli, i lavatoi, i garage, nei quali si sta solo temporaneamente e mai per lunghi periodi, mentre le camere nelle quali si soggiorna a lungo (le zone giorno) devono avere le finestre verso sud.

Analoghe considerazioni possono essere fatte per quanto riguarda l'altezza del sole sull'orizzonte (fenomeno derivante anch'esso dagli aspetti di geografia astronomica appena esposti): la semplice osservazione e l'analisi della geometria solare mostrano come durante i mesi invernali il sole, pur mantenendo un moto apparente in direzione est-ovest ed una inclinazione verso il meridione, è meno alto sull'orizzonte rispetto al periodo estivo, sorge più tardi e tramonta prima.

La massima altezza sull'orizzonte viene raggiunta il giorno del solstizio estivo (21 giugno), la minima nel giorno del solstizio invernale (21 dicembre).

Facendo uso di alcuni parametri fondamentali è possibile calcolare la posizione, istante per istante, in cielo del Sole; dal momento che il moto di rotazione e di rivoluzione della Terra sono considerati da un qualunque osservatore come un moto apparente del Sole.

Il Complesso Edilizio F in oggetto è ubicato a Monza, posto a 162 m s.l.m. , a 45°34'06.2" di Latitudine Nord ed a 9°16'06.0" di Longitudine Est.

DATI INIZIALI di PROGETTO

21 giugno	$t_e = 25^\circ \text{ C}$	h 12:00, Monza
21 dicembre	$t_e = - 5^\circ \text{ C}$	h 12:00, Monza

Si parte dalla determinazione della **declinazione solare δ** (angolo tra il piano equatoriale e la congiungente Terra-Sole) che in un qualsiasi giorno dell'anno si calcola con la seguente espressione:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[\frac{360}{365} \cdot (N + 284) \right]$$

dove N è il giorno progressivo dell'anno.

Nel caso in oggetto si ha con il 21 di giugno N=173 e con il 21 dicembre N= 355

$$\begin{aligned} \delta_{21 \text{ giugno}} &= 23,45 \sin [360/365 \times (N + 284)] = 23,448^\circ \\ \delta_{21 \text{ dicembre}} &= 23,45 \sin [360/365 \times (N + 284)] = -23,450^\circ \end{aligned}$$

Un altro importante parametro è la **latitudine ϕ** (angolo formato tra il piano equatoriale e la congiungente osservatore centro della Terra) e che nel caso di Monza corrisponde a **$\phi=45^\circ$** .

Inoltre si deve considerare l'**angolo orario ω** , cioè l'angolo formato dal piano meridiano passante per l'osservatore e il piano meridiano passante per il Sole. Questo varia con una velocità pari a 15 gradi/ora e parte dal valore nullo a mezzogiorno e assume valori rispettivamente positivi la mattina e negativi il pomeriggio.

L'angolo orario al sorgere del Sole: $\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta)$

da cui si calcola la durata D del giorno in ore: $D = 2 \cdot \frac{\omega_s}{15}$

e l'ora del in cui sorge il Sole: $O_s = 12 - \frac{D}{2}$

Si ottengono dunque i seguenti risultati:

21 GIUGNO	21 DICEMBRE
$\omega_s = 115,704^\circ$	$\omega_s = 64,293^\circ$
D = 15,42 ore	D = 8,57 ore
$O_s = 4,29 \rightarrow 04:17$	$O_s = 7,71 \rightarrow 07:42$

Ora, noti declinazione, angolo orario e latitudine, l'**altezza del Sole sull'orizzonte β** (o il suo complementare **θ_z , angolo zenitale**) si calcola mediante la formula:

$$\cos \theta_z = \sin \beta = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta$$

Anche l'**azimut α** (angolo formato dalla proiezione sul piano orizzontale della congiungente Terra-Sole con il semiasse sud) si può trovare con la seguente formula:

$$\cos \alpha = \frac{\sin \beta \sin \phi - \sin \delta}{\cos \beta \cos \phi}$$

Eseguendo ora i calcoli con $\phi = 45^\circ$, $\delta_{21 \text{ giugno}} = 23,448^\circ$ e $\delta_{21 \text{ dicembre}} = -23,450^\circ$ si ottiene:

Tabella 40.
Valori dell'Altezza del Sole e dell'Azimut il 21 giugno

ORARIO	Φ	δ	ω	β	α
12:00	45	23,448	0	68,494	0,000
11:00	45	23,448	15	65,272	34,537
10:00	45	23,448	30	57,518	58,586
09:00	45	23,448	45	47,776	74,739
08:00	45	23,448	60	37,315	86,930
07:00	45	23,448	75	26,726	97,322
06:00	45	23,448	90	16,366	107,073
05:00	45	23,448	105	6,533	116,902

Tabella 41.
Valori dell'Altezza del Sole e dell'Azimut il 21 dicembre

ORARIO	Φ	δ	ω	β	α
12:00	45	-23,45	0	21,596	0,000
11:00	45	-23,45	15	20,240	14,660
10:00	45	-23,45	30	16,329	28,555
09:00	45	-23,45	45	10,256	41,246
08:00	45	-23,45	60	2,504	52,690
07:00	45	-23,45	75	-6,477	63,127

Si rimanda al "Capitolo 2 – Il clima di Monza" per il calcolo completo durante tutto l'anno

12.7.1.2. Attenuazione dovuta all'attraversamento dell'atmosfera

L'irradianza solare, attraversando l'atmosfera, varia la sua composizione spettrale ed il processo dipende fortemente dalle condizioni del cielo: si può assumere che l'irradianza, così come arriva sulla superficie terrestre, presenti una distribuzione spettrale che si avvicina a quella di un corpo nero alla temperatura 5745 K.

L'irradianza diffusa è una parte significativa del flusso d'irradianza incidente sulla superficie orizzontale. Quando il sole è basso sull'orizzonte, la quota d'irradianza diffusa può arrivare fino al 50%; ciò deriva dal fatto che l'attenuazione dell'irradianza diretta, funzione dello spessore di atmosfera attraversata, è soggetta al fenomeno dell'irradianza diffusa.

Per valutare questo spessore si è soliti utilizzare un'altra grandezza definita come il rapporto tra la lunghezza dei raggi solari nell'atmosfera e lo spessore della stessa:

la **massa d'aria** $m = \frac{1}{\sin \beta}$

[con β l'angolo che si forma tra l'orizzontale e i raggi solari]

Si suole porre $m = 0$ per la irradianza extraterrestre, quando non c'è attraversamento nell'atmosfera.

L'intensità dell'irradianza solare incidente su un corpo posto sulla superficie terrestre dipende anche dall'albedo del terreno circostante dato che l'irradianza riflessa in alto dal terreno viene in parte ridiffusa in basso dall'atmosfera; l'albedo è la frazione della irradianza globale che viene riflessa dalla superficie che la riceve e caratterizza le proprietà riflettenti di una superficie, oggetto o intero sistema ad esso relativo.

12.7.1.3. Calcolo della radiazione solare: cielo sereno

A causa dell'imprevedibilità e dei differenti dati in merito, il calcolo della radiazione solare, viene fatto approssimando il suo svolgimento tramite modelli semplificati e semiempirici.

Con essi si riesce a valutare la radiazione solare diretta e diffusa a cielo sereno con un grado di accuratezza accettabile. Il metodo seguito prevede il calcolo della radiazione diretta normale e diffusa mediante alcuni semplici algoritmi.

Si parte dal calcolo dell'intensità della **radiazione diretta normale alla superficie l_n**

$$l_n = A \cdot e^{-Bm}$$

con

A = radiazione solare virtuale a massa d'aria nulla ($m=0$)

B = coefficiente di estinzione

L'intensità della **radiazione diretta su superficie orizzontale l_b** è data da:

$$l_b = l_n \cdot \cos \theta_z = l_n \cdot \sin \beta$$

con

β = altezza solare

L'intensità della **radiazione diffusa sull'orizzontale l_d** è data da:

$$l_d = C \cdot l_n$$

con

C = fattore di radiazione diffusa

θ_z = angolo zenitale

12.7.1.4. Calcolo della radiazione solare: cielo nuvoloso

Se con una certa approssimazione si riesce a prevedere il valore della radiazione diretta e diffusa in un giorno sereno, non si può fare lo stesso per un giorno nuvoloso, per cui servirebbero dei dati sul tipo e sulle proprietà ottiche delle nuvole, la quantità, lo spessore, la posizione e il numero di strati e questi dati non vengono raccolti sistematicamente, cosa che invece accade per il soleggiamento, la radiazione solare globale e diffusa incidente su una superficie orizzontale.

Tramite l'espressione proposta da Liu e Jordan è possibile calcolare la luce media diffusa su una superficie orizzontale:

$$l_d = H_d \cdot \left[\frac{\pi}{24} \cdot \frac{(\cos \omega - \cos \omega_s)}{\sin \omega_s - \omega_s \cdot \cos \omega_s} \right]$$

mentre per il calcolo della radiazione globale oraria media mensile si usa la seguente formula:

$$l = \frac{H \cdot l_d \cdot (a + b \cdot \cos \omega)}{\sum l_d \cdot (a + b \cdot \cos \omega)}$$

dove

$$a = 0.409 + 0.5016 \cdot \sin(\omega_s - 1.047)$$

$$b = 0.6609 + 0.4767 \cdot \sin(\omega_s - 1.047)$$

Infine l'intensità della radiazione diretta si trova per differenza:

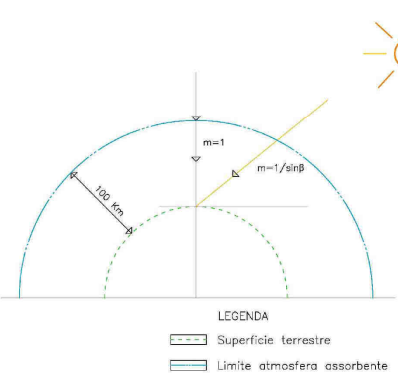
$$l_b = l - l_d$$

12.7.1.5. Radiazione solare su un piano inclinato

Una superficie comunque orientata ed inclinata posta sulla superficie terrestre riceve dall'ambiente circostante una radiazione globale, nel campo delle lunghezze d'onda della radiazione solare, che può pensarsi come somma di tre componenti: diretta,

TAV. 12.07-243
Calcolo radiazione solare a cielo sereno
– 21 Giugno

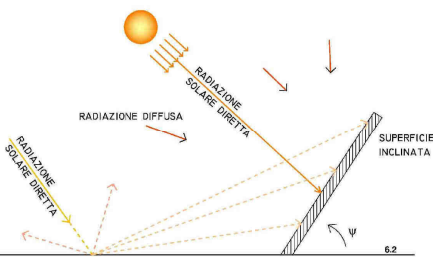
TAV. 12.07-244
Calcolo radiazione solare a cielo sereno
– 21 Dicembre



117. Schema del percorso solare

TAV. 12.07-245
Calcolo radiazione solare a cielo nuvoloso – 21 Giugno

TAV. 12.07-246
Calcolo radiazione solare a cielo nuvoloso – 21 Dicembre



118. Rappresentazione delle tre componenti di radiazione solare: diretta, diffusa e riflessa

diffusa e riflessa dal terreno; nel caso di superficie orizzontale, che non "vede" il terreno, la componente riflessa è nulla.

Quando i valori istantanei delle componenti diretta e diffusa della radiazione solare incidente su una superficie orizzontale sono noti, l'intensità della **radiazione totale incidente su una superficie** comunque **orientata ed inclinata** I_t , può calcolarsi mediante la seguente formula:

$$I_t = H_d \cdot \left[\frac{\pi}{24} \cdot \frac{(\cos \omega - \cos \omega_s)}{\sin \omega_s - \omega_s \cdot \cos \omega_s} \right]$$

dove

I_t = l'intensità della radiazione solare diretta incidente su superficie orizzontale

I_d = l'intensità radiazione diffusa incidente su sup. orizzontale

È possibile calcolare la radiazione solare totale incidente su superficie orizzontale con la seguente formula

$$I = I_t + I_d$$

Occorre poi conoscere

W = angolo fra il piano della superficie ed il piano orizzontale

ρ = albedo

R_b che rappresenta il rapporto fra radiazione solare diretta incidente sulla superficie in esame e quella incidente su superficie orizzontale dato da:

$$R_b = \frac{I_n \cdot \cos \theta}{I_n \cdot \cos \theta_z}$$

con

I_n = l'intensità della radiazione solare diretta normale incidente su una superficie normale ai raggi solari.

Il limite dell'espressione precedente di I_t è quello di assumere il cielo con un'emissione energetica uniforme e ciò è abbastanza vicino alla realtà solo per cielo coperto. Per il caso di cielo sereno invece, si avrà che la radiazione diffusa presenta la massima intensità intorno al Sole.

TAV. 12.07-247
Diagrammi solari

12.7.1.6. Le carte dei percorsi solari

Utilizzando le espressioni di $\cos(\theta_z)$ e $\cos(\alpha)$ si possono costruire degli strumenti utili per la determinazione grafica della posizione del sole sulla volta celeste: le carte dei percorsi solari, ovvero dei diagrammi in cui è possibile leggere altezza e azimut del sole alle diverse ore di un giorno di ciascun mese senza dover ricorrere alle formule.

In questi grafici si fa riferimento al tempo locale, per convertirlo nel tempo standard, occorrono due direzioni:

- la prima dovuta all'equazione del tempo;
- la seconda dovuta alla differenza di longitudine fra il meridiano della località in esame e il meridiano di riferimento del fuso orario.

12.7.1.7. Definizioni, dati, prospetti e norma UNI 10349

Per lo sviluppo di questa parte della relazione si fa riferimento alla norma UNI 10349 che fornisce i dati climatici convenzionali necessari per la progettazione e la verifica sia degli edifici che degli impianti tecnici per il riscaldamento ed il raffrescamento.

I dati verranno quindi presentati in due distinte categorie:

- Dati climatici giornalieri medi mensili per il fabbisogno energetico e le verifiche igrotermiche
- Dati di progetto per verificare il superamento di valori massimi o minimi di specifiche grandezze ed il dimensionamento dei sistemi di riscaldamento e di raffrescamento.

12.7.1.8. Valori mensili di temperatura media giornaliera

La temperatura media massima si registra tra i mesi di Luglio e di Agosto (rispettivamente 28,9°C e 27,7°C). L'andamento mensile medio delle temperature è caratterizzato da un grafico con una concavità verso il basso abbastanza accentuata a sottolineare la differenza di temperatura di circa 20° tra i mesi più caldi (Luglio, Agosto) e quelli più freddi (Gennaio, Febbraio, Dicembre) agli estremi della curva.

TAV. 12.07-248
Valori tabulati

12.7.1.9. Irradiazione solare giornaliera media mensile

I valori più alti di irradiazione si ottengono nei mesi più caldi (Giugno 22,50 MJ/m² e Luglio 23,16 MJ/m²). Diminuisce progressivamente avvicinandosi ai mesi più freddi di Novembre (4,31 MJ/m²), Dicembre (3,10 MJ/m²), Febbraio (6,62 MJ/m²) e Gennaio (3,70 MJ/m²).

Sulle superfici verticali per il calcolo dell'irradiazione solare giornaliera è necessario studiare l'orientamento prevalente dei raggi solari in funzione del mese.

Nei mesi più freddi (Novembre, Dicembre, Gennaio, Febbraio) l'irradiazione massima si registra in direzione Sud mentre nei mesi più caldi (Giugno, Luglio, Agosto) assume valori maggiori in direzione Est-Ovest.

L'irradiazione in direzione Nord raggiunge valori massimi nei mesi estivi pur non toccando mai valori elevati sottolineando il fatto che le superfici verticali esposte a Nord sono le più fredde e le meno illuminate.

12.7.2. Illuminotecnica

Si può dire che la luce sia la coscienza dell'esistenza della realtà.

Il mondo esiste in quanto lo sentiamo, lo tocchiamo ma soprattutto lo vediamo.

La luminosità, il colore e quindi l'apparenza delle cose sono solo l'effetto prodotto sulla retina da una particolare forma di energia nota con il nome di radiazione elettromagnetica. Ciò che realmente esiste è l'energia elettromagnetica, mentre la luce può essere definita un'invenzione del sistema costituito dall'occhio-cervello che cattura l'energia radiante emessa in un determinato intervallo di lunghezze d'onda per trasformarla in sensazione visiva. Le onde elettromagnetiche sono una grande famiglia che comprende molte radiazioni, apparentemente diverse, come le onde radio o hertziane, i raggi ultravioletti, gli infrarossi e i raggi X. Solamente una piccola parte delle radiazioni elettromagnetiche viene catturata dagli occhi e trasformata in immagini che permettono di conoscere ed interpretare la realtà che ci circonda. La luce quindi è energia raggiante. Si propaga nel vuoto in forma di onde elettromagnetiche o particelle, dette fotoni, alla velocità di circa 300.000 km/s. Le onde elettromagnetiche possono avere una lunghezza d'onda che va dal milionesimo di millimetro sino a decine di metri, ma solamente una piccola parte viene trasformata dal sistema visivo in sensazione luminosa.

Le onde radio, i raggi X e Gamma, i raggi cosmici sono anch'esse radiazioni elettromagnetiche, della stessa natura della luce, ma non producono alcuna sensazione visiva sull'occhio umano. Alcune di queste radiazioni producono altri effetti, che possono essere benefici, come è il caso dell'abbronzamento indotto da alcune radiazioni ultraviolette, ma anche dannosi, come è il caso dei processi degenerativi delle cellule provocati dai raggi X.

Le radiazioni elettromagnetiche sono caratterizzate da tre parametri:

- velocità di propagazione nel vuoto;
- lunghezza d'onda, ossia lo spazio percorso da un'onda per compiere un'oscillazione completa;
- frequenza, ossia il numero di oscillazioni nell'unità di tempo.

Il primo è un dato costante per tutte le radiazioni, gli altri due sono variabili.

Lo spettro delle radiazioni visibili non ha dei limiti ben precisi, in quanto la sensibilità dell'occhio umano varia da individuo a individuo. Per questo motivo la sua estensione è stata fissata, per convenzione, nell'intervallo che va da 380 a 780 nm (1 nm = 1/1.000.000 m), confinato a sinistra dalle radiazioni ultraviolette (lunghezza d'onda inferiore a 380 nm) e a destra dalle radiazioni infrarosse (lunghezza d'onda superiore a 780 nm). Lo spettro delle radiazioni visibili può essere a sua volta suddiviso in sei bande principali, ciascuna corrispondente ad una determinata sensazione cromatica:

- 380 - 436 nm: viola
- 436 - 495 nm: blu
- 495 - 566 nm: verde
- 566 - 589 nm: giallo
- 589 - 627 nm: arancio
- 627 - 780 nm: rosso

Tabella 42.

Grandezze unità radiometriche ed unità fotometriche

Grandezze		Unità radiometriche	Unità Fotometriche
Flusso Luminoso	F	watt	lumen (lm)
Illuminamento	E	watt/m ²	lux (lm/m ²)
Radianza	L	watt/m ²	lux s.b. (lm/m ²)
Intensità Luminosa	I ₀	watt/sr	candela (cd)
Luminanza	s	watt/m ² sr	Cd/m ²

Queste radiazioni producono determinati effetti sul corpo umano che dipendono dalla lunghezza d'onda, dal tempo di esposizione e dalla quantità di energia irradiata.

12.7.2.1. Effetto della luce sull'uomo

Circa l'80% di tutte le impressioni sensoriali sono di natura ottica e necessitano della luce come veicolo di informazioni. Ciò dimostra la straordinaria importanza della luce per l'uomo. La luce non solo trasmette attraverso l'occhio le informazioni ai centri della vista che si trovano nel cervello; ma, attraverso una particolare ramificazione di nervi influisce altresì sugli organi di regolazione del sistema neurovegetativo, che comanda l'intero ricambio e le funzioni dell'organismo.

Si comprende in tal modo perché una buona luce non solo facilita le funzioni del vedere e del riconoscere, ma aumenta anche lo stimolo lavorativo ed il benessere fisico accrescendo la capacità di concentrazione ed evitando la stanchezza precoce. Lo sviluppo dell'illuminotecnica è venuto insieme con quello delle sorgenti luminose artificiali. La progettazione della quantità e della qualità della luce in modo tecnico, programmato e non empirico è recente, anche se in realtà già con la cultura barocca, si può parlare di illuminotecnica, in quanto il legame esistente tra architettura e luce, intesa come elemento scenografico è molto profondo. L'illuminotecnica deriva i suoi principi fondamentali e le grandezze in gioco dalla fotometria, disciplina che studia la luce in funzione dello stimolo prodotto sull'occhio umano.

12.7.2.2. Caratteristiche ottiche dei materiali

Un raggio di luce che colpisce una superficie viene riflesso, diffuso, assorbito o trasmesso modificandosi per intensità, direzione e verso in funzione delle caratteristiche fisiche del mezzo intercettato.

Le caratteristiche ottiche dei materiali nei confronti della luce incidente sono espresse con i fattori di riflessione, trasmissione ed assorbimento.

La riflessione può essere speculare, diffusa oppure mista.

- si dice "speculare" quando il raggio non viene modificato in intensità e l'angolo di riflessione è uguale a quello incidente.
- si dice "diffusa" quando il raggio incidente viene modificato in una serie di raggi di minore intensità uniformemente distribuiti con angoli di riflessione diversi da quello incidente.
- si dice "mista" quando sono presenti entrambi i tipi sopra descritti.

In genere i materiali che si utilizzano nella realtà pratica presentano una riflessione di tipo mista, con prevalenza della componente diffusa o della componente speculare. Il fattore di riflessione di una superficie è dato dal rapporto tra flusso luminoso riflesso e flusso luminoso incidente e può andare dal 3, 4% nel caso di una superficie molto scura e polverosa, fino al 90% di una superficie liscia bianca.

Il fattore di trasmissione è dato dal rapporto tra flusso luminoso trasmesso e flusso luminoso incidente, riferito ad un determinato spessore del materiale in esame.

Il vetro chiaro ha fattore di trasmissione tra 80 e 90%.

Il vetro smerigliato ha fattore di trasmissione tra 70 e 80%.

Il vetro opalino ha fattore di trasmissione tra 55 e 70%.

I suddetti dati variano, naturalmente, in relazione allo spessore del materiale, al tipo di lavorazione ed al tipo di composizione dello stesso.

12.7.2.3. La luce naturale in architettura

La luce è la prima dimensione dell'architettura, senza la luce non ci sarebbe spazio, infatti è la luce stessa a determinarne l'atmosfera e il senso del luogo. Essa è un



119. Raffaello, Dama con liocorno (dettaglio dell'occhio sinistro) luce visibile



120. Cristallo in contro luce

ente fisico che rende visibili la forma, il colore, la dimensione degli oggetti che ci circondano, è un ente oggettivo, una grandezza fisica misurabile.
La luce è dentro, fuori e tutt'intorno ad un edificio.

“Architecture is a sophisticated and dramatic play of volumes combined in light”

Le Corbusier

In questo modo la luce ha anche un diretto impatto su come viene definita l'architettura, non solo nella forma o nella dimensione degli spazi, ma anche per gli stessi materiali con cui verrà realizzata. Sin dal passato l'architettura si rifaceva al movimento del Sole e alla qualità e intensità della luce. Si potrebbero leggere le architetture nella storia attraverso la categoria interpretativa definita dalla luce come materiale della composizione. Un'adeguata conoscenza della luce, delle sue qualità e dei suoi effetti fisici favorisce lo sviluppo di una certa qualità architettonica e permette la creazione di uno spazio con valore emozionale aggiunto.

La luce è all'origine di tutto allorché ne colpisce la superficie delle cose, ne delinea i profili producendo ombre dietro agli oggetti e ne coglie la profondità.

La luce ha anche un significato simbolico, in molte religioni la luce è simbolo di unità divina.

Nell'architettura islamica ad esempio, la luce ha una funzione decorativa. Nell'architettura cristiana invece, dai Romani, al periodo Gotico e ancora il Rinascimento fino al Barocco, la luce risulta essere come un materiale, un elemento essenziale per l'architettura.

La luce infatti risulta un materiale fisico per l'architettura che può conferirgli dinamicità, forma e design entro una dimensione temporale.

In architettura come per la scultura, la combinazione di luce e ombra crea un forte contrasto di piani e conferisce una texture alla pietra scolpita come al muro costruito.

I confini tra luce e oscurità articolano gli oggetti nella loro forma specifica e predispongono ai rapporti. La luce garantisce l'autonomia delle cose e definisce allo stesso tempo le relazioni, è la luce stessa che crea le connessioni che formano il mondo.

La luce è origine di tutto, ma non è sorgente immobile; è movimento che modella lo spazio attraverso la rottura dell'oscurità.

Come per la stesura iniziale del progetto, durante gli approfondimenti per il Complesso Edilizio F è stata fatta una ricerca tra le opere di alcuni dei più importanti architetti, che hanno fatto della luce uno degli elementi basilari per la definizione degli spazi dei loro progetti.

Tra questi vengono presentati:

1. Le Corbusier
2. Louis Kahn
3. Tadao Ando
4. Renzo Piano
5. Mario Botta
6. Richard Meier
7. Ralph Erskine
8. Jean Nouvel
9. Steven Holl
10. Zaha Hadid

TAV. 12.07-249
Le Corbusier / Louis Kahn

TAV. 12.07-250
Tadao Ando / Renzo Piano

TAV. 12.07-251
Mario Botta / Richard Meier

TAV. 12.07-252
Ralph Erskine / Jean Nouvel

TAV. 12.07-253
Steven Holl / Zaha Hadid

La luce presenta comunque aspetti sia positivi che negativi che possono interagire per una migliore definizione degli spazi e delle tecnologie da utilizzare in architettura.

Vantaggi

- Benefici psicologici ed emotivi per le persone
- Variabilità
- Preferenza per la luce naturale da parte degli occupanti
- Effetti direzionali e "modelling"
- Riduzione dei consumi energetici
- Soleggiamento
- Guadagni solari passivi durante l'inverno

Problematiche

- Surriscaldamento estivo e insolazione diretta
- Abbagliamento
- Continua variazione di intensità
- Perdite di calore attraverso le finestre
- Carenza di controllo
- Eccessivi condizionamenti sulla progettazione
- Infiltrazioni di aria
- Inadeguata penetrazione in profondità della luce
- Rischi di condensa sui vetri
- Ostruzioni esterne

12.7.2.4. Illuminazione naturale

Dato che la percezione che l'occhio ha della radiazione dipende dalla lunghezza d'onda, non è possibile usare direttamente le grandezze radiometriche per valutare l'effetto di una data sorgente dal punto di vista della illuminazione.

Risulta quindi necessario introdurre nuove e appropriate grandezze e unità di misura, come l'**illuminamento (E)** e la **luminanza (L)**.

Il primo è definito come il rapporto tra il flusso luminoso ricevuto da una superficie e l'area della superficie stessa. In altre parole indica la quantità di luce che colpisce un'unità di superficie e si misura in lux [lx].

Il secondo invece è il rapporto tra l'intensità luminosa emessa da una superficie in una data direzione e l'area apparente di tale superficie. L'area apparente è la proiezione di una superficie su un piano normale alla direzione considerata; in pratica indica la sensazione di luminosità e si riceve da una sorgente luminosa. I dati di misura dell'illuminamento esterno sono spesso forniti come frequenza (in %), sotto forma di una curva; tuttavia in questo modo non viene fornito un quadro completo dell'illuminamento, dal momento che riguarda solo quello diffuso. L'illuminamento proveniente da un cielo coperto è di tipo diffuso, mentre l'illuminamento proveniente da un cielo sereno ha anche una componente diretta.

Nota la distribuzione delle luminanze in funzione dell'**altezza β** e dell'**azimut α** , è possibile calcolare il valore dell'illuminamento con la seguente formula:

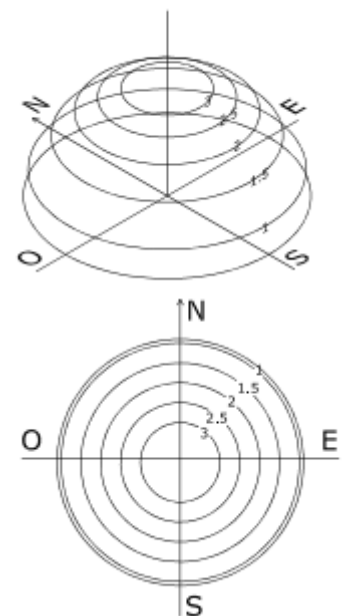
$$E = \int L d\Omega$$

dove:

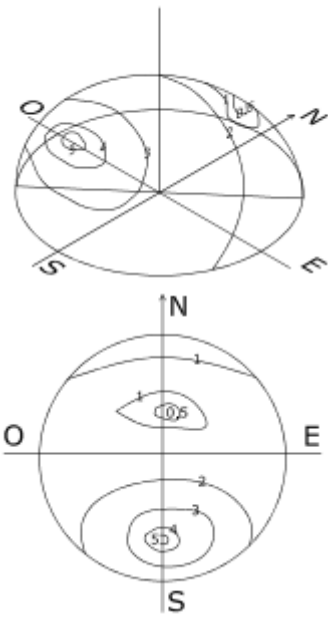
L = luminanza del cielo

Ω = angolo solido sotteso

nel caso di una superficie orizzontale che vede tutta la volta celeste, l'angolo solido sotteso è 2π .



121. Rappresentazione sulla volta celeste della luminanza in caso di cielo coperto



122. Rappresentazione sulla volta celeste della luminanza in caso di cielo sereno

Tabella 43.
Coefficienti Efficienza Luminosa

TAV. 12.07-254

Calcoli riguardanti illuminamento esterno per il 21 giugno in caso di cielo

TAV. 12.07-255

Calcoli riguardanti illuminamento esterno per il 21 dicembre in caso di cielo coperto standard

TAV. 12.07-256

Calcoli riguardanti illuminamento esterno per il 21 giugno in caso di cielo sereno con $\epsilon=30^\circ$ e $\gamma=30^\circ$

TAV. 12.07-257

Calcoli riguardanti illuminamento esterno per il 21 dicembre in caso di cielo sereno con $\epsilon=30^\circ$ e $\gamma=30^\circ$

Per la distribuzione della luminanza sono stati definiti alcuni modelli matematici. In particolare per un cielo coperto la CIE (comitato internazionale illuminazione) ha definito un cielo coperto standard, secondo cui la **luminanza L_ϵ (ϵ angolo dello zenit)** dipende dall'**angolo di altezza β** e dai valori della **luminanza del cielo allo zenit L_z** secondo la seguente formula

$$L_\epsilon = L_z \cdot \left(\frac{1 + 2 \cdot \cos \epsilon}{3} \right)$$

E' evidente come la luminanza aumenti man mano che dall'orizzontale ci si avvicini allo zenit, dove raggiunge poi un valore tre volte maggiore di quello dell'orizzontale L_0 . La luminanza allo zenit per il cielo coperto si può stimare in cd/m^2 , **definendo β l'altezza solare**, si ha l'espressione:

$$L_z = 90 + 9.630 \cdot \sin \beta$$

Dalla figura xxx si può notare come le zone più luminose del cielo risultano essere due: una attorno al sole e una in direzione ad esso ortogonale, mentre nella zona di cielo simmetrica rispetto a quella occupata dal Sole si ha un minimo di luminanza.

La luminanza allo zenit per cielo sereno si stima con l'espressione:

$$L_z = 100 + 600(\tan \beta)^{1,1}$$

Il flusso luminoso emesso dal cielo, come per qualsiasi sorgente, può esser derivato da quello energetico, se è noto il rendimento luminoso. La radiazione proveniente dal cielo cambia istante per istante in relazione allo spessore di atmosfera attraversato e alla sua composizione, tuttavia la variazione è sempre contenuta entro un certo margine, che consente di utilizzare dei valori medi utili per i calcoli.

Tipo di Luce	Conduzione	Efficienza Luminosa
Luce solare	Altezza solare $7,5^\circ$	90
	Altezza solare $> 25^\circ$	117
	Medio	125
Luce del cielo	Nuvoloso e coperto	100
	Limpido	150
Globale	Medio	115

Per ottenere una carta di distribuzione della luminanza del cielo L_ϵ , è stata calcolata al variare di ϵ e di γ e dell'angolo azimutale dell'elemento di cielo $d\epsilon$. I valori considerati sono: $\epsilon = 30^\circ, 45^\circ$ e 60° .

Il calcolo dell'illuminamento esterno nel caso di cielo sereno o intermedio risulta essere più complesso che non quello nel caso di cielo coperto standard, dato che la distribuzione di luminanza non dipende più soltanto dall'angolo di altezza β e dai valori della luminanza del cielo allo zenit L_z , ma le variabili in gioco sono più numerose e persino i calcoli più complessi.

Risulta pertanto necessaria la discretizzazione della volta celeste per le misure di distribuzione della luminanza del cielo.

La volta celeste viene divisa quindi in 145 elementi (sky zones), ciascuno dei quali sottende un angolo solido pari a 0,0316 steradiani (il diametro di ciascun elemento sottende quindi un angolo di $11,5^\circ, 0,2$ radianti). La percentuale di cielo ricoperto da tale discretizzazione è pari a circa il 73%. Per rendere il ricoprimento della discretizzazione uguale all'angolo solido sotteso dalla volta celeste, gli elementi di cielo vengono ingranditi fino a far sottendere al loro diametro un angolo pari a circa $13,47^\circ$, così che l'angolo sotteso da ciascun elemento è di circa 0,0433 steradiani.

Per ottenere risultati attendibili sarebbe necessaria l'intera discretizzazione, che però manualmente presenta notevoli difficoltà sia per i possibili errori di calcolo che per il

tempo necessario alla loro realizzazione e che porterebbero ad un risultato ancora approssimato.

Per ovviare a tale problema, si può intervenire sugli algoritmi di calcolo, adoperando metodologie basate su parametri indipendenti dalla distribuzione di luminanza della volta celeste.

A questa categoria di strategie si può ricondurre il metodo dei daylight coefficients, la cui implementazione risulta relativamente semplice anche nel caso di algoritmi di calcolo basati sul ray tracing.

L'analisi illuminotecnica è stata svolta nello specifico sulla Grande Galleria e nella Hall di Ingresso, quindi scegliendo i luoghi pubblici e comuni di maggiore importanza. Lo studio è stato effettuato con il programma Ecotect v5.20 per individuare l'andamento del daylight factor.

TAV. 12.07-258
Simulazione del day light factor
Hall di Ingresso

TAV. 12.07-259
Simulazione del day light factor
Grande Galleria

TAV. 12.07-260
Simulazione del day light factor
Lungo Corridoio

TAV. 12.07-261
Simulazione del day light factor
I primi spazi commerciali

TAV. 12.07-262
Simulazione del day light factor
Edificio F3

Approfondimenti Impiantistici

13

13.1.	IMPIANTO DI RISCALDAMENTO	349
13.1.1.	Il Metodo CEN	350
13.1.1.1.	Calcolo delle dispersioni	351
13.1.1.1.1.	Dispersioni per trasmissione	351
13.1.1.1.2.	Dispersioni per ventilazioni ed infiltrazioni	351
13.1.1.2.	Calcolo dei guadagni	352
13.1.1.3.1.	I guadagni interni	352
13.1.1.3.2.	I guadagni solari	352
13.1.1.3.3.	Inerzia termica della zona	352
13.1.2.3.	Calcolo del fattore di utilizzazione	
13.1.2.4.	Calcolo del fabbisogno energetico mensile	
13.1.2.5.	Calcolo del fabbisogno utile in regime discontinuo	
13.1.2.6.	Calcolo della potenza per il riscaldamento dell'edificio	
13.2.	IMPIANTO DI RAFFRESCAMENTO	355
13.3.	SCHEMA IMPIANTISTICO	357
13.3.1.	Tipologia e funzionamento Caldaia	358
13.3.1.1.	Potere calorifico inferiore e superiore	359
13.3.2.	Locale Caldaia	359
13.3.3.	Pannelli radianti	359
13.3.3.1.	Prestazione energetica	360
13.3.4.	Impianto di condizionamento	361
13.4.	COLLETTORI SOLARI	362
13.4.1.	Dimensionamento economicamente ottimale di un Impianto a pannelli solari	364
13.4.1.1.	Metodo F-CHART	364
13.5.	IMPIANTO FOTOVOLTAICO	366
13.5.1.	Storia del solare fotovoltaico	367
13.5.1.1.	I Pionieri	367
13.5.1.2.	Lo sviluppo delle tecnologie	367
13.5.1.3.	Le applicazioni	368
13.5.1.4.	Il Fotovoltaico in Italia	369
13.5.2.	Il principio di funzionamento: la cellula fotovoltaica	370
13.5.2.1.	Tipologie di celle solari	371
13.5.3.	Le tipologie impiantistiche	371
13.5.3.1.	Stand-alone	372
13.5.3.2.	Grid-connected	372
13.5.4.	Calcolo del fabbisogno di energia elettrica	373

13.5.4.1. Risparmi ottenibili attraverso la modifica del comportamento	373
13.5.4.2. Risparmi ottenibili con l'uso di apparecchiature ad alta efficienza	374
13.5.4.2.1. Sistemi di illuminazione	374
13.5.4.2.2. Elettrodomestici ad alta efficienza	374
13.5.5. Calcolo dell'impianto fotovoltaico	374
13.5.6. Valutazioni economiche	376
13.5.7. Dove installare i pannelli fotovoltaici	376
13.5.7.1. Installazione su tetto inclinato	376
13.5.7.2. Installazione su tetto piano	376
13.5.7.3. Installazione in facciata	376
13.6 ILLUMINAZIONE ARTIFIALE	377
13.6.1. Gli Apparecchi di illuminazione	378
13.6.2. Sorgenti luminose artificiali: tecnologia e funzionamento	378
13.6.3. Il progetto dell'impianto di illuminazione	379

13.1 Impianto di Riscaldamento

La qualità di un prodotto non è il suo eccellere, cioè il distinguersi dagli altri prodotti edilizi, ma la sua capacità di soddisfare le esigenze del fruitore, il suo essere appropriato al dettato di una norma o di un patto contrattuale.

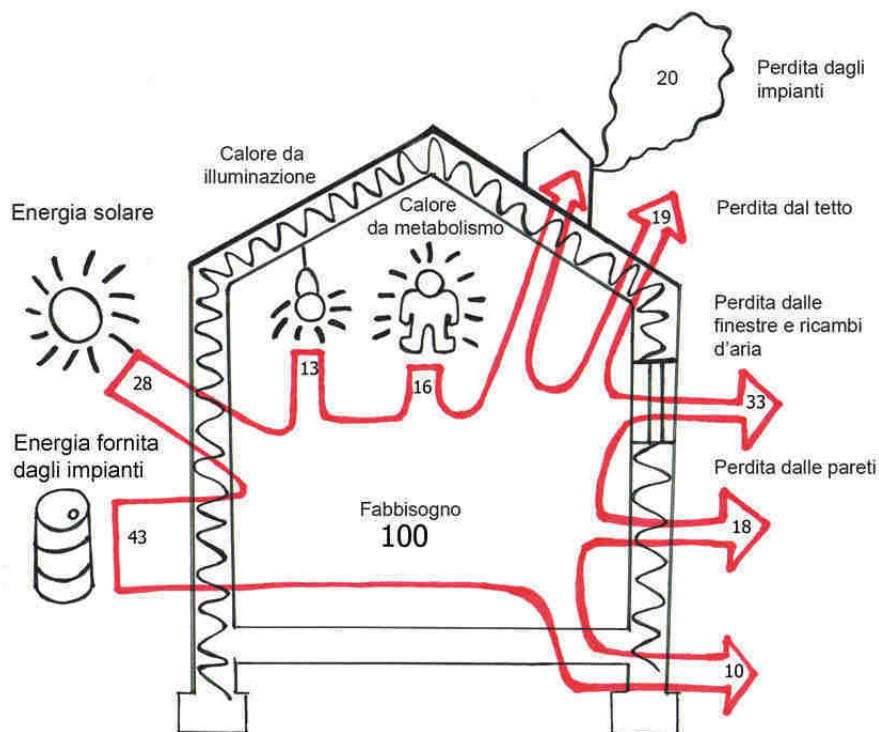
Se è vero che la qualità abitativa è qualità urbana e architettonica è soprattutto vero che essa è qualità dell'ambiente interno, cioè benessere termoigrometrico, adeguata illuminazione, assenza di rumori fastidiosi e salubrità dell'aria.

Nella progettazione corrente le nozioni di fisica ambientale devono essere fortemente ancorate all'opera progettuale.

Non poche sono le difficoltà incontrate nel definire in sede progettuale i requisiti del benessere perché:

- il benessere è individuale e non collettivo: corrisponde per definizione al soddisfacimento psicofisico di un singolo individuo. Variabilità risposta umana: definizione qualitativa e quantitativa dei parametri ambientali. (UNI EN ISO 7730);
- il benessere è globale e non singolare; nella realtà i vari fattori interferiscono fra loro e le percezioni sensoriali si sovrappongono (Sick Building Syndrome = Sindrome da Edificio Malato);
- Sovrapposizione delle condizioni ambientali ritenute ottimali.

Scopo dell'installazione degli impianti di riscaldamento e climatizzazione negli edifici è quello di mantenere le prefissate condizioni dei parametri ambientali: il progetto, deve rendere l'edificio un elemento attivo di controllo e regolazione di tali fattori evitando quanto più possibile l'uso indiscriminato degli impianti, e dove necessario massimizzare l'uso di fonti rinnovabili.



123. Schema fabbisogno energetico di un edificio

13.1.1. Il metodo CEN

Data la complessità dei fenomeni fisici che governano il comportamento termico in regime dinamico degli edifici, la valutazione del fabbisogno energetico risulta complessa.

Esistono pertanto programmi di calcolo che simulano nel dettaglio gli scambi termici, la ventilazione e l'impianto di climatizzazione.

Anche questi però possiedono un certo grado di difficoltà derivante dalle numerose e specifiche informazioni richieste; pertanto sono stati sviluppati anche altri metodi, derivati dai modelli di simulazione, che permettono di eseguire lo stesso tipo di valutazione con minore accuratezza ma più semplicemente.

Uno di questi è il **metodo CEN** che si basa sul concetto del fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti di energia, cioè sul fatto che la radiazione solare entrante in un edificio ed il calore prodotto dalle fonti energetiche interne (persone, fornelli, lampade ecc.) non vengono utilizzati per intero a detrazione delle dispersioni dovute alla differenza di temperatura fra interno e esterno; si ha invece una "efficienza" di utilizzazione che dipende dalle caratteristiche geometriche e termofisiche e dal rapporto fra guadagni e perdite.

L'energia termica dell'impianto di riscaldamento (resa) deve essere tale da coprire il fabbisogno termico Q (intendendo la quantità di energia che deve essere fornita agli ambienti che costituiscono un edificio) **in [W] richiesto dal locale considerato che dipende dalle condizioni ambientali interne ed esterne, quali temperatura del locale, temperatura esterna, presenza di vento, incidenza dei raggi solari, composizione delle pareti del locale, eventuale energia termica dovuta al riscaldamento del locale superiore, ecc.**

Il CEN (Comitato Europeo per la Normazione) ha sviluppato un metodo di calcolo che è stato preso come base per la Norma **UNI 10344** per il calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento degli edifici e che si avvia ad essere base di tutte le analoghe normative dei paesi dell'UE.

I fattori che insieme contribuiscono al bilancio energetico di un edificio riscaldato sono:

- il clima esterno (temperatura, radiazione solare, vento) e le caratteristiche microambientali (protezioni dal vento, dal sole);
- il livello di isolamento, espresso dalle dispersioni attraverso l'involucro;
- la tenuta alle infiltrazioni degli infissi e i ricambi d'aria;
- la temperatura di progetto interna;
- le caratteristiche dell'impianto di riscaldamento comprendendo la generazione, la distribuzione, i sistemi di controllo etc.;
- il comportamento degli abitanti in base ad un comportamento medio convenzionale.

Il calcolo del fabbisogno di energia è stato svolto nell'ipotesi di mantenere la temperatura interna rigorosamente costante 24 ore su 24 secondo i punti di seguito esposti.

13.1.1.1. Calcolo delle dispersioni

Le dispersioni vengono calcolate tra ciascuna zona basandosi su una temperatura interna dell'aria costante 24 ore al giorno per tutti i giorni del periodo di riscaldamento e comprendono due tipologie di dispersioni:

1. Trasmissione
2. Ventilazione e infiltrazioni

Nel progetto sono state ipotizzate due zone dove poter ospitare due grandi sistemi di produzione di energia per il riscaldamento dell'interno Complesso Edilizio F.

Questi due sistemi sono completamente indipendenti tra loro e si occupano di soddisfare il fabbisogno di parti diverse del complesso in oggetto, come meglio specificato nella figura qui accanto. Le due parti vengono considerate come due edifici a se stanti e visto che, come detto in precedenza il funzionamento dei due impianti è del tutto autonomo, si considerano le parti interne confinanti delle due zone come delle zone a temperatura costante pari a 10°C. L'impianto 1 fornisce energia a quella che sarà identificata come zona 1 composta dagli Edifici F1, F2 (parte commerciale e i laboratori) e F5 mentre l'impianto 2 fornisce l'energia alla zona 2 composta dagli Edifici F4, F3, F2 (Foyer e sala conferenze) e la grande Hall di Ingresso.

Si rimanda al **Paragrafo 13.3** per lo schema degli impianti per la distribuzione del calore all'interno del complesso.

13.1.1.1.1. Dispersioni per trasmissione

Il **calore disperso** Q_t a causa della differenza fra la temperatura dell'aria di una zona riscaldata e quella esterna è fornita dalla equazione:

$$Q_t = H_t \cdot (t_i - t_e) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot N$$

dove:

t_i = temperatura interna di progetto della zona

t_e = temperatura esterna media mensile

N = indica il numero di giorni di funzionamento dell'impianto di riscaldamento

H_t è la **dispersione termica specifica** in W/K fra la zona a temperatura uniforme e e l'ambiente esterno ed è definita dalla seguente formula:

$$H_t = \sum K_{par} \cdot S_{par} + \sum K_{inf} \cdot S_{inf} + \sum K_{cop} \cdot S_{cop}$$

Dove:

K_{par} , K_{inf} e K_{cop} = indicano rispettivamente le trasmittanze di pareti, infissi e della copertura

S_{par} , S_{inf} e S_{cop} = indicano rispettivamente le superfici di pareti, infissi e della copertura

Il calore uscente dalla zona attraverso il pavimento che si appoggia sul terreno e delle pareti controterra è dato da:

$$Q_g = H_g \cdot (t_i - t_e) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot N$$

dove:

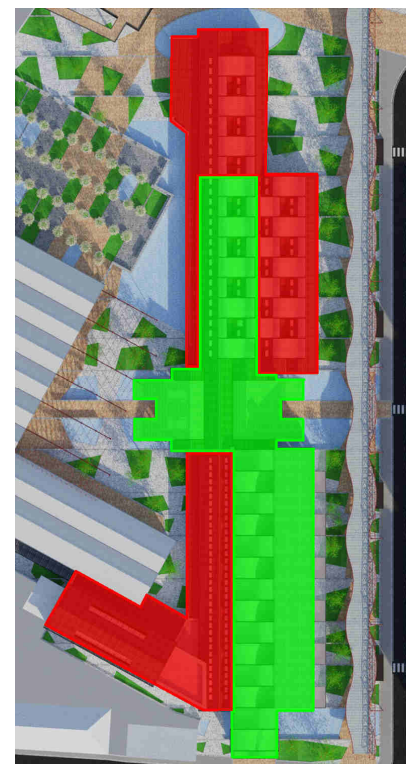
$$H_g = \left(\sum K_{pav} \cdot S_{pav} + \sum K_{par\ int} \cdot S_{par\ int} \right) \cdot \frac{(t_i - t_g)}{(t_i - t_e)}$$

Con

K_{pav} e $K_{par\ int}$ = indicano rispettivamente le trasmittanze dei pavimenti e delle pareti controterra

S_{pav} e $S_{par\ int}$ = indicano rispettivamente le superfici dai pavimenti e delle pareti Controterra

T_g = temperatura della falda (10-15°C)



124. Planivolumetrico con identificazione delle zone dei due impianti di riscaldamento:
Zona 1 █
Zona 2 █

TAV. 13.01-263
Calcolo calore disperso Zona 1

TAV. 13.01-264
Calcolo calore disperso Zona 2

13.1.1.1.2. Dispersioni per ventilazione ed infiltrazioni

La quantità globale di energia Q_v perduta dalla zona per effetto della ventilazione e delle infiltrazioni di aria esterna durante un mese si può esprimere con la:

$$Q_v = H_v \cdot (t_i - t_e) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot N$$

dove

$$H_v = \rho \cdot c \cdot G$$

Con

G = portata volumetrica dell'aria di ventilazione o infiltrazioni = $n V$ [m³/h]

ρ = densità dell'aria (= 1,20 kg/m³)

c = calore specifico a pressione costante dell'aria (= 1000 J/kg K)

n = numero di ricambi/ora

V = volume della zona

13.1.1.2. Calcolo dei guadagni

13.1.1.2.1. I guadagni interni

TAV. 13.01-265
I guadagni interni

I guadagni interni Q_i sono la somma di tutte le quantità di calore generate nell'ambiente escluso il calore prodotto dall'impianto di riscaldamento. Si tiene dunque conto del:

- calore metabolico prodotto dagli occupanti

$$Q_{occ} = 70 \cdot N_{occ} \quad \text{in [MJ/mese]}$$

dove N_u = numero di persone presenti nella zona in esame

- calore prodotto dal funzionamento delle apparecchiature elettriche

$$Q_{app} = 500 + 100 \cdot N_{op} \quad \text{in [MJ/mese]}$$

dove N_a = numero degli addetti presenti nella zona in esame e che utilizzano una apparecchiatura elettrica

- calore prodotto dalle cucine

$$Q_{cuc} = 260 \quad \text{in [MJ/mese] o 214,26 [KwH/a]}$$

- calore prodotto dalle lampade valutato secondo le specifiche esigenze del caso in esame. (Q_{ill})

13.1.1.2.1. I guadagni solari

TAV. 13.01-266
I guadagni solari

Le superfici che raccolgono l'energia solare sono principalmente quelle vetrate, ma contribuiscono alla formazione dei guadagni solari anche le superfici opache esposte al sole, le pareti e il pavimento delle logge vetrate e, in generale, tutti i muri che si trovano dietro una superficie trasparente esposta al sole.

L'espressione generale per il calcolo dei guadagni solari Q_s in un dato periodo è:

$$Q_s = \left[\sum_j (I_{tj} \cdot \sum_i S_{eij}) \right] \cdot N$$

dove la prima sommatoria è estesa a tutte le orientazioni j e la seconda a tutte le superfici i su cui incide la radiazione solare e con

I_{tj} = energia solare giornaliera media mensile incidente su una superficie unitaria avente esposizione j

S_{eij} = area equivalente della superficie i avente esposizione j .

13.1.1.2.3. Inerzia termica interna della zona

L'inerzia termica interna si rappresenta mediante la costante di tempo τ , che è il tempo occorrente perché la temperatura della massa effettiva della zona si abbassi di 1 K quando la differenza di temperatura fra interno e esterno è pure di 1 K:

$$\tau = \frac{C}{H_t + H_v}$$

dove:

$C = \sum c_i \cdot m_i^*$ = capacità termica effettiva della zona, con la somma estesa a tutti gli elementi in contatto termico diretto con l'aria interna della zona calcolata e con

c_i = calore specifico del materiale di cui è composto l'elemento

m_i^* = massa effettiva dell'elemento i .

La determinazione della massa effettiva dell'elemento i deve tenere conto dell'andamento della temperatura di questo elemento quando è soggetto ad una temperatura variabile della sua superficie interna.

13.1.1.3. Calcolo del fattore di utilizzazione

Il fattore di utilizzazione è un fattore di riduzione da applicare ai guadagni di calore (solare Q_s ed interni Q_i) per tenere conto del comportamento dinamico dell'edificio e del sistema di controllo dell'impianto.

Indicando con $Q_p = Q_t + Q_v$ il calore disperso per trasmissione, ventilazione e infiltrazioni e con $Q_g = Q_s + Q_i$ i guadagni totali, si definisce il rapporto

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_p}$$

In un edificio ideale con inerzia termica infinita e riscaldato con un impianto capace di mantenere la temperatura sempre perfettamente costante, la relazione fra η e γ sarebbe:

$$\eta = 1 \quad \text{se } \gamma < 1$$

$$\eta = 1 / \gamma \quad \text{se } \gamma > 1$$

In effetti il fattore di utilizzazione è minore del valore ideale e si può calcolare mediante la seguente relazione

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}}$$

con a parametro numerico dipendente dalla costante di tempo τ :

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0}$$

	a_0	τ_0 [h]	τ_0 [s]
Calcolo mensile	1,00	16	57600
Calcolo stagionale	0,80	28	108000

TAV. 13.01-267

Calcolo fattore di utilizzazione

Calcolo fabbisogno di energia

Calcolo F.E.U. in regime discontinuo

13.1.1.4. Calcolo del fabbisogno di energia

Si calcolano le dispersioni Q_p , i guadagni Q_g e η mese per mese, e si ottiene il fabbisogno di energia di ciascuna zona Q_f mediante la relazione

$$Q_f = Q_p - \eta \cdot Q_g$$

Il fabbisogno totale stagionale è dato dalla somma di quelli mensili

$$Q_{j \text{ tot}} = \sum_{\text{stagionale}} Q_f$$

I mesi interessati dal calcolo sono quelli compresi nella stagione di riscaldamento, la cui lunghezza, in Italia, è convenzionalmente fissata.

Nel caso di **Monza** si hanno **2404 gradi giorno** e una durata di **180 giorni**.

Per il calcolo annuale si usano i dati climatici medi ottenuti facendo la media di quelli mensili e calcolando dispersioni e guadagni sull'intero periodo di riscaldamento; quindi il termine N che nel calcolo mensile rappresenta il numero dei giorni del mese, nel caso di calcolo stagionale rappresenta il numero dei giorni di riscaldamento.

In condizioni reali di funzionamento

$$Q_{hr} = Q_{hvs} - (\eta_e \cdot \eta_c)$$

Tabella 44.

Determinazione di a e della costante di tempo

13.1.1.5. Calcolo del fabbisogno energetico utile in regime discontinuo

$$Q_{hvs} = k \cdot (F_{il} \cdot (Q_i - Q_{se}) - \eta_u \cdot F_{ig} \cdot (Q_{si} + Q_i))$$

13.1.1.6. Calcolo della potenza di riscaldamento dell'edificio

$$P_{tot} = (H_t + H_v) \cdot (t_i - t_e)$$

Si può determinare poi la potenza specifica di riscaldamento relativa alla superficie netta

$$P_1 = \frac{P_{tot}}{S_{up}}$$

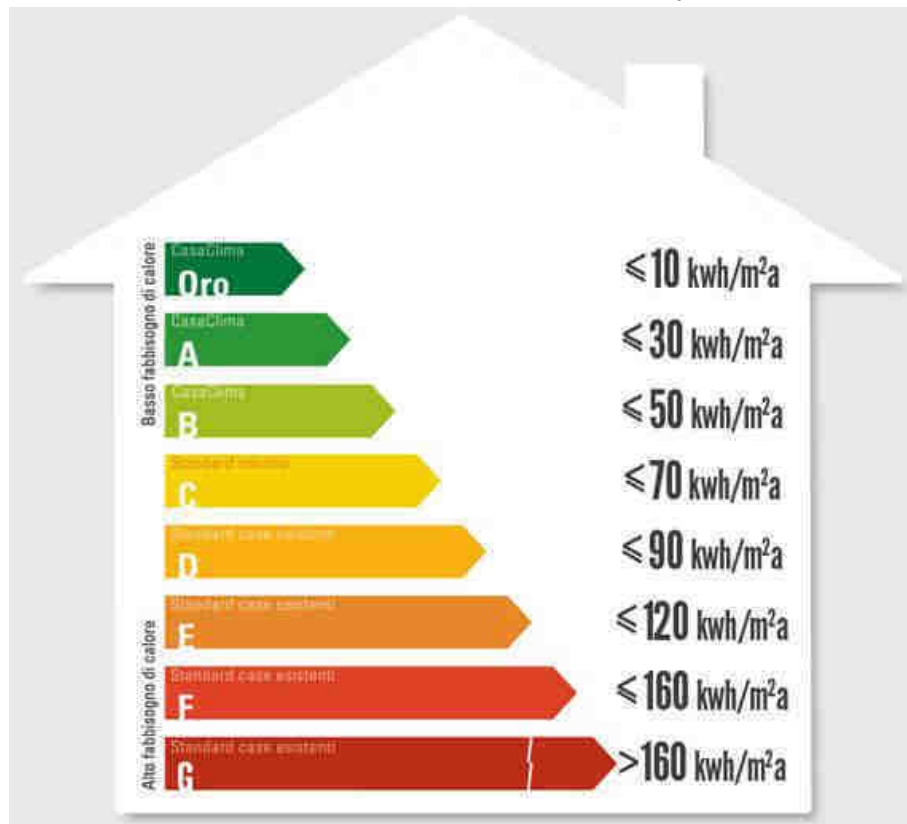
Calcolo del fabbisogno di calore specifico alla superficie netta

$$HWB = \frac{Q_h}{NGF_B}$$

Questo dato è il valore di riferimento del protocollo CASACLIMA della provincia autonoma di Bolzano, con il quale si classifica l'efficienza energetica dell'edificio.

TAV. 13.01-268
Potenza di riscaldamento

125. Indice termico dell'edificio calcolato secondo i dati climatici di Bolzano



13.2 Impianto di Raffrescamento

Lo scopo principale di un impianto di condizionamento dell'aria è quello di mantenere in un ambiente, le condizioni che contribuiscono al comfort dell'individuo o sono necessarie per determinati processi di fabbricazione.

Per raggiungere questo obiettivo, l'impianto deve avere una potenzialità sufficiente che deve essere controllata, qualunque ne sia la ragione, da un dispositivo di regolazione.

La potenzialità dell'impianto è determinata in funzione dei carichi massimi reali, mentre il tipo di regolazione è scelto in modo tale che le condizioni ambientali si raggiungano non soltanto nel periodo di massimo carico, ma anche con carichi ridotti. In generale è difficile determinare, per un certo ambiente i carichi massimi e stabilire al tempo stesso i carichi che si avranno in condizioni intermedie.

Per poter determinare i carichi o i disperdimenti con una precisione sufficiente, è indispensabile conoscere tutti gli elementi che hanno una influenza sul bilancio termico ambiente e una volta noti si sceglie l'impianto più economico e al tempo stesso più adatto per conseguire i risultati prestabiliti.

Gli apporti di calore o i disperdimenti, sono le quantità di calore scambiate durante l'unità di tempo tra l'esterno e l'interno di un locale. Il carico reale è definito come la quantità di calore fornita o assorbita dall'impianto durante l'unità di tempo.

Il carico termico istantaneo e il carico reale fornito dall'impianto sono raramente identici a causa dell'inerzia termica dei materiali che costituiscono il locale.

Per determinare con esattezza il bilancio termico è indispensabile conoscere con una sufficiente precisione, i fattori che influenzano l'equilibrio termico ambiente.

1. Orientamento dell'immobile in rapporto rispetto a;
 - a) punti cardinali o venti dominanti
 - b) immobili vicini
 - c) superfici riflettenti: acqua, sabbia, pavimentazione etc.
2. Destinazione dell'edificio
3. Dimensioni
4. Altezza del soffitto
5. Colonne e travi
6. Materiali di costruzione 7. Altre condizioni esterne
 - a) Colore esterno dei muri, tetti, irraggiamento
 - b) Ventilazione naturale o forzata
 - c) Locali adiacenti condizionati o non
8. Finestre
 - a) dimensioni e ubicazione
 - b) Telaio in legno o metallo
 - c) tipo di vetro
 - c) sistema di oscuramento
9. Porte
10. Scale, ascensori, scale mobili
11. Persone
 - a) numero, durata della permanenza nel locale
 - b) genere di attività, eventuali concentrazioni.
12. Illuminazione
 - a) potenza impegnata al momento del carico massimo

- b) tipo: incandescente, fluorescente, ad incasso, etc;
- 13. Apparecchi domestici, equipaggiamenti elettronici
 - a) sistemazione, consumo elettrico nominale, consumo di gas a di vapore, utilizzazione o meno di cappe di aspirazione, volume d'aria estratta o da estrarre,
- 14. Ventilazione
 - a) quantitativo d'aria determinato in base alla destinazione del locale, alla superficie del pavimento
- 15. Accumulo di calore
 - a) Influenzato dalla durata giornaliera di funzionamento dell'impianto (h al giorno), dalla variazione della temperatura interna ammissibile alle condizioni esterne di progetto, dalla presenza di tappeti, dalla natura dei materiali con cui sono costruite le pareti del locale.
- 16. Funzionamento quotidiano o non

La scelta degli apparecchi necessari per un impianto, è evidentemente basata sul bilancio termico. Questo bilancio deve tener conto sia dei carichi esterni che dei carichi interni, che si registrano alle condizioni di progetto e cioè:

1. al valore massimo dell'entalpia dell'aria esterna;
2. ad un irraggiamento massimo (assenza di foschia);
3. a carichi interni normali.

Il momento in cui gli apporti di calore raggiungono il loro massimo, può essere stabilito facilmente anche se questo comporta delle stime fatte per diverse ore e differenti giorni dell'anno. In realtà è molto raro che i diversi carichi raggiungano simultaneamente il loro massimo e per avere dei risultati attendibili è necessario applicare dei coefficienti di simultaneità ad alcuni di loro.

Per il caso specifico si farà riferimento al metodo Carrier-Pizzetti che è stato appunto ideato per calcolare i carichi estivi massimi dell'edificio in un giorno definito senza tenere conto dei carichi latenti.

TAV. 13.02-269
Metodo Carrier-Pizzetti per il calcolo
dei carichi estivi massimi di un edificio

13.3 Schema Impiantistico

Dopo gli studi e le ricerche fatti sia sulle condizioni climatiche che sulle nuove tecnologie, la scelta impiantistica per il progetto si è innanzitutto rivolta verso i sistemi ad accumulo.

Il principio di funzionamento di tale tecnologia è di fatto estremamente semplice nella sua concezione: accumulare in senso energetico in contenitori di metallo (grossi termos) l'energia prodotta direttamente da fonti di energia convenzionali e/o rinnovabili.

Fra le fonti rinnovabili, un ruolo emblematico riveste l'energia solare captata con meccanismi diversi e la cui fruizione ha risvolti concreti ed interessanti nel settore dell'impiantistica contemporanea.

L'energia termica può essere resa disponibile per il soddisfacimento sia del fabbisogno termico per il riscaldamento stagionale, che per la produzione di acqua calda sanitaria. Più fonti di energia possono concorrere al soddisfacimento dei fabbisogni, allo scopo di utilizzare in maniera intelligente le temperature all'interno dell'accumulatore installato nell'impianto termico.

L'obiettivo primario dell'accumulo termico è quindi il raggiungimento di comfort e benessere fisiologico all'interno dello spazio fruito, attraverso l'impiego di forme di energia che riducano al minimo i consumi e che siano eco-compatibili con il contesto esterno.

In questo senso l'accumulo termico rappresenta una valida tecnologia di risparmio energetico e di sfruttamento ottimale delle fonti energetiche rinnovabili. Rispetto al raggiungimento della temperatura ottimale all'interno degli ambienti, è irrilevante la forma di energia impiegata. Ciò che conta dal punto di vista del comfort, è la qualità della temperatura ambientale raggiunta. Il connubio quindi tra le diverse forme di produzione di energia, rappresenta il sistema migliore per ottenere dall'impianto termico la massima efficienza e resa.

L'accumulo inerziale si presta ottimamente a questo scopo, in quanto consente di ricorrere all'impiego dei sistemi di produzione energetica che risultano più economici e meno inquinanti. Dal punto di vista impiantistico, l'accumulo inerziale rappresenta il polmone dal quale gli utilizzatori possono prelevare energia nei momenti di bisogno.

Il completamento dell'impianto termico con l'accumulo inerziale richiede la realizzazione di un sistema di termistori che attraverso dei consensi e/o dissensi elettrici, attivano e/o disattivano i componenti idronici (valvole e circolatori) per la cessione dell'energia ai corpi scaldanti.

Nella progettazione e realizzazione dei circuiti idraulici, non bisogna dimenticare l'importanza della stratificazione nell'accumulatore: da essa deriva la massima resa del sistema attraverso un'ottimizzazione dell'impiego delle fonti alternative.

La stratificazione può essere ottenuta per convezione naturale (l'acqua a diversa temperatura ha densità diverse) o meccanica attraverso l'uso di setti separatori o altre tecnologie.

La messa a punto di un sistema di termoregolazione, anche semplice, consente di sfruttare al meglio l'energia prodotta ed accumulata, da gestire secondo le necessità. Riassumendo pertanto i principali componenti del sistema impiantistico, inerente al riscaldamento e raffreddamento dell'intero Complesso Edilizio F sono i seguenti:

- caldaia a condensazione
- pannelli radianti
- condizionatori



126. Mozia

Inoltre per lo studio delle energie rinnovabili e il risparmio di energia sono stati analizzati più nel dettaglio anche:

- i collettori solari (paragrafo 13.4)
- il fotovoltaico (paragrafo 13.5)

13.3.1. Tipologia e funzionamento della caldaia

Uno degli obiettivi primari della Comunità Europea è quello di puntare al massimo risparmio di energia. Al fine di realizzare tale obiettivo è stata emanata la cosiddetta direttiva che concerne i requisiti di rendimento delle caldaie (direttiva 92/42/CEE DEL CONSIGLIO). Essa definisce i tipi di caldaie e stabilisce i requisiti essenziali per lo sfruttamento di energia (gradi di rendimento minimo).

Le caldaie sono suddivise in tre famiglie

- (a) Caldaie standard: vengono definite quelle caldaie per le quali la temperatura media d'esercizio è limitata dalla tipologia costruttiva. Questo tipo di caldaia soddisfa i requisiti minimi essenziali per l'utilizzo dell'energia.
- (b) Caldaie a bassa temperatura: vengono definite quelle caldaie che possono funzionare in modo continuativo ad una temperatura d'ingresso da 35-40 °C e per le quali, in particolari condizioni, può aver luogo una condensazione del vapore acqueo contenuto nei gas di scarico.
- (c) Caldaie a condensazione: vengono definite quelle caldaie concepite per la condensazione di gran parte del vapore acqueo contenuto nei gas di scarico.

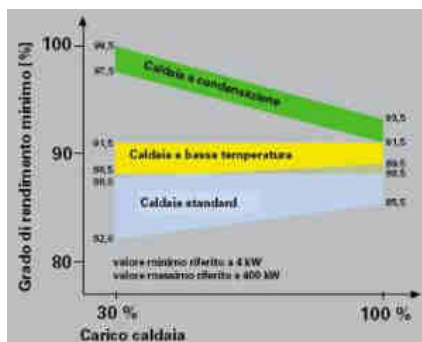
Uno dei presupposti per il rilascio del marchio CE, ad es. per le caldaie a bassa temperatura o le caldaie a condensazione, è quello di soddisfare i requisiti essenziali del rendimento minimo alla potenzialità massima utile o a carico ridotto (ad un carico pari al 30 %).

La tipologia di caldaia scelta per l'impianto in esame corrisponde a quella a condensazione, la cui installazione, nel quadro di un programma economico, può consentire un notevole risparmio di combustibile.

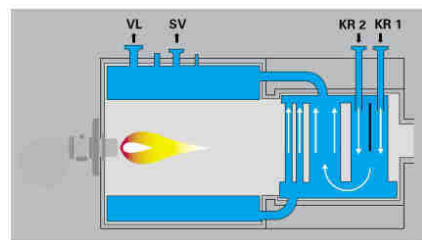
Le percentuali di risparmio conseguite per tali potenzialità sono con un valore max. del 25 %. I risparmi in termini assoluti, calcolati in litri o in m³ all'anno e per potenzialità medie e grandi, sono tuttavia considerevoli e comportano tempi di ammortamento più brevi.

I risparmi più bassi in termini percentuali sono dovuti alle ridotte dispersioni specifiche per mantenimento in esercizio delle caldaie di potenzialità più elevate. Le caldaie di potenzialità superiore a 70 kW ca. vengono installate in impianti destinati ad edifici plurifamiliari, uffici amministrativi, edifici pubblici quali ad es. scuole e ospedali, edifici industriali e fabbricati di grandi dimensioni. L'elevato fabbisogno di calore di questi edifici comporta un consumo altrettanto elevato di gasolio o di gas. Ad esempio caldaie di vecchia produzione, di potenzialità pari a 200 kW, consumano ca. 45 000 litri o m³ all'anno. Grazie alla tecnica della condensazione è possibile ottenere un notevole aumento del rendimento stagionale rispetto ai valori ottenibili con caldaie convenzionali o a bassa temperatura.

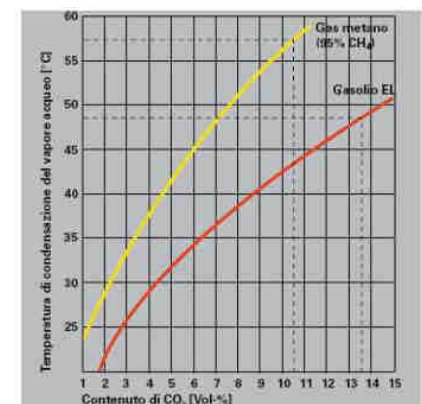
La tecnica della condensazione consente di recuperare la considerevole quantità di calore che nelle "caldaie convenzionali" si disperde insieme ai gas di scarico attraverso il camino. Questa tecnologia è dunque caratterizzata da un funzionamento a consumo energetico particolarmente basso abbinato a ridotte emissioni inquinanti. Con la condensazione del vapore acqueo generato dalla combustione, si libera il calore latente contenuto nel gas di combustione (definito anche calore latente di evaporazione) che viene trasmesso all'acqua di caldaia. Se si utilizza il gas metano, rispetto ad una caldaia a bassa temperatura il rendimento stagionale può aumentare del 15 %.



127. Grado di rendimento minimo CE alla potenzialità massima a carico ridotto (ad un carico pari al 30%)



128. Schema caldaia a condensazione



129. Temperatura di condensazione del vapore acqueo

La conseguenza è un consumo di energia notevolmente ridotto per la produzione della quantità di calore desiderata. La figura xxx mostra il flusso di calore corrispondente per una caldaia a bassa temperatura e a condensazione.

13.3.1.1. Potere calorifico inferiore e superiore

Il **potere calorifico inferiore (P_{ci})** definisce la quantità di calore liberata durante una combustione completa, quando l'acqua che si viene a formare è sotto forma di vapore. Il **potere calorifico superiore (P_{cs})** definisce la quantità di calore liberata durante una combustione completa, incluso il calore di evaporazione contenuto nel vapore acqueo presente nei gas di combustione.

Nelle caldaie tradizionali e a bassa temperatura è necessario evitare la condensazione dei gas di combustione poiché ciò potrebbe provocare danni da corrosione sulle superfici di scambio termico. Per questa ragione il calore latente di evaporazione non poteva essere utilizzato in precedenza. Pertanto per tutti i calcoli del rendimento stagionale si utilizzava quindi il potere calorifico inferiore (P_{ci}) quale valore di riferimento. Grazie ora alla possibilità di utilizzare il calore latente di evaporazione, utilizzando la tecnica della condensazione si hanno rendimenti stagionali superiori al 100 %.

Un utilizzo efficace delle caldaie a condensazione è possibile non solo in un sistema di riscaldamento con basse temperature (ad es. riscaldamento a pavimento) ma anche con superfici di scambio termico convenzionali, poiché le temperature del ritorno per un ampio campo di temperatura esterna sono inferiori alla temperatura di condensazione del vapore acqueo.

13.3.2. Locale Caldaia

Si definisce "locale caldaia" un locale per caldaie con una potenzialità complessiva superiore ai 35 kW. I requisiti di tali locali sono determinanti dai regolamenti edilizi e dalle normative in materia di sicurezza dei singoli paesi.

Le caldaie per combustibili liquidi o gassosi aventi una potenzialità al focolare complessiva superiore a 35 kW possono essere installate solo in locali appositi conformi alla normativa vigente e secondo questi accorgimenti:

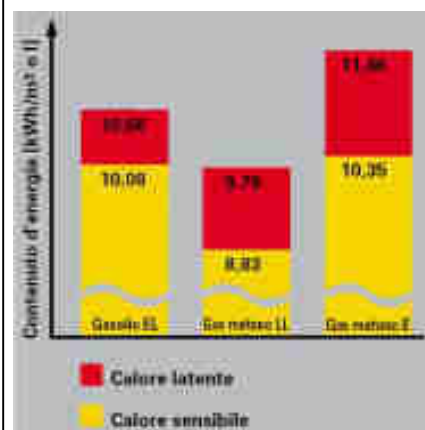
- che non vengano utilizzati per altri scopi, fatta eccezione per l'installazione di pompe di calore, gruppi di cogenerazione
- che non abbiano aperture rivolte verso altri locali, ad eccezione delle aperture delle porte, salvo diversa prescrizione di legge
- che abbiano porte a chiusura ermetica ed automatica
- che possano essere aerati

Invece per quanto riguarda le caldaie:

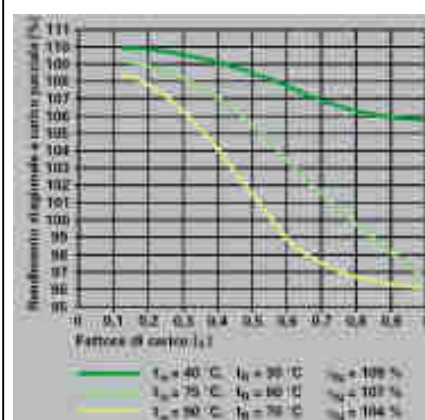
- devono poter essere disinserite in qualsiasi momento per mezzo di un interruttore situato all'esterno del locale d'installazione e le tubazioni del combustibile per gas devono essere dotate di una valvola termica di sicurezza d'intercettazione del gas stesso.
- possono essere altresì installate in locali diversi da quelli previsti qualora questi locali si trovino in edifici indipendenti, destinati solamente al funzionamento di una caldaia. Per una combustione sicura e pulita della fiamma è importante che l'alimentazione dell'aria di combustione sia sufficiente.

13.3.3. Pannelli radianti

La climatizzazione di ambienti con pannelli radianti consente di realizzare condizioni migliori di benessere con minori consumi energetici, rispetto ad altre soluzioni impiantistiche.



130. Contenuto d'energia dei combustibili



131. Andamento dei rendimenti stagionali a carico parziale per diversi sistemi di riscaldamento

TAV. 13.03-270
Locale Caldaia Zona 1

TAV. 13.03-271
Locale Caldaia Zona 2

La migliore prestazione in termini di benessere è legata sia alla bassa velocità dell'aria nel locale, dal momento che il calore viene fornito all'ambiente soprattutto per irraggiamento, sia al fatto che l'ottimale valore della temperatura operativa viene raggiunto con una minore temperatura dell'aria che, di conseguenza, dà luogo a minori dispersioni di calore verso l'esterno nel caso di riscaldamento invernale.

Le condizioni operative caratterizzate da bassi valori di temperatura nei terminali di riscaldamento comportano anche una migliore efficienza del sistema di produzione del calore. Per comprendere questa tecnologia sono stati presi in considerazione i risultati provenienti da un monitoraggio di un sistema di riscaldamento a pannelli radianti utilizzato per la climatizzazione di un monolocale adibito ad ufficio.

Il sistema è costituito da pannelli radianti sia sospesi a soffitto che posati a pavimento ed alimentati da acqua calda in inverno, o refrigerata in estate, prodotta da una pompa di calore a compressione di vapore. Sono stati misurati i principali parametri significativi per la caratterizzazione delle condizioni di benessere termofisico nell'ambiente e delle condizioni termofluidodinamiche nello spazio climatizzato. La climatizzazione con soffitto e/o pavimento radiante consiste nel mantenere un'ampia superficie del soffitto e/o del pavimento a temperatura diversa da quella dell'aria ambiente (maggiore in inverno e minore in estate). Questa tecnica di climatizzazione ha subito una interessante diffusione negli ultimi anni ma non si può definire affatto recente. Le prime applicazioni risalgono all'ipocausto delle terme romane, dove le pareti venivano mantenute calde da aria circolante in intercapedini.

A parità di portata volumetrica, l'acqua è circa 4000 volte più efficiente dell'aria nel trasporto dell'energia termica. Questo è solo uno dei punti a favore dell'impianto di climatizzazione a pannelli radianti ad acqua.

Ad esso si aggiunge la maggiore igienicità ambientale legata all'assenza di fastidiose correnti d'aria con minore diffusione nell'ambiente di polveri ed inquinanti e l'assenza di immissioni sonore legate ai sistemi di movimentazione dell'aria. Tutti questi vantaggi rendono il sistema di riscaldamento a soffitto/pavimento radiante particolarmente indicato per uffici, ospedali, biblioteche, sale convegno ed in generale tutte quelle applicazioni che presentano particolari esigenze di igiene ambientale e ridotto inquinamento acustico.

La sensazione di benessere nell'ambiente climatizzato dipende dalla temperatura operativa, e quindi sia dalla temperatura dell'aria che da quella media radiante.

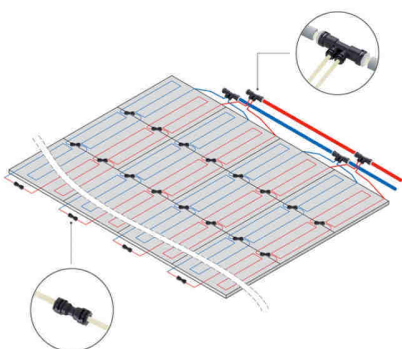
Un aumento della temperatura media radiante realizzata negli impianti di riscaldamento con pannelli a soffitto e/o a pavimento consente una riduzione della temperatura dell'aria a parità di sensazione di benessere. Questo corrisponde ad una riduzione delle dispersioni di calore verso l'esterno con tutti i vantaggi conseguenti: risparmio energetico e minore inquinamento ambientale legato al processo di produzione dell'energia termica per il riscaldamento.

I pannelli radianti vengono alimentati con acqua a temperatura di 30-50°C. Risulta perciò possibile utilizzare sistemi ad alta efficienza per la produzione del calore quali pompe di calore, caldaie a condensazione o calore di recupero.

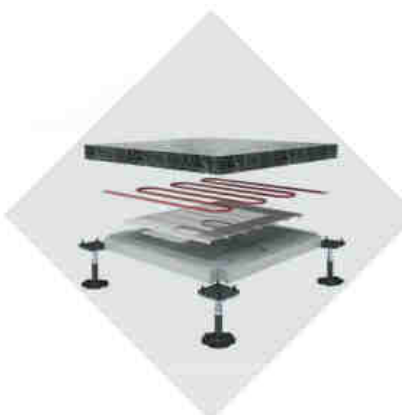
13.3.3.1. Prestazione energetica

L'innalzamento della temperatura media radiante provocato dal soffitto/pavimento radiante consente di operare con temperature dell'aria interna dell'ambiente riscaldato più basse, ordinariamente 2-3°C inferiori ai 20°C di progetto.

Questo porta a minori dispersioni termiche per trasmissione attraverso l'involucro e per ventilazione, valutabili in una riduzione del consumo energetico dell'ordine di 10-15%. A questo vantaggio si deve aggiungere quello legato alla possibilità di utilizzare generatori di calore ad alta efficienza, tipo caldaie a condensazione e pompe di



132. Pannelli radianti a soffitto [Tipo DOMUS LIFE]



133. Pannelli radianti a pavimento [Tipo NEW FLOOR]

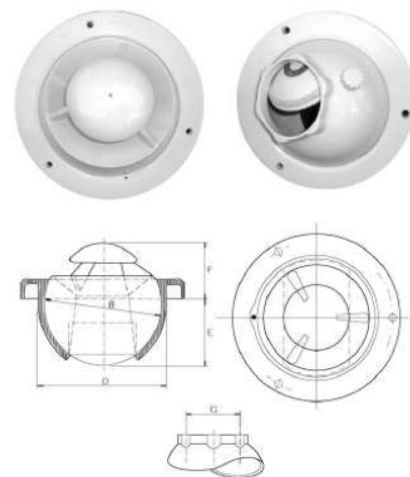
calore. La previsione della prestazione energetica di un impianto a pannelli radianti richiede l'utilizzo di algoritmi di calcolo abbastanza complessi.

In letteratura sono reperibili diversi metodi di simulazione del comportamento termoenergetico che vengono poi corretti, per regimi di funzionamento diversi da quelli di prova, con correlazioni prese da letteratura.

13.3.4. Impianto di condizionamento

L'impianto di condizionamento è composto da due sistemi:

- il primo sfrutta i pannelli radianti a soffitto e/o a pavimento, sopra descritti, nei quali viene immessa acqua a bassa temperatura;
- il secondo, previsto solo per i grandi ambienti pubblici, è costituito da un sistema di condizionamento ad aria. Tale sistema di raffrescamento ad aria è connesso al locale impiantistico interrato e prevede diffusori a lungo lancio, griglie di ripresa e bocchette di mandata. I primi vengono impiegati per la diffusione a lungo lancio dell'aria con un getto ad alta velocità che garantisce un'adeguata diffusione evitando stratificazioni dell'aria. Ove è possibile queste canalizzazioni vengono mantenute a vista per una mera scelta estetica.



134. Esempi di diffusori a lunga portata

TAV. 13.03-272
Individuazione Impianti

TAV. 13.03-273
**Sezione con rappresentazione
funzionamento impianti**

13.4 Collettori Solari

La tecnologia per l'utilizzo termico dell'energia solare ha raggiunto maturità ed affidabilità tali da farla rientrare tra i modi più razionali e puliti per scaldare l'acqua o l'aria nell'utilizzo domestico e produttivo.

La radiazione solare, nonostante la sua scarsa densità (che raggiunge 1kW/m^2 solo nelle giornate di cielo sereno), resta la fonte energetica più abbondante e pulita sulla superficie terrestre.

Il rendimento dei pannelli solari è aumentato di un buon 30 % nell'ultimo decennio, rendendo commercialmente competitive varie applicazioni nell'edilizia, nel terziario e nell'agricoltura.

L'applicazione più comune è il collettore solare termico utilizzato per scaldare acqua sanitaria. Un metro quadrato di collettore solare può scaldare a $45\text{-}60\text{ }^\circ\text{C}$ tra i 40 ed i 300 litri d'acqua in un giorno a secondo dell'efficienza che varia tra 30 % e 80% a seconda delle condizioni climatiche e con la tipologia di collettore utilizzato.

Le tecnologie per utilizzare l'energia solare per produrre calore sono di tre tipi: a bassa, media ed alta temperatura. Nel mondo sono installati oltre 30 milioni di metri quadri di pannelli solari di cui 3 milioni nell'Unione europea.

In Italia l'applicazione dei pannelli solari per scaldare l'acqua può essere ancora molto potenziata. Nel 2000 sono stati installati circa 25.000 m^2 , molto pochi anche rispetto a paesi più freddi (per esempio l'Austria) ma più sensibili a questioni economico ambientali relative a questo settore.

Le applicazioni più comuni sono relative ad impianti per acqua calda sanitaria, riscaldamento degli ambienti e piscine; sono in aumento casi di utilizzo nell'industria, nell'agricoltura e per la refrigerazione solare.

I collettori solari ad aria calda si differenziano da quelli ad acqua per il fatto che in essi il fluido termovettore è costituito da aria. I campi d'applicazione per tali impianti sono tipicamente quelli di riscaldamento dell'aria per la climatizzazione ambientale. Il principio di funzionamento dei collettori ad aria è pressoché lo stesso di quelli ad acqua, ma i parametri di dimensionamento variano sostanzialmente, in quanto l'aria scambia calore con maggiore difficoltà dell'acqua.

La progettazione di un impianto a circolazione forzata richiede la suddivisione dell'analisi del problema dimensionamento attraverso diverse fasi. Così come per la circolazione naturale, preliminarmente è necessario individuare tutte quelle informazioni di base che permettono un dimensionamento accurato dell'impianto ovvero:

- le necessità dell'utente e le condizioni di montaggio
- l'orientamento e l'inclinazione delle superfici disponibili per l'installazione
- le condizioni climatiche del luogo
- la globalità del progetto

La conoscenza di questi dati con l'ausilio eventuale di programmi di simulazione adeguati, permettono di determinare il corretto dimensionamento di un impianto solare.

Successivamente è necessario scegliere il tipo di collettore solare da utilizzare ed in base alle caratteristiche del tipo di collettore scelto, è necessario determinare la superficie necessaria per soddisfare i dati iniziali del progetto e quindi, di conseguenza, il numero dei pannelli solari che devono essere installati.

Nel caso specifico i collettori solari sono stati collocati sulle coperture dell'Edificio F2 (esposizione OVEST), dell'edificio F5 (Esposizione SUD) e della Hall (Esposizione OVEST)

La tipologia scelta è quella dei tubi sottovuoto perché presentano attualmente un maggiore rendimento rispetto ai pannelli.

Questa tecnologia è detta HEAT - PIPE, letteralmente “tubo di calore”, ed è costituita da particolari tubi sottovuoto. In questi collettori la superficie assorbente è saldata ad un tubo chiuso alle due estremità, contenente del fluido bassobollente. Questo fluido, ricevendo calore dalla superficie irraggiata, evapora, sale in alto e condensa nella parte superiore dove il tubo è refrigerato da un flusso di acqua. Il condensato rifluisce per gravità verso la zona evaporativa, lambendo la superficie interna del tubo. I singoli tubi vengono assemblati in parallelo con condensatori posti in serie rispetto al fluido termoconvettore.

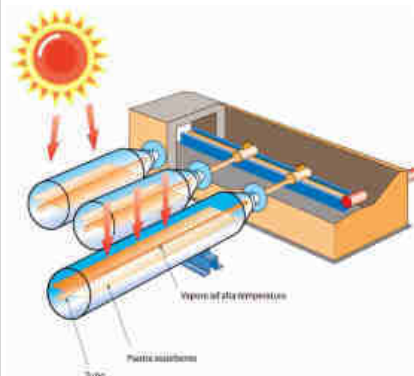
Nel complesso l'impianto dei collettori prevede i seguenti elementi fondamentali:

- Tubi di calore (tecnologia HEAT-PIPE - precedentemente descritti);
- Boiler per l'accumulo dell'acqua calda sanitaria;
- Pompa di circolazione dell'acqua calda dal collettore al boiler;
- Caldaia ausiliaria;
- Centralina di regolazione.

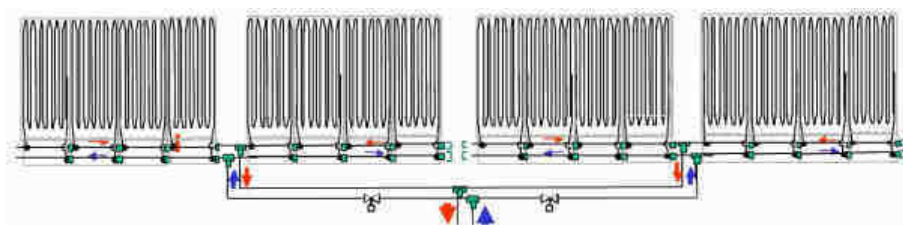
Il serbatoio di accumulo è del tipo 'shell and tube' (mantello e tubo) che risulta più efficiente raggiungendo efficienze superiori di 1÷3% rispetto agli scambiatori 'tube and tube'.

Le regole pratiche utilizzate per il dimensionamento del sistema sono le seguenti:

1. la superficie dei collettori solari è stata calcolata considerando almeno 1 m² per persona;
2. l'orientamento dei collettori è a SUD e a OVEST;
3. l'angolo di inclinazione dei collettori è pari alla latitudine del luogo +/- 5°;
4. la capacità termica del serbatoio è stata dimensionata prevedendo 50 litri a persona. (E' opportuno ricordare che i valori più elevati di volume di accumulo portano ad avere efficienze di raccolta maggiori, ma anche temperature di accumulo inferiori.)
5. E' stata prevista una centralina di regolazione e controllo collegata ai collettori e al boiler per impedire la circolazione inversa parassita. Infatti quando il collettore non raccoglie energia solare si trasforma in un radiatore verso l'atmosfera e pertanto, l'acqua che è in circolazione all'interno dei tubi, si raffredda. La centralina impedisce alla pompa di alimentare il boiler di notte e quindi consente di mantenere la temperatura dell'acqua calda all'interno del serbatoio di accumulo.
6. Per evitare il pericolo del congelamento invernale si può svuotare l'impianto, se questo non è attivo, oppure aggiungere 10÷20% di glicole etilenico per uso organico in modo da abbassare il punto di congelamento del fluido refrigerante.



135. Schema dei collettori solari sottovuoto



136. Schema di funzionamento in serie

13.4.1. Dimensionamento economicamente ottimale di un impianto a pannelli solari

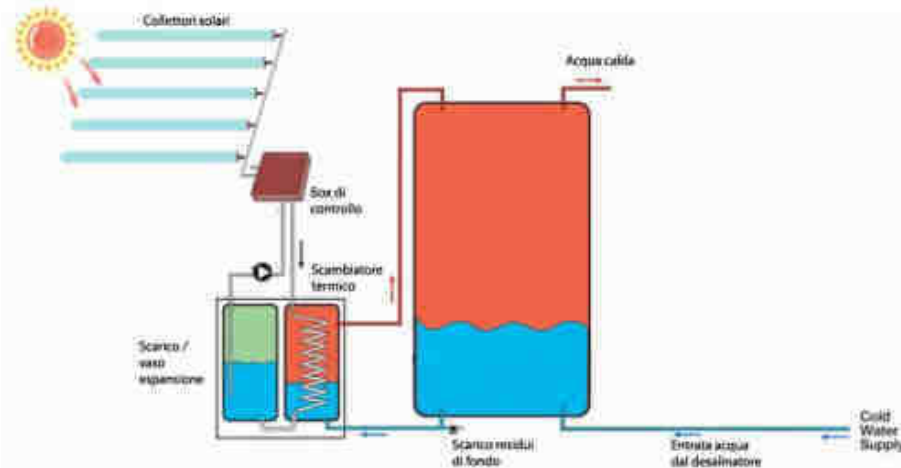
L'elevato costo di investimento di un impianto solare impone un dimensionamento basato su esigenze di convenienza economica. Una volta definito l'irraggiamento solare del luogo e il fabbisogno termico da soddisfare, la scelta della superficie captante rappresenta la fase cruciale della progettazione. Le valutazioni da fare sono sia tecniche sia economiche: va infatti valutata l'energia ricavabile e vanno monetizzati i benefici offerti dall'impianto.

Dal punto di vista tecnico, una volta fissati i parametri caratteristici del pannello solare, vanno opportunamente posti i collettori.

Nota la posizione del collettore si può valutare la radiazione incidente sulla superficie inclinata. Va successivamente fissata la temperatura di lavoro dell'impianto: poiché l'efficienza del sistema è tanto più elevata quanto più bassa è la temperatura del fluido termovettore e poiché per esigenze igienico-sanitarie sono richieste temperature dell'acqua intorno ai 45°C, è opportuno regolare la temperatura a valori non superiori a 50°C.

Una volta note le caratteristiche dei collettori, l'irraggiamento solare sulla loro superficie e le condizioni di funzionamento dell'impianto, si è in grado di valutare l'energia fornita dalla batteria di pannelli solari.

L'energia fornita dai pannelli aumenta all'aumentare della superficie captante: infatti, incrementando l'apporto energetico fornito dai collettori, diminuisce la spesa per l'acquisto del combustibile che alimenta l'impianto ausiliario. Contemporaneamente però, all'aumentare della superficie dei collettori, aumenta il costo complessivo dell'impianto. La superficie economicamente ottimale è allora quella che rende minimo il costo annuale di gestione ed ammortamento dell'impianto: tale configurazione sarà ovviamente costituita da una parte solare ed una parte convenzionale.



137. Schema di funzionamento dei collettori solari

TAV. 13.04-281
Collettori Solari
Metodo F-CHART UNI 8477
Zona 1

TAV. 13.04-282
Collettori Solari
Metodo F-CHART UNI 8477
Zona 2

13.4.1.1. METODO F-CHART

Questo metodo è descritto nella norma UNI 8477 "calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia, valutazione degli apporti ottenibili mediante sistemi attivi o passivi" e si basa su un modello messo a punto da ricercatori dell'Università del Wisconsin, noto come metodo f-chart.

Il metodo è essenzialmente fondato sulla determinazione dell'aliquota mensile di energia coperta dall'impianto solare. La parte eccedente dovrà essere invece sopportata dall'impianto ausiliario di tipo convenzionale.

Il primo passo da compiere riguarda il calcolo dei fabbisogni mensili di energia dovuti al riscaldamento e agli usi igienicosanitari.

In via di prima approssimazione il fabbisogno mensile di energia per l'acqua calda sanitaria è definito dalla seguente formula:

$$E_2 = \frac{c_p \cdot l \cdot p \cdot \Delta t \cdot n_g}{860}$$

in cui

c_p	è il calore specifico dell'acqua	[l kcal/kg °C]
l	è il consumo d'acqua per persona al giorno	[l/persona]
p	è il numero di persone	[persone]
Δt	è il salto termico tra l'acqua calda e l'acqua di rete	

Noto il fabbisogno di energia, si calcolano due parametri (che verranno indicati con **X** e **Y**) indicativi delle perdite e degli apporti di calore sul collettore.

$$X = \frac{A \cdot S \cdot U \cdot (100 - t_a) \cdot 24 \cdot n_g}{1000 \cdot E}$$

$$Y = A \cdot S \cdot \left(\frac{1000 \cdot E}{\tau \cdot \alpha \cdot l \cdot \beta} \right)$$

A questo punto si può calcolare **f**, cioè la **frazione solare mensile coperta dall'impianto**. Solitamente essa è individuata in funzione dei due parametri X e Y definiti precedentemente.

Il valore f può essere quindi ottenuto con una funzione analitica di questo tipo:

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3$$

Il metodo F-CHART opera secondo delle ipotesi riguardanti il volume di accumulo termico che devono essere rispettate nel momento in cui si valuta la frazione **f**.

Se queste ipotesi non sono verificate si può ancora applicare il metodo, apportando delle correzioni ai valori della X attraverso la seguente formula

$$X_c = X \cdot \left(\frac{M_{sp}}{75} \right)^{-0,25}$$

A partire dalla frazione mensile coperta dal sistema solare si calcola il grado di copertura annuale col rapporto tra E fornita annualmente dal sistema solare e il fabbisogno annuo dell'edificio.

$$f = \frac{\sum (f_i \cdot E_i)}{\sum E_i}$$



138. Esempio di applicazione di collettori a tubi

13.5 Impianto Fotovoltaico

Utilizzare le risorse del nostro pianeta, a cominciare dalle fonti d'energia, in modo tale da soddisfare le necessità senza "saccheggiare" le risorse a disposizione delle future generazioni è un dovere dei nostri giorni: questo criterio è alla base dello **"sviluppo sostenibile"**.

L'energia a nostra disposizione viene dai combustibili fossili (carbone, petrolio e gas) e dal nucleare; sono fonti esauribili, o concentrate in certe zone della Terra.

L'effetto "serra", che innalza la temperatura del globo, è una conseguenza dell'uso poco controllato di fonti energetiche fossili.

Al problema dell'inquinamento ambientale si aggiungono, inoltre, i costi della dipendenza da Paesi terzi: l'Italia deve importare dall'estero il 78% dell'energia primaria. Questo problema riguarda, più in generale, l'Europa, che oggi importa il 50% dell'energia e che nel 2030 dovrà reperire all'estero il 70% del fabbisogno, salvo correzione della rotta seguita nella direzione di minori consumi.

I due modi possibili per ridurre i consumi d'energia senza tornare a ritroso nello sviluppo sono:

1. individuare e ridurre gli sprechi
2. usare fonti energetiche rinnovabili

Si definiscono rinnovabili le fonti di energia non esauribili, in quanto in grado di rigenerarsi con velocità non inferiore a quella di consumo. La più importante è l'energia solare, che è circa 15.000 volte superiore al consumo energetico annuale di tutto il mondo. In Italia, importanti fonti rinnovabili sono l'idroelettrica (le correnti o la caduta d'acqua) e la geotermica (il riscaldamento vulcanico delle acque sotterranee). È, invece, ancora molto limitata la produzione di energia elettrica da energia solare, dal vento o dalle "biomasse" (sostanze organiche, vegetali o animali).

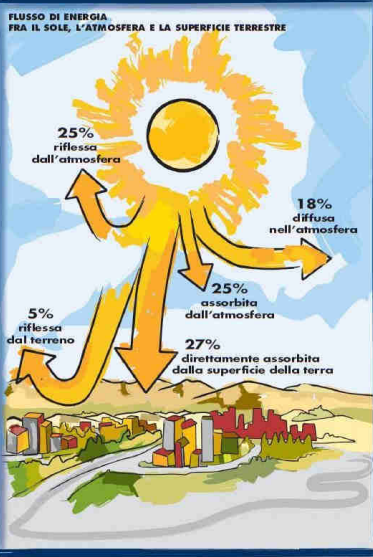
Utilizzare le fonti rinnovabili non è comunque semplice: richiede programmazione e organizzazione, soprattutto per contenere i costi. Per il loro sfruttamento, infatti, sono necessari investimenti economici superiori rispetto a quelli richiesti per altre fonti convenzionali, quali il petrolio o il gas. I maggiori costi hanno però una loro giustificazione nei benefici arrecati alla conservazione dell'ambiente. La barriera più importante all'uso delle fonti rinnovabili è, dunque, di natura economica: è necessario, però, fare un passo ulteriore, considerando come l'inquinamento procuri dei costi "indiretti" dei quali non si può non tenere conto. La salute perduta, gli interventi di disinquinamento e di risanamento comportano, oltre ai danni non riparabili, dei costi dall'entità straordinaria.

Lo sviluppo e la maggiore utilizzazione delle fonti rinnovabili fanno parte degli impegni assunti dalle parti firmatarie del protocollo di Kyoto.

Un impianto da 1,5 Kw risparmierà in 30 anni l'emissione in atmosfera di 40 tonnellate di CO₂ e farà risparmiare 14 tonnellate di combustibili fossili.

Tra le fonti rinnovabili il fotovoltaico è l'unico che consente la produzione di energia elettrica senza parti mobili e, conseguentemente, senza nessun tipo di inquinamento in sito, né acustico, né di altro tipo e con una trascurabile richiesta di manutenzione.

Per ogni kWh prodotto si risparmiano circa 250 grammi di olio combustibile e si evita la produzione di 0,75 kg di anidride carbonica. Inoltre la radiazione solare ha livelli accettabili in quasi tutti i paesi mediterranei. La sua caratteristica di estrema modularità consente di sfruttare l'energia in maniera estremamente diffusa, cioè di produrre in loco l'energia richiesta. Questo permette di evitare non solo il trasporto del combustibile, ma anche dell'energia prodotta. Questi vantaggi, sommati a quelli tipici delle fonti rinnovabili di energia, fanno del solare fotovoltaico la fonte rinnovabile



139. Flusso di energia tra il Sole, l'atmosfera e la superficie terrestre

per eccellenza. Facciate, tetti o altri tipi di coperture fotovoltaiche consentono di disporre di quantità anche ragguardevoli di energia elettrica, con conseguenti risparmi economici e, nello stesso tempo, mostrano la "sensibilità ambientale" di chi li utilizza.

L'integrazione dei sistemi fotovoltaici negli edifici rappresenta un'interessante novità per la pianificazione energetica dell'edificio. Gli elementi più importanti per l'inserimento di questi sistemi nel contesto urbano sono:

- il collegamento elettrico alla rete;
- l'integrazione architettonica dei moduli fotovoltaici nelle strutture esterne degli edifici (terrazze, tetti a falda, facciate, ecc.).

I moduli fotovoltaici sono elementi strutturali che possono essere sostitutivi di altri materiali quali, ad esempio, i pannelli vetrati usati nelle facciate sono in grado anche di rendere l'edificio attivo sul piano energetico.

I sistemi fotovoltaici offrono molteplici vantaggi, i principali sono:

- la semplicità di utilizzo
- le ridotte esigenze di manutenzione
- la modularità del sistema
- un impatto ambientale ridotto
- flessibilità di impiego in tantissime applicazioni, anche molto diverse fra loro.

Tali caratteristiche e la particolare forma dei moduli fotovoltaici rendono questa tecnologia energetica rinnovabile, particolarmente adatta all'integrazione negli edifici.

13.5.1. STORIA DEL SOLARE FOTOVOLTAICO

13.5.1.1. I Pionieri

1839: Edmond Becquerel, a diciannove anni, scopre l'effetto fotovoltaico durante alcuni esperimenti con celle elettrolitiche, osservando il formarsi di una d.d.p. tra due elettrodi identici di platino, uno illuminato e l'altro al buio; la d.d.p. dipendeva dall'intensità e dal colore della luce.

1873: Willoughby Smith scopre la fotoconducibilità del selenio.

1876: Due scienziati britannici, Adams e Day, osservano il selenio convertire la luce del sole direttamente in elettricità, senza riscaldare un fluido e senza utilizzare parti mobili. Giunzioni di selenio e suoi ossidi metallici vengono utilizzate ancor oggi per la produzione di luxmetri.

1883: Fritts descrive il funzionamento di una cella fotovoltaica nel tentativo di simulare l'occhio umano.

1904: Hallwachs scopre l'effetto fotovoltaico in un dispositivo a base di rame.

1914: Il rendimento delle celle al selenio si aggira intorno all'1%. Oggi, in laboratorio, le celle al silicio a altri materiali raggiungono quasi il 40%.

1917: Kennard e Dieterich usano il concetto di barriera di potenziale per spiegare l'effetto fotoelettrico.

13.5.1.2. Lo sviluppo delle tecnologie

I primi dispositivi basati sul silicio si possono osservare già nei primi anni '40.

Ma è nella primavera del 1953 che, studiando il silicio e le sue possibili applicazioni nell'elettronica, Gerald Pearson, fisico presso i laboratori Bell, costruì involontariamente una cella solare a silicio molto più efficiente di quella a selenio. Altri due scienziati della Bell – Darryl Chapin e Calvin Fuller – perfezionarono la scoperta di Pearson e realizzarono la prima cella in grado di convertire in elettricità abbastanza energia solare per alimentare dispositivi elettrici di uso quotidiano: il primo giorno di sole del 1954 la cella al silicio funzionava con un rendimento del 6%. Negli anni '60 si cominciò a pensare di produrre "nastri e fogli" di silicio, per cercare di risolvere il problema degli ingenti sprechi di materiale dovuti al taglio dei lingotti.

Ancora negli anni '60 Shurland propose l'utilizzo del solfuro di Cadmio, e nel '67 era pronta la prima cella a solfuro di cadmio depositato su plastica.

Negli anni '70 cominciarono ad essere sviluppate, nell'ambito delle applicazioni spaziali, celle all'arseniuro di Gallio, le quali presero definitivamente piede nell'ultimo decennio del secolo.

Vennero sviluppati procedimenti per produrre silicio policristallino, meno costosi e meno dispendiosi di quelli per il monocristallino.

Dopo la crisi petrolifera del '73, Carson ottiene per caso una pellicola sottile di silicio amorfo idrogenato, che nel '76 raggiunge il rendimento del 5,5%. In quegli anni il DOE PV Research and Development Programme sperimentava pellicole sottili al silicio cristallino, e tutta una gamma di nuovi materiali: CIS, CdTe, InP, Zn3P2, Cu2Se, WSe2, GaAs, ZnSiAs.

È interessante notare che l'utilizzo di pellicole sottili era già stato proposto dallo stesso Chapin, all'epoca delle sue prime scoperte.

Nei primi anni '80 Barnett, per conto della SERI, si interessò al tellururo di cadmio e alle pellicole di silicio policristallino, fondando la società "AstroPower", oggi ben nota. Sempre nei primi anni '80, Martin Green, lavorando alla tecnologia del silicio, sostituì la serigrafia con solchi in rame realizzati con il laser.

Nel 1988 i fogli di silicio venivano ricavati da poligoni ottagonali, migliorando il rendimento del processo e diminuendo la fragilità.

Nel 1997 veniva "lanciata" la prima cella a giunzione tripla a silicio amorfo. I ricercatori del FV hanno avuto un ruolo chiave nella scoperta di nuovi materiali semiconduttori e strutture ibride, e diedero importanti contributi alle tecniche di crescita epitassiale e di crescita delle pellicole lattice-matched; una delle prime applicazioni delle strutture ibride a semiconduttore sull'GaAs e le giunzioni III-V, sviluppate originariamente per i campi FV a concentrazione.

In 50 anni di ricerche sul fotovoltaico, mentre questo beneficiava dell'esplosione della tecnologia microelettronica del silicio, produceva nel contempo nuove conoscenze a beneficio di quella stessa industria elettronica con cui era intimamente legato.

13.5.1.3. Le applicazioni

L'Aeronautica e l'Esercito statunitensi seguirono molto da vicino lo sviluppo della cella solare a silicio presso i laboratori Bell. Entrambi ritenevano che il fotovoltaico potesse costituire la fonte energetica ideale per un progetto top-secret: i satelliti artificiali orbitanti attorno alla Terra.

Grazie a un'assidua crociata condotta da Hans Ziegler, del corpo del Genio Trasmissioni dell'esercito statunitense, la Marina Militare installò sui satelliti un sistema energetico a due sorgenti – batterie chimiche e celle solari al silicio – sul satellite Vanguard; mentre le batterie si esaurirono dopo una settimana circa, le celle solari funzionarono per anni.

Già dalla fine degli anni '50 il fotovoltaico forniva elettricità ai satelliti americani e sovietici. Gli ingegneri del solare progettarono moduli sempre più potenti, mentre il nucleare non realizzò mai le aspettative per i satelliti spaziali.

Alla fine degli anni '70 le celle solari erano ormai diventate fonte energetica abituale per i satelliti artificiali, e così è ancora oggi. La tecnologia era invece troppo costosa per gli usi terrestri, e lo rimase fino ai primi anni Settanta, quando Elliot Berman, sostenuto finanziariamente dalla Exxon, progettò un modulo solare notevolmente più economico. Il primo acquirente importante di celle solari per uso terrestre fu l'industria petrolifera, che se ne servì in luoghi non serviti dalle linee elettriche: pannelli fotovoltaici vennero usati al posto di batterie tossiche (ingombranti e dalla vita breve) per alimentare le luci di segnalazioni sulle piattaforme petrolifere del Golfo del Messico e nei campi di estrazione del petrolio e del metano, dove servono

piccole quantità di elettricità per combattere la corrosione delle teste dei pozzi e dei condotti.

Nel 1974 John Oades, ingegnere presso una controllata della GTE, progettò un ripetitore a bassissima potenza per il quale era sufficiente l'energia fotovoltaica. Così non ci fu più il problema di trasportare carburante o batterie nelle impervie zone montane dove venivano installati i ripetitori, e nelle piccole comunità del West degli Stati Uniti i residenti smisero di percorrere grandi distanze per poter effettuare una telefonata interurbana.

L'Australia, con una popolazione relativamente piccola distribuita su un territorio molto ampio, cominciò a installare reti di comunicazione a energia fotovoltaica già nel 1978.

Alla metà degli anni '80 le celle solari erano diventate la fonte energetica di elezione per le reti remote di telecomunicazioni in tutto il mondo.

Nel 1977 il Capitano Lloyd Lomer, della Guardia Costiera statunitense, diede il via ad un programma fotovoltaico per alimentare le boe isolate e i fari costieri. Oggi la maggior parte degli ausili per la navigazione in tutto il mondo funziona a celle solari.

Verso la metà degli anni '70 molte compagnie ferroviarie ricorsero al fotovoltaico per alimentare i dispositivi di segnalamento e di smistamento necessari per la sicurezza del traffico ferroviario, funzionanti grazie ai sistemi di comunicazione a microonde.

Le comunicazioni fra le stazioni ferroviarie poterono fare a meno dei pali e dei cavi telefonici lungo i binari.

Quando, sempre negli anni '70, la grande siccità colpì la regione del Sahel in Africa, padre Bernard Verspieren avviò un programma di pompaggio fotovoltaico per attingere acqua dalle falde acquifere che fa ormai da modello per il mondo in via di sviluppo. A quei tempi, in tutto il mondo c'erano meno di dieci pompe fotovoltaiche.

Oggi ce ne sono decine di migliaia.

Negli anni '80 l'ingegnere svizzero Markus Real dimostrò la validità della generazione distribuita installando moduli solari da tre kilowatt su 333 tetti di Zurigo. Da allora, nessuno parla più di centrali elettriche fotovoltaiche, e i vari governi stanno sviluppando piani di incentivazione finanziaria per incoraggiare i cittadini a solarizzare i propri tetti. Poiché il costo dell'installazione delle linee di trasmissione elettrica è estremamente elevato, oltre due miliardi di persone nei paesi in via di sviluppo sono ancora prive di elettricità di rete. Intanto, però, in metà delle famiglie delle isole della Polinesia francese, nelle zone rurali del Kenya, nella Repubblica Dominicana e nel Centroamerica, migliaia di persone alimentano lampadine, televisori e radio con l'elettricità solare.

L'affidabilità e la versatilità del fotovoltaico in ambiente spaziale e terrestre hanno impressionato molti addetti ai lavori nell'industria elettrica e delle telecomunicazioni.

Oggi la Banca Mondiale e molti organismi internazionali ritengono che le celle solari "abbiano un ruolo importante e sempre crescente nella fornitura di servizi elettrici nelle aree rurali dei paesi in via di sviluppo".

13.5.1.4. Il Fotovoltaico in Italia

Nell'agosto del '61, in occasione della prima Conferenza Internazionale delle Nazioni Unite sulle Fonti di Energia Nuove e Rinnovabili, svoltasi a Roma, vennero presentate numerose opere sullo stato dell'arte e sulle prospettive del fotovoltaico. Dopo la crisi petrolifera del 1973 il CNR cominciò a fabbricare celle solari, vennero fondate la Solare S.p.a e la Helios Technology, inizialmente nota come Secies. Nel 1979, al Passo della Mandriola, nella comunità dell'appennino Cesenate, venne installato il primo impianto fotovoltaico italiano da 1 kW, frutto di una collaborazione tra l'Istituto LAMEL del CNR, l'ENEL, la Riva Calzoni e la Helios Technology. Negli anni '90 l'Italia era primo posto in Europa per la potenza installata in impianti

fotovoltaici (circa 25 MW), e nel 1993 nacque il Piano Fotovoltaico Nazionale, al quale parteciparono, tra gli altri, l'ENEA, l'ENI Eurosolare e l'Helios Technology

13.5.2. IL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO: la cella fotovoltaica

Le celle fotovoltaiche consentono di trasformare direttamente la radiazione solare in energia elettrica, sfruttando il cosiddetto "effetto fotovoltaico" che si basa sulla proprietà di alcuni materiali conduttori opportunamente trattati (tra i quali il silicio, elemento molto diffuso in natura), di generare direttamente energia elettrica quando vengono colpiti dalla radiazione solare.

La radiazione solare che raggiunge la superficie terrestre si distingue in diretta e diffusa. Mentre la radiazione diretta colpisce una qualsiasi superficie con un unico e ben preciso angolo di incidenza, quella diffusa incide su tale superficie con vari angoli. Occorre ricordare che quando la radiazione diretta non può colpire una superficie a causa della presenza di un ostacolo, l'area ombreggiata non si trova completamente oscurata grazie al contributo della radiazione diffusa. Questa osservazione ha rilevanza tecnica specie per i dispositivi fotovoltaici che possono operare anche in presenza di sola radiazione diffusa. Una superficie inclinata può ricevere, inoltre, la radiazione riflessa dal terreno o da specchi d'acqua o da altre superfici orizzontali, tale contributo è chiamato albedo.

Le proporzioni di radiazione diretta, diffusa ed albedo ricevuta da una superficie dipendono:

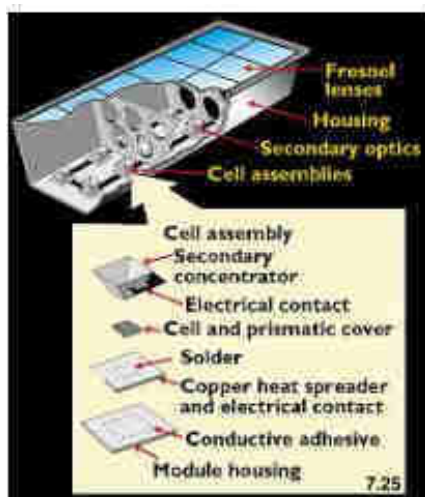
- dalle condizioni meteorologiche (infatti in una giornata nuvolosa la radiazione è pressoché totalmente diffusa; in una giornata serena con clima secco predomina invece la componente diretta, che può arrivare fino al 90% della radiazione totale);
- dall'inclinazione della superficie rispetto al piano orizzontale (una superficie orizzontale riceve la massima radiazione diffusa e la minima riflessa, se non ci sono intorno oggetti a quota superiore a quella della superficie);
- dalla presenza di superfici riflettenti (il contributo maggiore alla riflessione è dato dalle superfici chiare; così la radiazione riflessa aumenta in inverno per effetto della neve e diminuisce in estate per l'effetto di assorbimento dell'erba o del terreno).

Al variare della località, inoltre, varia il rapporto fra la radiazione diffusa e quella totale e poiché all'aumentare dell'inclinazione della superficie di captazione diminuisce la componente diffusa e aumenta la componente riflessa, l'inclinazione che consente di massimizzare l'energia raccolta può essere differente da località a località. La posizione ottimale, in pratica, si ha quando la superficie è orientata a sud con angolo di inclinazione pari alla latitudine del sito: l'orientamento a sud infatti massimizza la radiazione solare captata ricevuta nella giornata e l'inclinazione pari alla latitudine rende minime, durante l'anno, le variazioni di energia solare captate dovute alla oscillazione di $\pm 23.5^\circ$ della direzione dei raggi solari rispetto alla perpendicolare alla superficie di raccolta. Definendo I_d la **radiazione diretta**, I_s la **radiazione diffusa** ed ρ l'**albedo**, allora si ha che la **radiazione solare totale** I_t che incide su una superficie è pari a :

$$I_t = I_d + I_s + \rho$$

Una cella fotovoltaica esposta alla radiazione solare si comporta come un generatore di corrente con una curva caratteristica tensione/corrente che dipende fondamentalmente dalla intensità della radiazione solare, dalla temperatura e dalla superficie.

Generalmente una cella fotovoltaica ha uno spessore che varia fra i 0,25 ai 0,35 mm ed ha una forma generalmente quadrata con una superficie pari a circa 100 cm².



140. Schema di funzionamento di una cella

Per la realizzazione delle celle, il materiale attualmente più utilizzato è lo stesso silicio adoperato dall'industria elettronica, il cui processo di fabbricazione presenta costi molto alti, non giustificati dal grado di purezza richiesti dal fotovoltaico, che sono inferiori a quelli necessari in elettronica.

La cella si comporta come una minuscola batteria, producendo, nelle condizioni di soleggiamento tipiche italiane, una corrente di 3 A (Ampère) con una tensione di 0.5 V (Volt), quindi una potenza di 1.5 W (Watt).

13.5.2.1. Tipologie di celle solari

A seconda dei loro processi di produzione, si distinguono i seguenti tipi di celle fotovoltaiche:

- Celle monocristalline: vengono prodotte tagliando una barra monocristallina. Il vantaggio principale è un alto rendimento (fino al 16%). Questo tipo di celle è però molto costoso a causa del complicato processo di produzione. Le celle di tipo monocristallino sono caratterizzate usualmente da un'omogenea colorazione blu.
- Celle poli(multi)cristalline: vengono colate in blocchi e poi tagliate a dischetti. Il rendimento è minore (10=12%), ma minore è anche il prezzo. Questo tipo di celle è riconoscibile da un disegno ben distinguibile (a causa dei vari cristalli contenuti).
- Celle amorfe: vengono prodotte mediante deposizione catodica di atomi di silicio su una piastra di vetro. Questo tipo di cella ha il rendimento minore (ca. 4=8%), ma si adatta anche al caso di irraggiamento diffuso (cielo coperto, ecc.). Le celle così prodotte sono riconoscibili da un caratteristico colore scuro, inoltre sono realizzabili in qualsiasi forma geometrica (forme circolari, ottagonali, irregolari, e persino convesse). La singola cella solare, di dimensioni pari a 10 x 10 cm, costituisce il dispositivo elementare alla base di ogni sistema fotovoltaico.

Un modulo fotovoltaico è costituito da un insieme di celle solari collegate tra loro in modo da fornire una potenza elettrica (per modulo) mediamente compresa tra i 50 e i 100W.

Le caratteristiche elettriche principali di un modulo fotovoltaico si possono riassumere nelle seguenti:

- Potenza di Picco (Wp): Potenza erogata dal modulo alle condizioni standard (Irraggiamento = 1000 W/m²; Temperatura = 25 ° C)
- Corrente nominale (A): Corrente erogata dal modulo nel punto di lavoro
- Tensione nominale (V): Tensione di lavoro del modulo

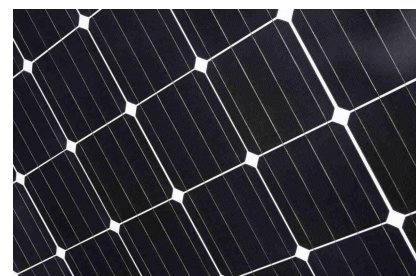
Per aumentare la potenza elettrica è necessario collegare più moduli: più moduli formano un pannello e, analogamente, più pannelli formano una stringa.

I moduli fotovoltaici convertono l'energia luminosa in energia elettrica a corrente continua in "tempo reale", cioè la produzione di energia elettrica è contemporanea alla captazione dell'energia solare. Per questi ed altri motivi, in un impianto fotovoltaico, oltre al generatore fotovoltaico sono necessari anche altri componenti che costituiscono l'impianto fotovoltaico.

13.5.3. Le tipologie impiantistiche

L'impianto fotovoltaico è l'insieme di componenti meccanici, elettrici ed elettronici che captano l'energia solare, la trasformano in energia elettrica, sino a renderla disponibile all'utilizzazione da parte dell'utenza. Le tipologie impiantistiche sono essenzialmente due:

1. impianti isolati (stand alone);
2. impianti connessi ad una rete elettrica di distribuzione (grid -connected)



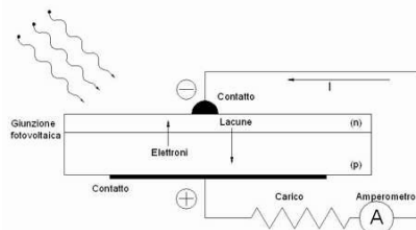
141. Celle monocristalline



142. Celle policristalline



143. Celle amorfe



144. L'effetto fotovoltaico permette di trasformare la radiazione solare in energia elettrica attraverso l'uso di celle fotovoltaiche composte da un semiconduttore

13.5.3.1. Stand-alone

In questi impianti l'energia generata alimenta direttamente il carico elettrico. Quella in eccesso viene accumulata nelle batterie che la rendono disponibile nei periodi in cui il generatore fotovoltaico non è nelle condizioni di fornirla.

Questi impianti rappresentano la soluzione più idonea a soddisfare utenze isolate che possono essere convenientemente equipaggiate con apparecchi utilizzatori che funzionano in corrente continua.

Un semplice impianto fotovoltaico isolato è composto dai seguenti elementi:

1. Cella solare: per la trasformazione di energia solare in energia elettrica. Per ricavare più potenza vengono collegate tra loro diverse celle.
2. Regolatore di carica: è un apparecchio elettronico che regola la ricarica e la scarica degli accumulatori. Uno dei suoi compiti è di interrompere la ricarica ad accumulatore pieno.
3. Accumulatori: sono i magazzini di energia di un impianto fotovoltaico. Essi forniscono l'energia elettrica quando i moduli non sono in grado di produrne, per mancanza di irradiazione solare.
4. Inverter (o convertitore): trasforma la corrente continua proveniente dai moduli e/o dagli accumulatori in corrente alternata convenzionale a 220V. Se l'apparecchio da alimentare necessita di corrente continua si può fare a meno di questo componente.
5. Utenze: apparecchi alimentati dall'impianto fotovoltaico.

Spesso vengono impiegati anche degli impianti composti. Per esempio impianti fotovoltaici in combinazione con gruppi elettrogeni a motore Diesel.

In questo caso l'impianto fotovoltaico fornisce la potenza base utilizzata di solito. Per consumi elevati di breve durata (o in caso di emergenza) viene inserito il gruppo elettrogeno.

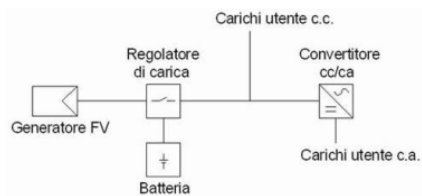
13.5.3.2. Grid - connected

In questi impianti l'energia viene convertita direttamente in corrente elettrica alternata che può alimentare le normali utenze oppure essere immessa nella rete, con la quale lavora in regime di interscambio. In quest'ultimo caso, presso l'utente sono installati due contatori: uno che contabilizza l'energia elettrica fornita dall'impianto fotovoltaico alla rete ed uno che contabilizza l'energia elettrica che l'utente preleva dalla rete.

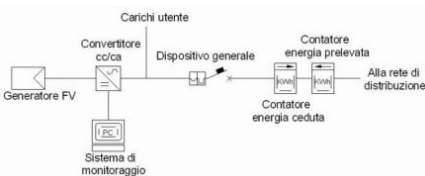
Nell'ipotesi in cui le due tariffe coincidano, l'utente paga all'ente erogatore dell'energia elettrica solo la differenza tra l'energia consumata, prelevata dalla rete, e quella fornita alla rete.

Un impianto fotovoltaico a immissione in rete è principalmente composto dai seguenti componenti:

1. Cella solare: per la trasformazione di energia solare in energia elettrica. Per ricavare più potenza vengono collegate tra loro diverse celle.
2. Inverter: trasforma la corrente continua proveniente dai moduli in corrente alternata convenzionale a 220V di tensione. Questo adattatore è assolutamente necessario per il corretto funzionamento delle utenze collegate e per l'alimentazione della rete.
3. Quadro elettrico: in esso avviene la distribuzione dell'energia. In caso di consumi elevati o in assenza di alimentazione da parte dei moduli fotovoltaici la corrente viene prelevata dalla rete pubblica. In caso contrario l'energia fotovoltaica eccedente viene di nuovo immessa in rete. Inoltre esso misura la quantità di energia fornita dall'impianto fotovoltaico alla rete.
4. Rete: allacciamento alla rete pubblica dell'azienda elettrica.
5. Utenze: apparecchi alimentati dall'impianto fotovoltaico.



145. Schema di funzionamento di un impianto isolato



146. Schema di funzionamento di un impianto connesso alla rete

Gli impianti fotovoltaici connessi alla rete rappresentano, dal punto di vista applicativo, la soluzione ideale in quanto tutta l'energia generata dall'impianto viene comunque utilizzata o direttamente dall'utente o immessa nella rete elettrica che costituisce quindi un sistema di accumulo infinito.

La mancanza di un sistema di accumulo locale consente inoltre di ridurre sia i costi iniziali sia quelli di esercizio (le batterie di accumulo dopo un certo numero di anni devono infatti essere sostituite).

Per comprendere meglio la logica con la quale funzionano gli impianti fotovoltaici connessi alla rete si fa riferimento al bilancio energetico di un impianto fotovoltaico per una tipica utenza residenziale. Considerando le quote di energia elettrica fornita dall'impianto fotovoltaico, queste sono proporzionali alla radiazione solare incidente e quindi seguono un andamento con valori massimi nelle ore centrali della giornata. Per le quote di energia elettrica richiesta dall'utenza, presa come esempio, l'andamento dei consumi elettrici, pur essendo indicativo, evidenzia comunque una richiesta di energia elettrica concentrata nelle ore serali in cui l'impianto fotovoltaico non è in grado di erogare energia. Quando l'energia elettrica richiesta è superiore a quella che l'impianto fotovoltaico è in grado di fornire, l'utenza preleva energia dalla rete. D'altra parte quando l'energia elettrica richiesta è inferiore a quella disponibile, e quindi si verificano degli esuberi, l'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico viene immessa in rete.

13.5.4. Calcolo del fabbisogno di energia elettrica

La dimensione dell'impianto fotovoltaico è calcolata sulla base dell'energia consumata dall'utenza. Tale valore può essere ricavato dalla lettura dell'ultima bolletta elettrica o, meglio ancora, dalla media dei valori annui di consumo degli ultimi tre o quattro anni.

Il consumo di energia dipende da tanti fattori, tra i quali il comportamento dell'utenza e il numero e l'efficienza delle apparecchiature elettriche installate. Dai dati statistici rilevati risulta che il consumo medio di una famiglia italiana è compreso tra i 3.000 e i 4.000 kWh/anno.

L'impiego di fonti energetiche rinnovabili rappresenta un'azione efficace se si adottano tutte le strategie per ridurre i consumi in quanto l'energia meno cara è proprio quella che non consumiamo. Il risparmio energetico, quindi, rappresenta un'azione prioritaria rispetto all'impiego di fonti energetiche rinnovabili come quella solare e le utenze elettriche presentano notevoli potenziali di risparmio che possono essere ottenuti in due modi: sia modificando il comportamento dell'utenza (evitare gli sprechi); sia sostituendo apparecchiature poco efficienti con apparecchiature ad elevata efficienza che, a parità di servizio erogato, richiedono un consumo inferiore di energia.

13.5.4.1. Risparmi ottenibili attraverso la modifica del comportamento

Risparmi di energia considerevoli possono essere ottenuti attraverso un comportamento più consapevole da parte degli utenti e attraverso l'adozione delle cosiddette "buone pratiche".

Consigli generali:

- evitare di lasciare l'illuminazione accesa nelle stanze non occupate;
- scegliere lampadari con minor numero di lampade (a parità di illuminazione prodotta i lampadari con più lampade consumano più energia rispetto a quelli con una lampada sola);
- posizionare il frigorifero o il congelatore in luoghi aerati lontani da fonti di calore;

- regolare il termostato dei frigoriferi o dei congelatori su un livello intermedio (posizioni più fredde comportano un aumento inutile dei consumi del 10=15%)

- per le lavatrici utilizzare ove possibile cicli di lavaggio a bassa temperatura

L'adozione di queste semplici regole, che non comportano investimenti economici, consente di ottenere risparmi nella gestione apprezzabili, nell'ordine del 10 ÷ 20%.

13.5.4.2. Risparmi ottenibili con l'uso di apparecchiature a alta efficienza

Notevoli risparmi di energia si possono ottenere sostituendo le apparecchiature comuni con apparecchiature ad elevata efficienza. Gli interventi possono riguardare sia i sistemi di illuminazione, sia gli elettrodomestici.

13.5.4.2.1. Sistemi di illuminazione

La sostituzione delle lampadine ad incandescenza con lampadine a basso consumo energetico comporta una riduzione media dei consumi per l'illuminazione dell'80%. Le attuali lampadine ad alta efficienza sono prodotte in forme che ben si adattano alle lampade o ai corpi illuminanti esistenti. Il loro maggior costo, che negli ultimi anni, grazie ad un aumento della produzione si è notevolmente ridotto, è compensato da una durata superiore, mediamente di 10 volte, rispetto a quella delle lampadine ad incandescenza.

13.5.4.2.2. Elettrodomestici ad alta efficienza

Sono da tempo disponibili sul mercato elettrodomestici ad alta efficienza. Frigoriferi, congelatori, lavatrici e lavastoviglie in commercio sono dotati di una etichetta energetica, ossia una certificazione che riporta il consumo convenzionale dell'apparecchio e quindi la sua qualità energetica. Le etichette energetiche degli elettrodomestici, rese obbligatorie da una direttiva comunitaria, definiscono sette classi di efficienza energetica che vanno dalla A (basso consumo) alla G (alto consumo). Gli elettrodomestici ad alta efficienza possono consumare fino ad un terzo dell'energia elettrica consumata dagli elettrodomestici di fascia più bassa. La scelta degli elettrodomestici più efficienti, quindi, comporta un risparmio energetico considerevole.

13.5.5. Calcolo dell'impianto fotovoltaico

I dati di progetto necessari sono i seguenti:

- la località nella quale è installato l'impianto;
- il consumo annuo di energia elettrica (kWh);
- l'inclinazione della superficie captante (gradi);
- l'orientamento della superficie captante.

Come irradiazione solare incidente sulla superficie orizzontale si è ottenuto il valore di kWh/m². Se la superficie di captazione non è orizzontale è necessario moltiplicare questo valore di radiazione per un coefficiente correttivo che tenga conto dell'inclinazione e dell'orientamento della superficie.

Orientamento (gradi)	Inclinazione (gradi)				
	20	30	45	60	90
0 (Sud)	1,11	1,13	1,11	1,03	0,75
±15	1,10	1,12	1,11	1,03	0,76
±30	1,09	1,11	1,10	1,03	0,78
±45	1,07	1,09	1,08	1,02	0,79
±60	1,05	1,06	1,04	0,99	0,78
±90 (est-ovest)	0,99	0,97	0,94	0,88	0,70

TAV. 13.05-275

Calcolo consumo annuo Complesso Edificio F

Tabella 45.

Coefficienti correttivi per superfici non orizzontali

I coefficienti correttivi da applicare sono riportati nella tabella precedente e tengono conto di inclinazioni comprese tra 20° e 90° (superfici verticali) e di orientamenti che vanno da 0° (corrispondente a SUD) a $\pm 90^\circ$ (orientamento a EST o a OVEST).

Il valore positivo dell'orientamento corrisponde ad una esposizione verso OVEST mentre quello negativo corrisponde ad una esposizione verso EST.

L'energia solare incidente utile, calcolata moltiplicando la radiazione solare sul piano orizzontale per il coefficiente correttivo, non viene trasformata integralmente in energia elettrica utile.

Bisogna considerare i fattori che ne riducono la potenzialità:

- k_{pv} rappresenta un fattore di riduzione che tiene in considerazione fenomeni come il surriscaldamento dei pannelli, depositi di polvere sui vetri di protezione, perdite nei circuiti (si considera convenzionalmente pari a 0,9)
- η_{bos} dipendente dalle perdite dovute ai cablaggi e all'inverter (il suo valore si aggira mediamente intorno a 0,8-0,9)
- η_{mod} efficienza nominale del singolo modulo (in genere gli si assegna un valore pari a 0,12)

Questi tre fattori possono essere raggruppati in un unico coefficiente che rappresenta l'efficienza complessiva di conversione dell'impianto fotovoltaico : $\eta_v=0,1$.

L'energia elettrica fornita per unità di superficie, espressa in kWh/m²/anno, è data dal prodotto dell'energia solare incidente utile per il rendimento.

Per migliorare l'efficienza del sistema, i pannelli sono stati dotati di inseguitori solari che ruotando, permettono alle celle fotovoltaiche, durante l'arco della giornata, di ricevere i raggi solari secondo una direzione ottimale. Questo vantaggio viene tradotto con il coefficiente $c_r=1,43$.

Il dimensionamento dell'impianto fotovoltaico, ossia la determinazione della superficie complessiva dei moduli, può essere a questo punto effettuato dal rapporto tra il valore dell'energia elettrica annua richiesta dall'utenza e l'energia elettrica annua fornita per unità di superficie.

Spesso non è conveniente dimensionare gli impianti solari fotovoltaici per coprire l'intero carico. Si introduce quindi un ulteriore parametro: la percentuale di integrazione che si intende raggiungere con l'impianto solare.

Un impianto fotovoltaico è costituito da un certo numero di moduli fotovoltaici che hanno una superficie unitaria compresa tra 0,5 e 1,0 m². La superficie di un modulo è rilevabile direttamente dal catalogo del produttore che fornisce tutte le specifiche tecniche.

Nel caso specifico sono scelti i dati relativi al modulo solare "SF 115" prodotto dalla SOLAR-FABRIK. Il numero dei moduli necessari per realizzare l'area di captazione calcolata si può ricavare semplicemente dal rapporto tra la superficie complessiva richiesta e la superficie unitaria di ciascun modulo.

Un dato caratteristico di un impianto fotovoltaico è la potenza nominale o potenza di picco, definita come la potenza che il sistema fotovoltaico è in grado di erogare quando opera in condizioni fissate da norme internazionali (condizioni standard):

- flusso solare: 1.000 W/m²;
- temperatura delle celle: 25 °C.

Il suo calcolo può essere eseguito moltiplicando il valore della potenza di picco di ciascun modulo (valore fornito dai produttori) per il numero dei moduli installati.

13.5.6. Valutazioni economiche

Il periodo di ritorno dell'investimento può essere determinato con il calcolo del payback semplice, facendo il rapporto tra il costo dell'impianto a carico dell'utente e l'equivalente economico dell'energia elettrica prodotta dall'impianto stesso.

13.5.7. Dove installare i pannelli fotovoltaici

I pannelli fotovoltaici devono essere installati in una posizione bene esposta alla radiazione solare e, possibilmente, sfruttando una integrazione con gli elementi architettonici dell'edificio.

13.5.7.1. Installazione su tetto inclinato

E' l'installazione più classica, i moduli vengono montati sulla falda più soleggiata dell'edificio, la loro inclinazione ed il loro orientamento quindi sono vincolati e la resa energetica può non essere ottimale.

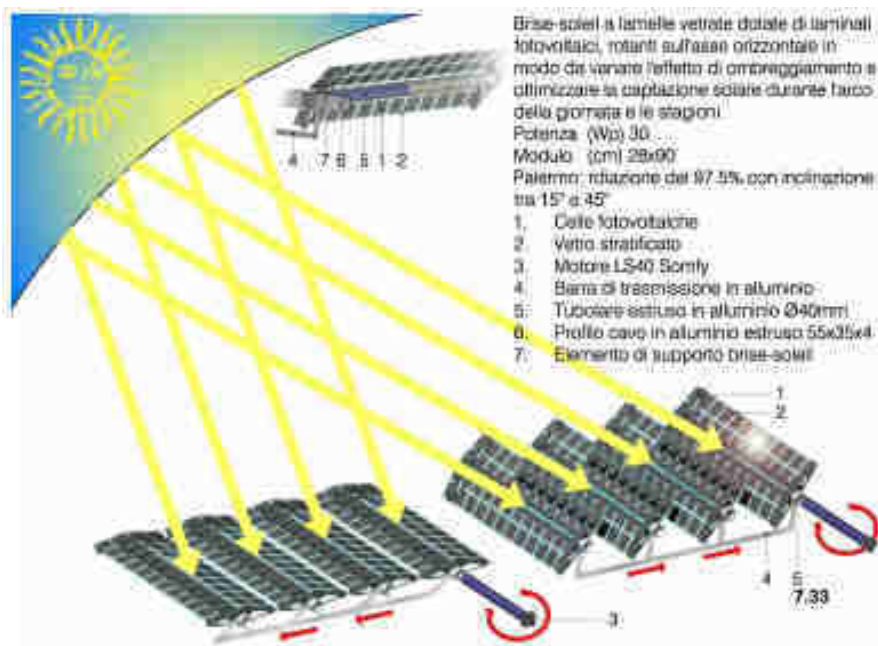
13.5.7.2 Installazione su tetto piano (terrazzo)

In questo caso i moduli devono essere montati su strutture portanti che garantiscono la più corretta inclinazione ed il più corretto orientamento. I moduli vengono montati in file che devono essere distanziate tra loro per evitare effetti di ombreggiamento. La distanza tra una fila e l'altra può essere notevolmente ridotta se l'inclinazione dei moduli non è eccessiva.

13.5.7.3. Installazione in facciata

Le facciate dell'edificio offrono in genere ampie superfici che non vengono sfruttate. Costituiscono quindi elementi dell'edificio sui quali è possibile installare i moduli fotovoltaici. Questa soluzione, rispetto alle altre, presenta comunque degli inconvenienti tra i quali: effetto estetico non sempre accettabile, maggiore possibilità di ombreggiamenti da parte di altri edifici, penalizzazione a volte eccessiva nel caso di orientamenti non ottimali.

Nel caso particolare i moduli solari sono stati integrati nei brise soleil posti sulla copertura dell'Edificio F3 per favorire l'ombreggiamento e su alcune falde degli altri edifici che compongono il complesso. L'inclinazione ottimale dei moduli nel brise soleil rispetto ai raggi incidenti, è garantita per tutta la durata del giorno dai dispositivi ad inseguimento solare che gli permettono di ruotare liberamente a seconda dell'inclinazione solare.



147. Funzionamento Lamelle solari installate sull'Edificio F3

13.6 Illuminazione Artificiale

Il progetto dell'impianto di illuminazione ha lo scopo di determinare il numero, i tipi e le posizioni degli apparecchi da installare in un ambiente, tenendo conto delle caratteristiche del locale, di ogni specifica esigenza dell'utenza e degli aspetti di economicità, igiene, funzionalità ed eleganza.

I requisiti fondamentali che vengono analizzati per realizzare il progetto dell'impianto di illuminazione sono i seguenti:

1. Valore di illuminamento

Una buona progettazione deve prima di tutto prefiggersi lo scopo di garantire in ogni ambiente il giusto livello di illuminamento. I valori di illuminamento da adottare sono in relazione al tipo di attività prevista nell'ambiente e sono influenzati dal potere di assorbimento e di riflessione del flusso luminoso da parte dei materiali presenti nell'ambiente e dal loro colore. L'illuminamento è inversamente proporzionale alla distanza della superficie illuminata: in altre parole l'illuminamento della superficie da parte della sorgente luminosa è tanto minore quanto più è grande la distanza della sorgente dalla superficie. Il progetto dell'impianto di illuminazione viene dunque condotto tenendo conto del massimo livello di illuminamento previsto, affidando poi ai sistemi di controllo la funzione di modulare il flusso emesso. Per regolare il flusso luminoso si impiegano potenziometri elettronici azionati da pulsanti oppure da variatori di intensità luminosa (dimmer) eventualmente collegati a cellule fotoelettriche che modulano l'intensità luminosa in funzione della quantità di luce proveniente dall'esterno.

2. Tonalità della luce

Determinato il valore di illuminamento in funzione del locale da illuminare occorre determinare la tonalità più adatta per le specifiche caratteristiche dell'ambiente. Le fonti luminose, sia naturali che artificiali, emettono luce di diversa tonalità a seconda della distribuzione spettrale della radiazione emessa dalla fonte. Nella luce diurna sono presenti in misura pressoché uniforme tutti i colori dello spettro luminoso, dal blu al rosso, dalla cui miscela deriva un colore bianco neutro. Le lampade a incandescenza sono invece caratterizzate da una emissione molto bassa verso il blu e progressivamente crescente verso il rosso, da cui deriva un colore giallastro, che viene percepito come caldo. Ogni altro tipo di lampada offre un particolare spettro, la cui conoscenza è importante per la progettazione dell'illuminazione artificiale di un ambiente: negli ambienti particolarmente accoglienti si preferisce ricorrere a sorgenti di luce con prevalente emissione verso il rosso mentre negli ambienti dove occorre luce brillante e impersonale si utilizzano lampade con spettro luminoso simile a quello della luce diurna. La tonalità della luce viene valutata attraverso la temperatura di colore. Le tonalità calde sono preferibili per bassi valori di illuminamento, mentre per quelli più elevati sono preferibili le tonalità fredde.

3. Indice del locale k

L'indice del locale è un coefficiente, solitamente indicato con k , che tiene conto delle dimensioni del locale da illuminare e dell'altezza della sorgente luminosa rispetto al piano da illuminare (piano di lavoro).

4. Fattori di riflessione

Il fattore di riflessione è dato dal rapporto tra flusso luminoso riflesso e flusso luminoso incidente su una superficie (soffitto, pareti e piano di lavoro).

Il fattore di utilizzazione di un apparecchio per illuminazione è un coefficiente che viene fornito dalle case costruttrici mediante apposite tabelle. Esso viene ricavato per via sperimentale e indica il rapporto tra il flusso luminoso che giunge sulla superficie da illuminare (flusso luminoso utile) ed il flusso emesso dall'apparecchio.

Il fattore di manutenzione è il rapporto tra l'illuminamento prodotto da un apparecchio dopo un certo periodo e quello dello stesso apparecchio nuovo. Esso tiene conto della perdita di flusso luminoso che si verifica a causa dell'invecchiamento delle lampade e dell'insudiciamento dell'apparecchio e viene di norma fornito dalle ditte costruttrici. Anche la riduzione della capacità di riflessione delle pareti influisce sul fattore di manutenzione.

13.6.1. Gli apparecchi di illuminazione

Gli apparecchi illuminanti svolgono tre funzioni principali:

- controllano il flusso luminoso della lampada e lo dirigono nelle direzioni desiderate;
- evitano l'abbagliamento, schermato completamente la lampada nella direzione di osservazione e riducendo la sua luminanza ad un valore tollerabile;
- proteggono le lampade da danneggiamenti di carattere meccanico o chimico, garantiscono la sicurezza elettrica funzionale e quella contro i contatti accidentali (scosse elettriche).

A seconda della distribuzione del flusso luminoso, gli apparecchi illuminanti vengono suddivisi in cinque gruppi, che realizzano i seguenti tipi di illuminazione: diretta, semi-diretta, mista, semiindiretta, indiretta.

Il rendimento ottico di un apparecchio d'illuminazione è determinato dal rapporto tra il flusso luminoso che esce dall'apparecchio illuminante e il flusso emesso dalla o dalle lampade funzionanti senza apparecchio.

Gli elementi di controllo impiegati per convogliare e schermare la luce costituiscono le parti attive degli apparecchi d'illuminazione e sono: i riflettori, i rifrattori, i diffusori, gli schermi, i filtri e le lenti.

13.6.2. Sorgenti luminose artificiali: tecnologia e funzionamento

Le lampade attualmente esistenti si dividono in quattro gruppi principali, a seconda del principio utilizzato per produrre la luce:

1. incandescenza;
2. scarica in gas;
3. induzione;
4. led;

La corrente elettrica nel primo caso rende incandescente un filamento metallico; nel secondo eccita una miscela gassosa, nel terzo genera un campo elettrico e nel quarto produce emissioni di fotoni.

In tutti i casi viene provocata l'emissione di radiazioni, di cui solamente una parte visibile.

La luce è composta da radiazioni con diversa lunghezza d'onda, ciascuna corrispondente ad un determinato stimolo visivo la cui somma dà luce bianca. Le lampade emettono radiazioni in modo differente, secondo il tipo di tecnologia utilizzata. Una sorgente ad incandescenza emette radiazioni luminose secondo uno spettro continuo, una sorgente a scarica secondo uno spettro discontinuo o a righe. Questo significa che, nel primo caso, nello spettro sono presenti tutti i colori, nel secondo alcune bande sono completamente assenti. La conoscenza del flusso

luminoso emesso da una lampada è un dato importante ma non sufficiente per conoscere le sue caratteristiche energetiche.

Un'informazione più efficace si ottiene con l'efficienza luminosa che si esprime in lumen/watt (lm/W) e che indica il rendimento di una sorgente luminosa, ossia la quantità di luce prodotta da una lampada per un watt di potenza elettrica assorbita dalla lampada stessa o, con maggior esattezza, dal sistema lampada-alimentatore. L'alimentatore, può essere il trasformatore di una lampada a bassissima tensione, oppure il reattore di una lampada a scarica; è un dispositivo elettromagnetico o elettronico che assorbe una certa quantità di potenza elettrica.

Per verificare l'economicità di un impianto è necessario tener conto di questo autoconsumo che può variare anche sensibilmente, in funzione delle caratteristiche qualitative dei componenti utilizzati. La tecnologia sviluppata in questi ultimi dieci anni ha consentito l'ottenimento di miglioramenti significativi: l'efficienza luminosa delle moderne lampade a scarica è aumentata di circa trenta volte rispetto alla vecchia lampada ad incandescenza con filamento di carbone realizzata da Edison. Ritornando alle tipologie delle sorgenti luminose è possibile affermare che sono importanti per l'illuminazione le lampade a led che garantiscono lunga durata, un grande illuminamento a fronte di un più basso consumo.

13.6.3. Il progetto dell'impianto di illuminazione

La progettazione qualitativa dell'illuminazione di un locale può essere condotta attraverso vari metodi, comunque validi e più o meno complessi.

Per il calcolo dell'illuminamento, dovuto ad una fonte luminosa agente su di una superficie piana, si può partire da una semplice applicazione della legge "dell'inverso del quadrato" corretta per l'angolo di incidenza dalla "legge del coseno":

$$E = \cos \left(INC \cdot \frac{I}{d^2} \right) \quad \text{in [lx]}$$

Se due o più fonti luminose colpiscono un punto, il loro contributo deve essere calcolato separatamente e poi si sommano i valori di illuminamento.

Nel caso di grandi ambienti come la hall di ingresso e la grande galleria, con svariate sorgenti luminose, questi calcoli diventano molto lunghi e poco pratici.

Un metodo generale che fornisce una stima approssimativa è il "metodo della potenza dotale": partendo da un requisito di potenza per unità di area per ogni lux di illuminamento richiesto [W/m²lx] si determina la potenza totale da suddividere per i diversi apparati illuminanti.

Il metodo più consono ad un ambiente rettangolare molto ampio come la hall o la grande galleria, dove i corpi illuminanti possono seguire una griglia uniforme è "il metodo del lumen". Con questo metodo si garantisce un illuminamento uniforme, mai sotto il 70% dell'illuminamento massimo.

In pratica si limita la distanza tra i corpi illuminanti a 1,5 volte l'altezza del corpo stesso da terra, cioè l'altezza di montaggio.

Si avrà quindi un **flusso installato** $[\Phi_i]$ e un **flusso ricevuto** sul piano di lavoro $[\Phi_r]$:

$$\Phi_r = \Phi_i \cdot UF \cdot MF$$

e l'illuminamento è

$$E = \frac{\Phi_r}{A}$$

dove

MF è il fattore di manutenzione che compensa il progressivo degrado della lampada, della luminaria e delle superfici dell'ambiente. In assenza di dati accurati si utilizza MF = 0,8.

Il fattore di utilizzo **UF** (tabulato) varia con la proprietà del corpo illuminante, la direzione di emissione della luce, la riflettanza dell'ambiente, la geometria

dell'ambiente e il rapporto diretto. Conoscendo l'illuminamento **E** necessario, questo viene moltiplicato per l'area **A** del piano di lavoro, e si ottiene il flusso ricevuto da esso Φ_r .

Utilizzando la formula inversa

$$\Phi_i = \frac{\Phi_r}{UF \cdot MF}$$

si ottiene il flusso luminoso da installare.

Dividendo il flusso Φ_i per il flusso Φ_j di una singola lampada si ottiene il numero di lampade da installare.

Per verificare l'effettivo rendimento e la giusta disposizione dei corpi illuminanti è stata compiuta una verifica con il software LITE-STAR 6.22 in grado di restituire grafici isolux e trim dei lux relativi all'illuminamento della superficie di lavoro.

Flessibilità

14

14.1.	FLESSIBILITA' IN ARCHITETTURA	383
14.1.1.	Architettura Flessibile, un nuovo modo di concepire l'architettura	383
14.1.2.	L'Architettura Flessibile contro l'Obsolescenza	384
14.2.	ANALISI DELLA FLESSIBILITA'	386
14.2.1.	La Flessibilità Spaziale	386
14.2.1.1.	Edificio F2 – I Laboratori Artigianali	386
14.2.1.2.	Edificio F2 – Gli Spazi Commerciali di testa	387
14.2.1.3.	Edificio F2 – Il Foyer e la Conference Hall	387
14.2.1.4.	Edificio F2 – Gli Spazi Commerciali Interni	387
14.2.1.5.	Edificio F3 – Gli Spazi Commerciali Esterni	387
14.2.1.6.	Edificio F4 – La Grande Galleria	387
14.2.1.7.	Edificio F5 – Gli Spazi Commerciali Fuori Asse	387
14.2.2.	La Flessibilità Funzionale	388

14.1 Flessibilità in Architettura

La progettazione dello spazio, si confronta oggi, con un contesto estremamente incerto, dominato da rapidi processi di obsolescenza funzionale e tecnologica dei modelli ereditati.

Il progetto dello spazio dovrebbe in primis occuparsi dell'ottimizzazione del progetto rispetto alla durata dei sub-sistemi e alla capacità di contrastare i processi di obsolescenza, relativi sia all'uso di materiali e componenti pensati per fallire dopo il breve periodo, sia di modelli spaziali rigidi incapaci di adattarsi alla variabilità nel tempo delle esigenze degli utenti.

La ricerca indaga la flessibilità come un requisito fondamentale da incorporare nel "ciclo di vita" dell'organismo edilizio, attraverso strategie che incidono sia sulla forma che sull'apparato tecnologico che governa la sua struttura.

14.1.1 Architettura Flessibile, un nuovo modo di concepire l'architettura

Si immagini un edificio che non invecchi, che non diventi obsoleto, che non si degradi; si immagini anche che lo stesso edificio si adegui con il passare del tempo, alle diverse necessità abitative delle persone che vi alloggiano (o lavorano) o a quelle di nuovi fruitori che vi si installeranno; si immagini altresì che lo stesso edificio si aggiorni con le nuove tecnologie utili per vivere o lavorare. Si immagini infine che tutti gli adeguamenti avvengano con estrema facilità senza lavori invasivi e con costi bassi.

Ecco ora si può sostituire l'immaginazione con l'**architettura flessibile**.

Detto in parole più concrete l'architettura flessibile è quell'architettura che ha in se stessa (nella sua struttura, nella sua realizzazione, nei materiali, nelle scelte progettuali, etc.) la capacità di gestire il cambiamento e di permettere il proprio modificarsi, realizzando soluzioni (compositive, tecnologiche, spaziali, etc) diverse senza ledere il normale e quotidiano utilizzo dell'edificio stesso, il tutto con costi molto contenuti ed in tempi brevissimi.

L'architettura flessibile è un diverso modo di concepire ed intendere l'edificio. Normalmente quando si progetta un edificio lo si pensa nel "hic et nunc" (qui ed ora) ovvero lo si progetta in un momento temporale preciso e per un committente preciso (il primo proprietario o fruitore), ma non si considera assolutamente il fattore "poi" (ovvero il futuro).

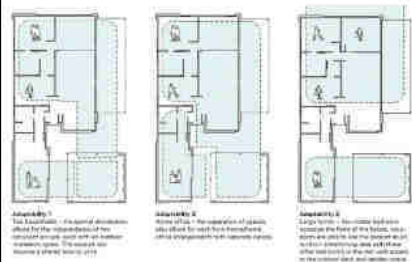
Poi cosa succederà tra 10 anni? gli abitanti avranno le stesse necessità di oggi? La tecnologia avrà inventato e realizzato impianti più performanti e più pratici? L'edificio sarà ancora a destinazione terziaria (uffici o commercio) o invece sarà residenziale (appartamenti)?

L'edificio, nell'architettura flessibile, non viene più (pensato e) progettato come un prodotto statico realizzato per un momento preciso e con uno scopo limitato. L'edificio viene progettato e realizzato in modo tale che continui a vivere nel tempo senza perdere le sue performances perché ha nel suo DNA (muri, impianti, struttura, etc.) la capacità di soddisfare le nuove ed ulteriori esigenze (formali, funzionali, spaziali e tecnologiche) dei suoi fruitori-abitanti.

Fin dai suoi inizi l'architettura flessibile, dagli anni 20 (quando per la prima volta si è incominciato insinuare nel mondo architettonico l'idea che gli edifici dovessero adeguarsi non solo alle necessità presenti, ma soprattutto a quelle future) si è occupata proprio dell'idea di modifica, di adattamento, di cambiamento intrinsecamente costituenti (fisicamente e concettualmente) l'edificio e le sue parti.



148. Foto Habitat 21



149. Schemi aggregativi Habitat 21

L'edificio "flessibile" è costituito con sistemi di elementi e di impianti tali da poter essere "spostati", cambiati, sostituiti singolarmente o in gruppo; il rapporto tra i vari sistemi garantisce, anche nel futuro, l'aggiunta di nuovi sistemi senza intervenire o alterare quelli già esistenti.

Queste modifiche potranno essere sia su singole parti, sia su aree comuni, sia sull'intero edificio e possono essere realizzate (in base al livello di modifica) dagli abitanti stessi o da personale più o meno specializzato.

Questo approccio flessibile è applicabile ugualmente sia ai nuovi edifici e sia, soprattutto, per la riqualificazione e la ristrutturazione di edifici vecchi e/o obsoleti. Similmente si può intervenire non solo sull'intero edificio (condominio, grattacielo uffici, museo, etc.) ma anche nel singolo appartamento: il ristrutturare "flessibile" permette di realizzare una unità abitativa tale che risponda, seguendo i desideri, alle necessità fruibili dei suoi abitanti nel corso degli anni e che le stesse modifiche possano essere fatte direttamente dagli utenti.

14.1.2. L'Architettura Flessibile contro l'Obsolescenza

L'architettura attuale, che sia fatta da grandi archi star (Ghery, Hadid, Piano, Chipperfield, etc) o sia fatta dal geometra della porta accanto, ha in comune la stessa idea di "resistenza", ovvero è intesa come un prodotto rigido (con caratteristiche formali definite e univoche), immutabile e teso all'eternità senza subire alcuna modifica col susseguirsi del tempo (e dei tempi). Gli architetti nella pratica abituale della professione si abituano a percepire l'architettura come un prodotto, soprattutto funzionale, rigido, forte e duraturo; come un solido che rimane uguale a se stesso, che resta immutabile e si contrappone alle mutazioni della realtà e della società.

Si impara a progettare un edificio che risponda ottimamente soltanto, a necessità particolari e limitate che corrispondono a quelle richieste funzionali d'uso corrispondenti ad un tempo storico anche esso limitato e successivo alla sua inaugurazione. Ma le persone che vivono l'edificio, la società in cui l'edificio è usato e con cui interagisce cambiano e con loro anche le loro modalità espressive, funzionali, fruibili, come le necessità emotive, lavorative, sentimentali, abitative... Cambiano i modi di vivere, cambiano i modi di lavorare, cambiano i modi di usare gli edifici e cambiano anche le tecnologie. Per questo motivo l'edificio progettato può essere ottimamente funzionale oggi, ma tra 5...10... anni non sappiamo se sarà né ottimo né funzionale. Quando un edificio non risponde appieno alle necessità ed alle esigenze di chi lo vive (o usa) allora questo è un edificio obsoleto, indipendentemente dalla sua età.

E allora che si fa di un edificio obsoleto specie se giovane (10 anni di vita)? Lo si riqualifica da zero (con costi enormi)? Lo si abbandona (degrado e costi sociali)? Lo si distrugge (ma per poi costruire cosa? un altro edificio che diventa non funzionale dopo pochi anni)? O peggio ancora si continua ad usarlo (e male) con discomfort e malessere fruibile.

Qualsiasi possa essere la risposta corretta a queste domande, e non vi è una unica risposta, essa lo è oggi, ma siamo sicuri che tra qualche anno risponderemo ugualmente? L'unica risposta che possa essere uguale a tutte le domande e in qualsiasi tempo è una affermazione: **costruiamo senza obsolescenza.**

L'architettura flessibile inizia incominciando a pensare e ragionare con il "se" mentre si progetta; si deve applicare un'architettura "del congiuntivo": un'architettura della possibilità.

Un'architettura che preveda la possibilità del cambiamento, un'architettura che sia fatta veramente per l'uomo e che sull'uomo si conformi e confronti continuamente.

Come l'uomo ha nel suo DNA la variazione, l'adeguarsi, il cambiare così anche l'architettura dovrà essere variabile, adeguabile, modificabile, cambiabile, adattiva... in una parola unica: **flessibile**.

L'architettura flessibile non è formalmente diversa da qualsiasi altra architettura, ciò che la diversifica non è né il suo look, né tantomeno il suo stile, ma la sua stessa essenza. Quando un architetto progetta un'architettura flessibile esso dovrà tenere conto che l'edificio nel futuro potrà avere diverse destinazioni d'uso diverse funzioni e differenti piante, che la tecnologia che lo caratterizza oggi tra pochi anni sarà già vecchia ed avrà bisogno di essere cambiata. Di conseguenza non deve progettarlo come un oggetto chiuso e rigido, ma come un insieme di parti interagenti. Dovrà tenere presente quali sono gli aspetti del progetto attuale che potranno essere cambiati, che invecchieranno e progettarli in modo tale che non creino vincoli alla loro modifica.

14.2. Analisi della Flessibilità

L'intero progetto proposto in questa sede è stato pensato con le caratteristiche di una architettura flessibile.

Nel progetto di recupero sono state conservate le strutture portanti perimetrali ed alcune strutture interne massicce (murature interne) mentre tutto il resto è stato eliminato per essere sostituito con 'membrature' e strutture più leggere, facili e veloci da montare e/o smontare a seconda delle esigenze dei fruitori del Complesso Edilizio F.

Alla base del progetto vi è la possibilità di riconfigurare e di rimodulare gli spazi interni ed esterni a seconda delle funzioni e dei proprietari che utilizzeranno gli ambienti del complesso.

Restano fisse nella sua funzione la Hall di Ingresso e parzialmente la Grande Galleria che continueranno sempre a svolgere il ruolo principale di accesso e di distribuzione ai vari livelli degli altri edifici.

Nei prossimi due paragrafi saranno analizzati due aspetti della **Flessibilità**, quella **spaziale a servizio della stessa funzione** e **quella funzionale in spazi già definiti**. Ovviamente le due tipologie di flessibilità possono essere impiegate contemporaneamente ma per semplicità verranno analizzate separatamente.

14.2.1. La Flessibilità Spaziale

Saranno presi in considerazione i singoli edifici e gli spazi ad essi contigui per facilitare l'analisi in oggetto.

14.2.1.1. Edificio F2 – Laboratori Artigianali

L'edificio che ospita i laboratori è una grande scatola vuota dove sono state conservate solo le murature perimetrali dell'edificio esistente e parte della soletta a copertura del piano interrato costituita da volte a crociera ribassate.

Nel progetto proposto si è optato per la realizzazione di n. 5 laboratori. Tale suddivisione è conseguenza di alcune ricerche di mercato sulla grandezza di locali con la stessa funzione nella zona.

La parete che separa ogni laboratorio è una parete realizzata con tecnologia a secco che può essere rimossa in qualsiasi momento e che per scelta non ospita al suo interno alcuna parte essenziale degli impianti permettendo quindi la sua rimozione nel caso si rendesse necessario accorpere due o più laboratori.

L'accorpamento di tali spazi può avvenire in maniera del tutto indipendentemente sui tre livelli che compongono questi ambienti in modo da poter rispondere a qualsiasi necessità di spazio della funzione da insediare.

Accorpando due laboratori continui nasce il problema che all'interno dello stesso spazio vi siano due montacarichi/ascensori e due scale che collegano i tre diversi livelli. Nel momento in cui questi risultassero in numero eccessivo per la funzione e per il numero di lavoratori/utenti è possibile smontarli e recuperare superficie utile. Infatti sia le scale che la struttura degli elevatori è stata pensata con telaio metallico costituito da profili HEA e IPE di lunghezza limitata e quindi imbullonati tra loro. La scelta di limitare la lunghezza dei profili è stata fatta per limitare il peso dei profili stessi nella fase di movimentazione e anche la possibilità di poterli spostare e ruotare in spazi di modeste dimensioni.

In fin dei conti questo spazio può essere suddiviso in una miriade di modi differenti in base alle funzioni che ne occupano gli spazi.

TAV. 14.02-283
Flessibilità Spaziale:
I Laboratori Artigianali

14.2.1.2. Gli spazi commerciali di testa

Questi spazi commerciali sono stati concepiti come i Laboratori Artigianali appena descritti, sono quindi pensati per poter essere ulteriormente suddivisi o accorpati in spazi più piccoli o più grandi a seconda delle esigenze della singola funzione.

Anche in questo caso l'accorpamento può avvenire indipendentemente sui tre livelli che costituiscono questa parte.

Gli elementi che collegano i tre livelli sono pensati con tecnologia a secco per poter essere rimossi in qualsiasi momento con il minor dispendio di lavoro e di costi.

14.2.1.3. Il Foyer e la Conference Hall

Questi grandi ambienti sono stati pensati e progettati con la stessa filosofia del resto del Complesso e quindi con tecnologia stratificata a secco in modo da poter essere modulati in base alle necessità che dovrebbero ritenersi necessarie.

14.2.1.4. Gli spazi commerciali interni

Questa parte, che compone quello che viene identificato come la porzione più a sud dell'Edificio F2, è stata suddivisa a progetto in 8 spazi commerciali, quattro per ognuno dei due piani fuori terra della struttura. I quattro spazi a piano terra presentano la stessa estensione superficiale come i quattro spazi a piano primo (che sono leggermente più estesi di quelli a piano terra).

Le pareti che suddividono questi ambienti sono realizzati esattamente come quelle che separano i laboratori artigianali e possono quindi essere smontate in qualsiasi momento.

Ognuno di questi ambienti è dotato di una scala e di un piccolo montacarichi per accedere agli spazi a piano interrato. Tali elementi sono costituiti da profilati metallici che possono essere smontati nel momento in cui, nell'accorpamento di due o più spazi, dovessero essere ritenuti superflui.

14.2.1.5. Gli Spazi Commerciali Esterni

Nell'edificio F3 sono stati inseriti a progetto 8 spazi commerciali nei primi due livelli fuori terra e due grandi ambienti nel nuovo spazio vetrato realizzato a posto del tetto a padiglione del vecchio edificio.

Anche in questo caso la tecnologia utilizzata è quella 'a secco' in modo da garantire la possibilità di modulare gli spazi sulle esigenze delle funzioni che vi insedieranno.

In questo edificio è stata fatta la scelta di realizzare la struttura che ospita gli ascensori comuni in cemento armato visto che sono di uso comune a più ambienti commerciali e che, da un'analisi fatta sul riuso dell'intero edificio, risultano necessari in qualsiasi caso di accorpamento dei vari spazi commerciali.

14.2.1.6. La Grande Galleria

Questo grande ambiente a tripla altezza è stato realizzato con la stessa filosofia di recupero degli altri Edifici che compongono il Complesso Edilizio F e cioè con una tecnologia stratificata a secco che permetta di modificare velocemente la configurazione dei vari passaggi sia a piano terra che a piano primo. Tutte le strutture possono essere dunque smontate e rimontate in modo diverso in base alle esigenze che si dovessero manifestare. Ogni parte dei pavimenti del piano terra e del piano primo sono costituiti da pannelli rettangolari che possono essere assemblati e/o smontati in ogni parte della Grande Galleria.

14.2.1.7. Gli spazi commerciali fuori asse

L'Edificio F5 presenta una flessibilità minore rispetto agli altri perché strutturato in modo differente. Infatti questo edificio non è nato come un edificio industriale e

TAV. 14.02-284

Flessibilità Spaziale:

Gli Spazi Commerciali di testa

TAV. 14.02-285

Flessibilità Spaziale:

Gli Spazi Commerciali interni

TAV. 14.02-286

Flessibilità Spaziale:

Gli Spazi Commerciali Esterni

TAV. 14.02-287

Flessibilità Spaziale:

La Grande Galleria

TAV. 14.02-288
Flessibilità Spaziale:
Gli Spazi Commerciali Fuori Asse

quindi dotato di una certa flessibilità intrinseca ma ospitava alcuni piccoli appartamenti per alcuni operai che lavoravano nella ex Fossati & Lamperti. Se gli altri edifici erano caratterizzati da grandi ambienti indistinti che si prestano facilmente ad una facile riorganizzazione così non è per questo stabile che presenta spazi più limitati e già suddivisi con strutture portanti in laterocemento. La suddivisione a progetto è stata comunque pensata con la stessa filosofia della tecnologia stratificata a secco e quindi con la possibilità di essere facilmente rimodulata o rimossa.

TAV. 14.02-289
Flessibilità Funzionale
Proposta Alternativa: Galleria,
Spazi Commerciali Interni e
Spazi Commerciali Esterni

14.2.2. Flessibilità Funzionale

Nei vari ambienti e nei vari spazi del Complesso Edilizio F è possibile insediare funzioni differenti rispetto a quelle di carattere commerciale che sono state proposte a progetto. Risulta di facile comprensione il riutilizzo degli ambienti come terziario visto che le esigenze di questa destinazione sono molto simili a quelle del commerciale.

Si propone in questa sede invece la riconversione dell'intero organismo edilizio da commerciale a residenziale con alcuni piccoli interventi di carattere strutturale ma cercando di mantenere il più possibile la suddivisione degli spazi del progetto iniziale in modo da dimostrare la flessibilità con cui è stato pensato l'intervento.

La riconversione del Complesso da commerciale a residenziale può essere attuata praticando alcuni interventi supplementari. Nell'Edificio F3 e nella parte dell'Edificio F2 che lo fronteggia troveranno posto alcuni appartamenti e per poter garantire un adeguato ricambio di aria alle unità che si affacciano sulla Grande Galleria occorre che questa si trasformi da un ambiente chiuso e climatizzato in un grande spazio aperto ma coperto.

Gli appartamenti che verranno realizzati a piano terra lungo la prima navata dell'Edificio F2 comunicano con il Lungo Corridoio. Questo spazio può assumere almeno tre funzioni differenti (se non di più). Le funzioni sono:

- Un lungo ballatoio comune e aperto che permette l'accesso ai vari appartamenti;
- Una serie di serre che possono ampliare lo spazio interno di ciascun appartamento;
- Una lunga tettoia a copertura di spazi esterni privati per ciascun appartamento.

Particolare attenzione dovrà essere posta nella riconversione del blocco Laboratorio Artigianali e del Foyer+Conference Hall per garantire alle singole unità immobiliari il rispetto dei rapporti aeroilluminanti. Il problema nasce dalla importante profondità del corpo di fabbrica. Uno dei metodi che è possibile utilizzare per poter ottenere il risultato prefissato è quello di lavorare per sottrazione eliminando alcuni spazi interni trasformandoli in cavedi che abbiano dimensioni adeguate per essere considerati 'abitabili' e non essere dei meri pozzi di luce.