

[Scheda sul sito >](#)

Renato Iovino - Flavia Fascia - Gian Piero Lignola

EDILIZIA SCOLASTICA

RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE ED ENERGETICA,
MESSA IN SICUREZZA, ADEGUAMENTO ANTISISMICO

Calcolo automatico della prestazione energetica degli edifici
Calcolo automatico della classe di resistenza al fuoco degli edifici
Valutazione strutturale del costruito
Applicazione del calcolo automatico alla valutazione strutturale



*Ad Andrea
da nonno Renato*

Qui non si vuole parlare astrattamente delle origini dell'architettura, ma piuttosto dello sviluppo delle tecniche costruttive e della loro graduale evoluzione con i successivi apporti di nuove conoscenze, fino agli attuali livelli di perfezione.

(Marco Vitruvio Pollione
De Architectura, Libro secondo, capo 8)

Renato Iovino Flavia Fascia Gian Piero Lignola

Edilizia scolastica

RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE ED ENERGETICA
MESSA IN SICUREZZA, ADEGUAMENTO ANTISISMICO



Dario Flaccovio Editore

E. Iovino, F. Fascia, G.P. Lignola

Edilizia scolastica

ISBN 9788857902708

© 2014 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: marzo 2014

Iovino, Renato <1943->

Edilizia scolastica : riqualificazione funzionale ed energetica, messa in sicurezza,

adeguamento antisismico / Renato Iovino, Flavia Fascia, Gian Piero Lignola. -

Palermo : D. Flaccovio, 2014.

ISBN 978-88-579-0270-8

I. Edilizia scolastica. I. Fascia, Flavia <1954->.

II. Lignola, Gian Piero <1978->.

690.1 CDD-22

SBN PAL0266384

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, marzo 2014

Questo lavoro è stato redatto dagli autori in stretta collaborazione e con unità concettuale. Pur tuttavia sono da attribuire a Flavia Fascia i capitoli 1, 4, e 5, a Renato Iovino il capitolo 2, a Gian Piero Lignola il capitolo 6. Il capitolo 3, *Il calcolo automatico della prestazione energetica degli edifici*, è stato elaborato da Emanuele La Mantia, *PhD Student* in Ingegneria delle Costruzioni presso l'Università degli Studi di Napoli Federico II. Per il capitolo 7, *Applicazione del calcolo automatico alla valutazione strutturale*, è stato elaborato da Giancarlo Ramaglia, *PhD Student* in Ingegneria dei Materiali e delle Strutture presso l'Università degli Studi di Napoli Federico II.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

INDICE

Presentazione

Premessa

1. La riqualificazione funzionale	pag. 27
1.1. Evoluzione storica dello spazio scuola ed i condizionamenti della pedagogia.....	» 28
1.1.1. La filosofia dell'educazione	» 28
1.1.2. La scienza della produzione mentale conoscitiva.....	» 39
1.1.3. La metodologia dell'apprendimento.....	» 42
1.2. Evoluzione dell'edilizia scolastica in Italia.....	» 43
1.3. D.M. 18.12.1975: norme tecniche relative all'edilizia scolastica	» 46
1.3.1. Criteri generali	» 47
1.3.2. Area	» 48
1.3.3. Norme relative all'opera	» 48
1.3.4. Norme relative all'arredamento ed alle attrezzature.....	» 56
1.3.5. Norme relative alle condizioni di abitabilità	» 70
1.4. Soluzioni conformi di edilizia scolastica	» 74
1.4.1. Unità pedagogica per attività normale.....	» 74
1.4.2. Palestra di tipo B2	» 75
1.4.3. Spogliatoi per palestra	» 76
1.4.4. Servizi igienici.....	» 77
1.4.5. Servizi igienici. Seconda soluzione.....	» 79
1.4.6. WC per portatori di handicap	» 79
1.4.7. La mensa.....	» 81
1.4.8. Auditorio.....	» 81
1.4.9. Spazi per l'amministrazione	» 82
2. Il contenimento dei consumi energetici e la certificazione energetica	» 85
2.1. Il progetto termico dell'involucro dell'edificio.....	» 89
2.2. Simboli e definizioni	» 91
2.3. Definizioni e termini	» 92
2.4. Parametri per il progetto termico dell'involucro.....	» 97
2.4.1. Temperatura dell'aria esterna di progetto.....	» 97
2.4.2. Resistenze termiche superficiali ($1/\alpha_i + 1/\alpha_e$)	» 98
2.4.3. Conduttività λ dei materiali di uso comune.....	» 98
2.4.4. Conduttanza C per alcune strutture non omogenee, esclusi intonaci e solette	» 100
2.4.5. Resistenza delle lame d'aria	» 100
2.4.6. Caratteristiche dei prodotti isolanti minerali	» 101
2.4.7. Caratteristiche dei prodotti isolanti vegetali.....	» 101
2.4.8. Caratteristiche dei prodotti isolanti di sintesi	» 102

2.4.9.	Gradi-giorno e zone climatiche	»	102
2.4.10.	Limiti di esercizio degli impianti termici	»	103
2.4.11.	Valori della temperatura massima degli ambienti	»	104
2.4.12.	Temperatura ed umidità relativa dell'aria.....	»	105
2.5.	I principi di base della trasmissione del calore	»	106
2.6.	Aspetti normativi in materia di efficienza energetica	»	111
2.6.1.	D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 192.....	»	112
2.6.2.	D.Lgs. 29 dicembre 2006, n. 311.....	»	114
2.6.3.	D.Lgs. 30 maggio 2008, n. 115	»	118
2.6.4.	D.P.R. 2 aprile 2009, n. 59	»	118
2.6.5.	D.M. 26 giugno 2009, Linee guida nazionali sulla certificazione energetica	»	120
2.7.	Il progetto dell'isolamento termico idoneo a garantire condizioni di benessere fisiologico	»	130
2.8.	Il progetto dell'isolamento termico idoneo ad evitare il fenomeno della condensa	»	132
2.8.1.	Considerazioni sul fenomeno della condensa.....	»	135
2.9.	Sistemi costruttivi per migliorare la resistenza termica dell'involucro ..	»	139
2.9.1.	Il cool roof	»	139
2.9.2.	Il tetto verde.....	»	142
2.9.3.	La parete ventilata	»	148
2.9.4.	Sistemi costruttivi con PCM, Phase Changing Material	»	151
3.	Il calcolo automatico della prestazione energetica degli edifici	»	157
	<i>di Emanuele La Mantia</i>		
3.1.	Applicazione del software <i>TerMus</i> della <i>ACCA</i>	»	159
4.	La prevenzione incendi	»	195
4.1.	Il quadro normativo della prevenzione incendi	»	202
4.1.1.	La Circolare 91/1961 (abrogata con il D.M. 09/03/2007).....	»	202
4.1.2.	Il D.M. 30/11/1983	»	208
4.1.3.	Il D.M. 08/03/1985	»	221
4.1.3.1.	Allegato A	»	222
4.1.3.2.	Allegato B	»	225
4.1.4.	D.M. 09/03/2007	»	232
4.1.4.1.	Carico d'incendio.....	»	233
4.1.4.2.	Richieste di prestazione	»	235
4.1.4.3.	Scenari e incendi convenzionali di progetto	»	237
4.1.5.	D.M. 16/02/2007	»	239
4.1.5.1.	Allegato A – Simboli e classi	»	240
4.1.5.2.	Allegato B – Modalità per la classificazione in base ai risultati di prove	»	241
4.1.5.3.	Allegato C – Modalità per la classificazione in base ai risultati di calcoli.....	»	242

4.1.5.4.	Allegato D – Modalità per la classificazione in base a confronti con tabelle.....	» 243
4.1.6.	Lettera Circolare n. 414/4122 del 28 marzo 2008.....	» 251
4.2.	La Circolare 91/61 e i Decreti del 2007: confronti e differenze	» 256
4.3.	La Regola tecnica di prevenzione incendi per l'edilizia scolastica (testo coordinato)	» 258
4.4.	La Regola tecnica di prevenzione incendi per l'edilizia scolastica – Edifici esistenti	» 269
5.	Il calcolo automatico della classe di resistenza al fuoco degli edifici.....	» 281
5.1.	Applicazione del software <i>ClaRaF</i>	» 281
5.1.1.	Valore orientativo per attività	» 282
5.1.2.	Valore orientativo per arredo e/o valore orientativo per merci in deposito	» 284
5.1.3.	Valore orientativo per materiale	» 285
5.2.	Il caso-studio di un edificio per scuola media.....	» 287
6.	La valutazione strutturale del costruito.....	» 291
6.1.	Normativa tecnica: sviluppo storico.....	» 292
6.2.	Approccio generale	» 298
6.3.	Le informazioni richieste	» 300
6.3.1.	Analisi storico critica	» 302
6.3.2.	Informazioni geometrico-strutturali	» 303
6.3.3.	Caratterizzazione meccanica dei materiali esistenti	» 305
6.3.3.1.	Prove di caratterizzazione meccanica	» 305
6.3.4.	Materiali nuovi da impiegare.....	» 306
6.3.5.	Livelli di conoscenza e fattori di confidenza.....	» 307
6.4.	Modellazione delle azioni	» 314
6.5.	Modellazione meccanica.....	» 314
6.6.	Sicurezza in presenza di azioni gravitazionali nelle strutture in c.a.	» 315
6.7.	Sicurezza in presenza di azioni sismiche nelle strutture in c.a.	» 315
6.7.1.	Requisiti di sicurezza.....	» 317
6.7.2.	Stati limite ultimi e stati limite di esercizio.....	» 321
6.7.3.	Modelli di capacità per la valutazione di edifici in calcestruzzo armato	» 321
6.7.3.1.	Travi, pilastri e pareti: flessione con e senza sforzo normale	» 322
6.7.3.2.	SLC ed SLV	» 322
6.7.3.3.	Calcolo delle rotazioni di collasso su elementi strutturali in c.a.	» 322
6.7.3.4.	SLE	» 326
6.7.3.5.	Travi e pilastri: taglio.....	» 327
6.7.3.6.	Nodi trave-pilastro	» 327

6.8.	Metodi di analisi e criteri di verifica in presenza di azioni sismiche.....	»	328
6.8.1.	Analisi statica lineare con spettro elastico.....	»	329
6.8.2.	Analisi statica lineare con fattore q	»	330
6.8.3.	Analisi dinamica modale con spettro elastico e di progetto.....	»	332
6.8.4.	Analisi statica non lineare.....	»	332
6.8.5.	Analisi dinamica non lineare.....	»	333
6.8.6.	Sintesi dei criteri di analisi e di verifica della sicurezza.....	»	334
6.9.	Tipologie di intervento.....	»	335
6.9.1.	Interventi di adeguamento.....	»	336
6.9.2.	Interventi di miglioramento o rinforzo.....	»	336
6.9.3.	Riparazione o intervento locale.....	»	338
6.9.4.	Interventi su componenti strutturali.....	»	339
6.9.5.	Interventi su componenti non strutturali.....	»	340
6.9.6.	Progettazione degli interventi.....	»	344
6.10.	Criteri per gli interventi di consolidamento.....	»	345
6.10.1.	Interventi per ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai.....	»	345
6.10.2.	Interventi volti ad assicurare i collegamenti tra telai piani.....	»	347
6.10.3.	Interventi volti ad assicurare i collegamenti degli elementi non strutturali.....	»	347
6.10.4.	Interventi in fondazione.....	»	347
6.10.5.	Realizzazione di giunti sismici.....	»	349
6.10.6.	Interventi volti a regolarizzare la risposta strutturale.....	»	349
6.10.7.	Modelli di capacità per il rinforzo di elementi in calcestruzzo armato.....	»	350
6.10.8.	Incamicatura in c.a.	»	350
6.10.9.	Incamicatura in acciaio.....	»	351
6.10.10.	Aumento della resistenza a taglio.....	»	352
6.10.11.	Azione di confinamento.....	»	353
6.10.12.	Miglioramento della giunzione per aderenza.....	»	354
6.10.13.	Placcatura e fasciatura in materiali compositi.....	»	355
7.	Applicazione del calcolo automatico alla valutazione strutturale.....	»	357
	<i>di Giancarlo Ramaglia</i>		
7.1.	Normativa di riferimento.....	»	357
7.2.	Descrizione generale dell'edificio.....	»	358
7.3.	Informazioni e livello di conoscenza.....	»	364
7.4.	Prove eseguite <i>in situ</i>	»	367
7.5.	Analisi dei carichi e combinazioni di carico.....	»	371
7.6.	Regolarità della struttura.....	»	374
7.7.	Caratterizzazione sismica della struttura.....	»	377
7.8.	Calcolo dei pesi e delle masse sismiche.....	»	381
7.9.	Azioni sulla struttura.....	»	383
7.9.1.	Stato limite di salvaguardia della vita.....	»	384

7.9.2. Stato limite di danno.....	» 386
7.9.3. Stati limite di esercizio	» 386
7.10. Metodi di analisi.....	» 388
7.10.1. Modello di calcolo.....	» 389
7.11. Analisi e verifica dell'edificio.....	» 391
7.11.1. Risultati e verifiche di sicurezza globale allo SLV e SLD	» 393
7.11.2. Risultati e verifiche di sicurezza locali.....	» 394
7.12. Criteri e tipologie di rinforzo	» 398
7.13. Adeguamento	» 399
7.13.1. Descrizione dell'intervento di adeguamento strutturale.....	» 400
7.13.2. Incamiciatura in c.a.	» 401
7.13.3. Incremento di altezza delle travi.....	» 403
7.13.4. Rinforzo mediante compositi in FRP	» 404
7.13.4.1. Rinforzo a taglio	» 405
7.13.4.2. Rinforzo a flessione	» 408
7.14. Verifica della struttura allo stato di progetto	» 409
Bibliografia	» 411

Presentazione

Il compito della scuola non è solo quello di istruire, ma anche quello di formare ed educare. I rapidi cambiamenti economici e sociali scaturiti dallo sviluppo tecnologico fanno pensare che la scuola debba fornire gli strumenti fondamentali per accrescere e approfondire le conoscenze, anche in funzione delle nuove tecnologie, senza accontentarsi di trasmettere agli individui solamente un bagaglio di nozioni, paradigma che forse poteva funzionare fino a pochi anni orsono. D'altronde, prendersi cura dei piccoli è una scelta di civiltà ma anche una necessità vitale, perché una società che abbandona i bambini recide le sue radici e oscura il suo futuro. L'ISTAT ha appena pubblicato il rapporto BES 2013 sul benessere equo e sostenibile, che sostituisce il PIL come indicatore di benessere degli italiani e i risultati sul benessere della scuola italiana sono piuttosto scarsi, con grandi differenze tra Nord e Sud Italia. In tale rapporto sono state considerate le tematiche della salute, istruzione e formazione, lavoro, benessere economico, relazioni sociali, politica e istituzioni, benessere soggettivo, paesaggio e patrimonio culturale, ambiente, ricerca e innovazione, qualità dei servizi.

Probabilmente le performance dei diversi sistemi di istruzione regionali risentono anche delle condizioni economiche e occupazionali dei propri abitanti.

Il quadro che esce dal tale rapporto, almeno per quanto riguarda l'istruzione, riporta indietro l'Italia di oltre un secolo. Quando la maggior parte della popolazione italiana viveva in situazione di estrema deprivazione e, con la necessità quotidiana di trovare un modo per sopravvivere, studiare era percepito come una perdita di tempo.

Nel 2008 sul territorio nazionale si sono registrati 51.904 edifici ad esclusivo o prevalente uso scolastico. Il 30% di tali edifici è concentrato nelle prime 10 province (le prime tre sono Roma, Milano e Napoli). Oltre la metà (51%) si distribuisce nelle prime 24 province. Circa il 29% si trova in comuni di piccola dimensione demografica (fino a 5 mila abitanti). Come tipologia costruttiva, si ha una netta prevalenza di strutture miste in c.a. e muratura, circa il 67% del totale, cui segue la muratura portante in pietra e mattoni (15%), e la muratura portante in laterizio (14%).

L'edilizia scolastica e il suo stato di salute in Italia è quindi un problema di dimensioni molto rilevanti e che quotidianamente mette a rischio la fascia di utenti più indifesa ma che, al contempo, rappresenta il futuro della società; inoltre con il passar del tempo rappresenta costi legati alla riqualificazione e danni economici pesantissimi. In questo caso il costo è soprattutto sociale, e lo è maggiormente in Italia, dove il patrimonio edilizio scolastico è caratterizzato da una notevole fragilità dovuta soprattutto all'età e alle caratteristiche tipologiche e strutturali. In un discorso generale sulla situazione del patrimonio edilizio, non si deve dimenticare che larga parte del territorio è a rischio sismico, ma solo una minoranza degli edifici in tali aree è stata progettata utilizzando criteri antisismici.

Il presente volume si inserisce in una collana a carattere professionale e si vale di autori diversi che rappresentano un ampio spettro della comunità scientifica e professionale. Non vi è dubbio che il rinnovato interesse per la materia, la diffusione di attività di formazione, la disponibilità di un manuale operativo saranno propedeutici per una riqualificazione di una delle forme dell'edilizia più care alla società, la cui qualità in larga misura dipende dalla competenza dei tecnici che sono chiamati ad intervenire. La normativa tecnica ha recepito, ed in parte lo sta ancora facendo, con un ritardo a volte eccessivo, le innovazioni che provengono dal mondo della ricerca e della progettazione. In questo contesto il volume fornisce le conoscenze e gli strumenti operativi alla base della riqualificazione funzionale, energetica e strutturale dell'edilizia scolastica, seguendo un approccio aggiornato alle normative nazionali ed internazionali più recenti. Si rivolge ai professionisti, ma anche agli studenti di vari ordini e gradi, che avvertono la necessità di aggiornarsi alla luce dei recenti cambiamenti metodologici e normativi.

L'obiettivo è stato di coniugare impostazione didattica, aggiornamento dei contenuti e capacità operativa. Per questo motivo accanto ai classici capitoli riguardanti la riqualificazione funzionale e tecnologica, la certificazione energetica, la prevenzione incendi e la valutazione strutturale del costruito, vi sono tre capitoli specifici relativi all'applicazione con il calcolo automatico, imprescindibile strumento operativo per il tecnico, corredati da esempi di applicazione che accompagnano il lettore nell'applicazione dei principi e dei metodi che sono esposti. Un tale approccio è sempre stato considerato utile ausilio per i tecnici e professionisti. Ancor più lo è questo che ha un carattere di particolare trasversalità rispetto alle differenti tematiche che, come è noto, costituiscono in alcune parti una vera rivoluzione dell'approccio alla riqualificazione

del costruito esistente, ed a maggior ragione dell'edilizia scolastica che con le sue peculiarità riesce a valorizzare responsabilità e competenze professionali.

Il campo delle costruzioni in Italia è caratterizzato da una forte anomalia connaturata nello sviluppo normativo che ha visto, dagli anni '60, e per circa un trentennio, riferimenti normativi nazionali praticamente inalterati mentre, nel contempo, i corpi normativi stranieri erano oggetto di progressivi aggiornamenti e rielaborazioni. Agli inizi degli anni '60 l'edilizia in Italia rivolgeva particolare attenzione alle nuove costruzioni, giustificata dalla necessità di espansione delle reti e delle infrastrutture tipiche di quell'epoca. La norma italiana, fino agli anni '90, è, infatti, rimasta all'epoca dell'espansione edilizia degli anni precedenti ed è stata, quindi, principalmente orientata verso le nuove costruzioni. Negli ultimi anni le caratteristiche tipiche di una società matura, dove non è più presente la necessità di espandersi ma, piuttosto, la consapevolezza di una riconversione dell'infrastruttura esistente, hanno fatto sì che si consolidasse l'idea che il problema della riqualificazione dell'esistente diventasse sempre più centrale rispetto alla costruzione di nuove strutture. Spesso l'edilizia scolastica si sovrappone all'edilizia storica e richiede un notevole impegno per la funzionalizzazione di ambienti e strutture che già solo dimensionalmente a non sono adeguate agli spazi e alle funzioni della più moderna formazione scolastica.

In termini energetici il 97% degli edifici scolastici ha un impianto di riscaldamento di tipo tradizionale e soltanto il 2,5% ha un'UTA (unità trattamento area). Il combustibile maggiormente impiegato è il gas (73%) seguito dal gasolio e olio combustibile (24%). La nuova direttiva energetica, rafforzato il ruolo della certificazione energetica, o meglio della prestazione energetica, in tal senso prevede, dal 31 dicembre 2020, che gli edifici di nuova costruzione (2018 per gli edifici pubblici) abbiano un'altissima prestazione energetica (*nearly zero energy buildings*), in presenza di una significativa quota del fabbisogno coperta da fonti rinnovabili. Poiché l'intervento energetico è normalmente posto in essere in occasione di interventi di ristrutturazione radicali, che andrebbero in ogni caso realizzati, ciò contribuisce a ridurre drasticamente il peso economico dell'extra costo energetico. Oggi poi gli obiettivi condivisi riguardano il miglioramento delle prestazioni energetiche degli involucri edilizi e dei sistemi impiantistici con soluzioni ad alta efficienza ed alta integrazione, l'incentivazione dell'autoproduzione di energia e delle fonti rinnovabili, la diffusione dei sistemi di *smart building*.

Nell'ambito della prevenzione incendi le attività scolastiche rientrano nelle attività soggette ai controlli di prevenzione incendi da parte dei Vigili del Fuoco. Da indagini effettuate dal M.I.U.R. è emerso che quasi tre quarti delle scuole è sprovvista del certificato di prevenzione incendi, circa un terzo non ha scale di sicurezza e un quinto non è dotato di porte con dispositivo di apertura antipanico. Sebbene la quasi totalità delle scuole disponga di piani di evacuazione, solo una parte lo ha anche provato almeno una volta. Ciò evidentemente mostra che un grande lavoro deve provenire dalla classe professionale dei tecnici, ma è opportuno anche che si diffonda una sensibilità diffusa nella collettività su tali problematiche.

Nell'ambito strutturale, solo con l'introduzione delle *Nuove norme tecniche* è maturata l'attenzione sul costruito esistente realizzando una parte normativa completamente dedicata all'analisi e verifica degli edifici esistenti. Tale parte è dunque relativamente giovane, e come tale, richiede aggiornamenti e approfondimenti continui; ma oggi la normativa italiana, seppur più giovane, presenta qualche avanzamento in più dell'Eurocodice da cui inizialmente traeva origine. Ciò perché essenzialmente si è sviluppata a valle di necessità e consapevolezza maturate nel tempo e che ne hanno determinato un netto miglioramento. Con riferimento all'impostazione metodologica delle normative, la comunità tecnica dovrebbe prediligere delle norme essenzialmente prestazionali, senza troppe regole prescrittive che non aiutano la concorrenza e che limitano lo sviluppo della creatività professionale. Nonostante ciò di fatto vi è una ricerca di normative prescrittive e non sono rari casi in cui, voci e diciture della normativa tecnica, vengono interpretate in maniera non univoca e destano non pochi dubbi in ambito progettuale. Sul tema degli edifici esistenti vi è, infatti, un fertile fronte lavorativo di avanzamento scientifico e tecnologico, sinonimo della necessità di indagare e migliorare ulteriormente la cultura tecnica nell'ambito dell'analisi dell'esistente. Lo sviluppo di processi sistematici finalizzati all'analisi delle strutture esistenti rappresenta infatti, oggi, la nuova sfida per l'ingegneria. In ogni caso un processo educativo volto alla creazione di una nuova cultura si può realizzare solo in un ambiente a sua volta sicuro, sano, adeguato, confortevole, sia questo la scuola, la famiglia o la collettività, una diversa accezione del motto *Mens sana in corpore sano*.

Gaetano Manfredi

Prorettore dell'Università
degli Studi di Napoli Federico II

1. La riqualificazione funzionale

Lo spazio costruito, indipendentemente dalla destinazione d'uso, dalla localizzazione e dall'insediamento sul territorio, deve essere la sintesi di tutti quei parametri che regolano i rapporti forma-funzione, forma-struttura, forma-messaggio culturale a sociale. Non si può ritenere esaustivo per una corretta architettura, infatti, il pensiero di Sullivan che scriveva: “La funzione è all'origine della forma e la soluzione di un problema architettonico non può quindi venire dall'esterno ma deve essere sviluppato partendo dalla funzione stessa dell'edificio”.¹ I caratteri formali dello spazio architettonico, infatti, non possono essere correlati alla sola funzione che la costruzione è chiamata ad assolvere ma devono essere anche in ordinata unità con la struttura intesa sia dal punto di vista statico che tecnologico e con il messaggio culturale e sociale che la costruzione trasmette all'osservatore. Nel merito, in *Il progetto di architettura tra forma e (dis)funzione* Gabriello Grandinetti affermava che “dall'amigdala preistorica dell'*homo habilis*, il primo utensile del 'proto design', alla navicella spaziale, la forma è apparsa inestricabilmente connessa alla funzione. Ogni tentativo di isolarla o estrapolarla dal connubio virtuoso con la funzione si è rivelato fuorviante se non per ridare smalto all'allitterazione di Sullivan: *form follows function*”.²

L'architettura, oggi, sta vivendo una grande evoluzione costruttiva basata sulla libertà stilistica; infatti, in tutto il mondo è presente un forte incremento delle realizzazioni di edifici spettacolari dove sia le forme che le ardite strutture trasmettono, attraverso la loro immagine rappresentativa e attraverso l'avanguardia tecnica e stilistica dell'opera, un forte messaggio culturale e sociale. Così anche per la scuola, intesa quale architettura dello spazio educativo, la forma, fatto salvo il rapporto con la struttura, dovrà comunicare sia la funzione che assolve, sia un messaggio visivo consono all'evoluzione sociale e culturale dell'uomo. L'organismo scolastico dovrà comunicare, attraverso un attento studio dei suoi caratteri formali, da un lato la propria funzione di formazione ed educazione della personalità dell'uomo; dall'altro, il messaggio dell'evoluzione storica delle condizioni culturali e sociali dell'uomo. Gli architetti devono collaborare con i do-

¹ Liberamente tradotto da L.H. Sullivan, *The tall office building: artistically considered*, in “Lippincott's Magazine”, 57, marzo 1896.

² Grandinetti G., *Il progetto di architettura tra forma e (dis)funzione*, <http://presstletter.com/2012/10/il-progetto-di-architettura-tra-forma-e-disfunzione-di-gabriello-grandinetti/>, 2012.

centi nell'elaborazione del progetto dello spazio architettonico scuola in quanto, spesso, i docenti vedono gli edifici scolastici come un grande ostacolo ai fini dell'applicazione dei moderni metodi pedagogici.

La tipologia scolastica non deve essere legata al modello dell'architettura conventuale ma deve tener conto che la figura dell'insegnante oggi è sostituita da una varietà di tecnici e specialisti con diversi strumenti didattici e con rapporti più articolati con studenti, genitori e società. Il progetto dell'edificio scolastico, visto sotto un'ottica futuristica, deve tener conto non soltanto della forma dello spazio ma anche della possibilità di un uso elastico e flessibile degli ambienti per consentire di adattare lo spazio scuola, di volta in volta, all'esercizio delle funzioni che non sono soltanto scolastiche ma anche, e preferibilmente, cittadine. In tal modo lo spazio scuola diventa pienamente partecipe della vita della città realizzando all'interno di essa programmi di socializzazione più concreti ed efficaci. Lo spazio educativo deve essere visto come uno spazio *open plan*, caratterizzato da spazi modificabili, dove viene meno la dimensione di classe ma si afferma l'idea di organismi comunitari che facciano sentire ai giovani la sensazione di vivere all'interno di un complesso che appartiene a tutti ed a ciascuno.

1.1. Evoluzione storica dello spazio scuola ed i condizionamenti della pedagogia

Per un corretto studio dei caratteri formali dell'architettura dello spazio educativo appare indispensabile un attento esame dei problemi, dei fini e dei modi dell'educazione, cioè in sintesi, dei contenuti della pedagogia, che oggi ha assunto la dignità di scienza autonoma. Lo studio dell'organismo scolastico non può, infatti, prescindere dalla conoscenza dei punti fondamentali dei tre livelli della pedagogia (la filosofia dell'educazione, la scienza della produzione mentale conoscitiva e la metodologia dell'apprendimento) in quanto tutti direttamente condizionanti l'architettura della scuola.

1.1.1. La filosofia dell'educazione

Nel merito della filosofia dell'educazione, nel 1916 John Dewey scriveva: "La mancanza di uno scambio libero e ragionevole che scaturisce da una varietà di interessi condivisi provoca uno squilibrio negli stimoli intellettuali. La diversità degli stimoli significa novità, e la novità significa sfida al pensiero".³ La riflessione filosofica e pedagogica di J. Dewey si basa, in particolare, sull'idea dell'esperienza vista come rapporto tra uomo ed ambiente, dove l'uomo non è un testimone

³ Dewey, J. (1916), *Democrazia e educazione*, traduz. it. di E.E. Agnoletti e P. Paduano, La Nuova Italia, Milano 2000.

Tabella 1.11. Indici standard di superficie netta: istituti tecnici (Tabella 11 – D.M. 18/12/1975)

Descrizione degli spazi		n. classi 10 n. alunni 250 m ² / alunno oppure, m ²	n. classi 15 n. alunni 375 m ² / alunno oppure, m ²	n. classi 20 n. alunni 500 m ² / alunno oppure, m ²	n. classi 25 n. alunni 625 m ² / alunno oppure, m ²	n. classi 30 n. alunni 750 m ² / alunno oppure, m ²	n. classi 35 n. alunni 875 m ² / alunno oppure, m ²	n. classi 40 n. alunni 1.000 m ² / alunno oppure, m ²
<i>Attività didattiche</i>	Attività normali	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
	Attività speciali	1,96	1,60	1,20	1,17	0,97	0,83	0,84
	Fisica, scienze naturali, chimica e merceologia	180 m ² (1)	290 m ² (2)	290 m ² (2)	420 m ² (3)	420 m ² (3)	420 m ² (3)	420 m ² (3)
	Dattilografia e stenografia	100 m ² (1)	100 m ² (1)	100 m ² (1)	100 m ² (1)	100 m ² (1)	100 m ² (1)	100 m ² (1)
	Ragioneria e macchine contabili	105 m ² (1)	105 m ² (1)	105 m ² (1)	105 m ² (1)	105 m ² (1)	105 m ² (1)	105 m ² (1)
	Tecnica commerciale e macchine calcolatrici	105 m ² (1)	105 m ² (1)	105 m ² (1)	105 m ² (1)	105 m ² (1)	105 m ² (1)	210 m ² (2)
<i>Attività collettive</i>	Attività integrative e parascolastiche	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Biblioteca alunni	0,40	0,35	0,32	0,27	0,27	0,26	0,26
	Mensa e relativi servizi (1*)	0,60	0,60	0,60	0,60	(0,50) 375 m ²	(0,42) 375 m ²	(0,38) 375 m ²
<i>Attività complementari</i>	Atrio	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	Uffici, ecc.	0,50	0,35	0,33	0,27	0,25	0,23	0,18
	Indice di superficie netta globale	8,71	8,34	7,29	7,10	6,65	6,30	6,23
	Somma indici parziali	6,22	5,96	5,21	5,07	4,75	4,50	4,45
	Connettivo e servizi igienici (40% somma precedente)	2,49	2,38	2,08	2,03	1,90	1,80	1,78
<i>Spazi per l'educazione fisica</i>	Palestra, servizi palestra, ecc.	tipo A/1 330 m ² netti		tipo A/2 630 m ² netti		tipo B/1 830 m ² netti		
<i>Alloggio per il custode</i>	(se richiesto)	80 m ² netti						

(1*) Con l'ipotesi dell'80% di partecipanti e del doppio turno di refezione; per le scuole con più di 25 classi la superficie di 375 m² è stata prevista fissa in funzione del diverso sistema gestionale.

Il valore tra parentesi esprime il numero di moltiplicazione dei reparti relativi agli spazi descritti.

Tabella 1.12. Indici standard di superficie netta: istituto per geometri (Tabella 12 – D.M. 18/12/1975)

Descrizione degli spazi		n. classi 10 n. alunni 250 m ² / alunno oppure, m ²	n. classi 15 n. alunni 375 m ² / alunno oppure, m ²	n. classi 20 n. alunni 500 m ² / alunno oppure, m ²	n. classi 25 n. alunni 625 m ² / alunno oppure, m ²	n. classi 30 n. alunni 750 m ² / alunno oppure, m ²	n. classi 35 n. alunni 875 m ² / alunno oppure, m ²	n. classi 40 n. alunni 1.000 m ² / alunno oppure, m ²
<i>Attività didattiche</i>	Attività normali	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
	Attività speciali	2,96	2,52	1,89	2,15	2,07	2,29	2,40
	Fisica	180 m ² (1)	180 m ² (1)	180 m ² (1)	360 m ² (2)	360 m ² (2)	360 m ² (2)	540 m ² (3)
	Chimica e scienze naturali	160 m ² (1)	160 m ² (1)	160 m ² (1)	160 m ² (1)	260 m ² (2)	390 m ² (3)	390 m ² (3)
	Disegno tecnico e architettonico	125 m ² (1)	125 m ² (1)	125 m ² (1)	125 m ² (1)	230 m ² (2)	350 m ² (3)	350 m ² (3)
	Costruzioni e disegno	125 m ² (1)	230 m ² (2)	230 m ² (2)	350 m ² (3)	350 m ² (3)	450 m ² (4)	550 m ² (5)
	Topografia e disegno	150 m ² (1)	250 m ² (2)	250 m ² (2)	350 m ² (3)	350 (3)	450 m ² (4)	575 m ² (5)
<i>Attività collettive</i>	Attività integrative e parascolastiche	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Biblioteca alunni	0,40	0,35	0,32	0,27	0,27	0,26	0,26
	Mensa e relativi servizi (1*)	0,60	0,60	0,60	0,60	(0,50) 375 m ²	(0,42) 375 m ²	(0,38) 375 m ²
<i>Attività complementari</i>	Atrio	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	Uffici, ecc.	0,50	0,35	0,33	0,27	0,25	0,23	0,18
	Indice di superficie netta globale	8,71	8,34	7,29	7,10	6,65	6,30	6,23
	Somma indici parziali	6,22	5,96	5,21	5,07	4,75	4,50	4,45
	Connettivo e servizi igienici (40% somma precedente)	2,49	2,38	2,08	2,03	1,90	1,80	1,78
<i>Spazi per l'educazione fisica</i>	Palestra, servizi palestra, ecc.	tipo A/1 330 m ² netti	tipo A/2 630 m ² netti	tipo B/1 830 m ² netti				
<i>Alloggio per il custode</i>	(se richiesto)	80 m ² netti						

(1*) Con l'ipotesi dell'80% di partecipanti e del doppio turno di refezione; per le scuole con più di 25 classi la superficie di 375 m² è stata prevista fissa in funzione del diverso sistema gestionale.

Il valore tra parentesi esprime il numero di moltiplicazione dei reparti relativi agli spazi descritti.

1.3.5. Norme relative alle condizioni di abitabilità

Nel capitolo *Norme relative alle condizioni di abitabilità* viene stabilito che ogni edificio scolastico deve garantire condizioni di abitabilità soddisfacenti per tutto il periodo di durata e di uso; queste condizioni di abitabilità devono garantire, inoltre, l'espletamento di alcune funzioni in caso di agenti esterni anormali. Le condizioni di abitabilità possono essere raggruppate come segue: condizioni acustiche (livello sonoro, difesa dai rumori, ecc.); condizioni dell'illuminazione e del colore (grado e qualità dell'illuminazione naturale e artificiale; eccesso e difetto di luce, ecc.); condizioni termoisometriche e purezza dell'aria (livello termico, igrometria, ecc.); condizioni di sicurezza (statica delle costruzioni, dagli incendi, ecc.); condizioni d'uso dei mezzi necessari a stabilire i livelli di abitabilità dei punti precedenti; condizioni di conservazione dei livelli di abitabilità raggiunti (durata dei materiali o delle parti costituenti, ecc.).

CONDIZIONI ACUSTICHE

Le determinazioni di isolamento acustico dovranno essere eseguite fra ambienti ad uso didattico adiacenti e sovrastanti, aventi normale o particolare destinazione, anche a titolo saltuario (come ad esempio aule speciali, officine, ecc.). Le determinazioni devono essere eseguite in aule complete di rivestimento assorbente, col normale arredamento scolastico.

I limiti di isolamento sono fissati essenzialmente tenendo conto dei requisiti minimi richiesti per scuole o aule d'insegnamento generale.

Per scuole o aule di determinato tipo e ubicazione o destinate a insegnamento particolare (sale di musica, ecc.) possono essere richiesti valori più elevati dell'isolamento acustico.

Possono essere richiesti particolari requisiti per ambienti come ad esempio: auditori, sale di musica, sale di spettacolo. Il tempo di riverberazione nelle aule arredate non deve superare i limiti prescritti dalle presenti norme.

CONDIZIONI DELL'ILLUMINAZIONE E DEL COLORE

L'illuminazione naturale e artificiale degli spazi della scuola deve essere tale da assicurare agli alunni il massimo del conforto visivo; pertanto deve avere i seguenti requisiti: livello d'illuminazione adeguato; equilibrio delle luminanze; protezione dai fenomeni di abbagliamento; prevalenza della componente diretta su quella diffusa.

I valori minimi dei livelli di illuminamento naturale ed artificiale sono esposti nella tabella 1.13.

Tabella 1.13. Valori minimi di illuminamento naturale ed artificiale

Illuminamento sul piano di lavoro	lux
Sul piano dei tavoli negli spazi per il disegno, il cucito, il ricamo, ecc.	300
Sulle lavagne e sui cartelloni	300
Sul piano di lavoro negli spazi per lezione, studio, lettura, laboratori, negli uffici	200
Negli spazi per riunioni, per ginnastica, ecc. misurati su un piano ideale posto a 0,60 m dal pavimento	100
Nei corridoi, scale, servizi igienici atri, spogliatoi, ecc. misurati su un piano posto a 1,00 m dal pavimento	100

Particolare cura dovrà essere posta per evitare fenomeni di abbagliamento sia diretto che indiretto facendo in modo che nel campo visuale abituale delle persone non compaiano oggetti la cui luminanza superi di 20 volte i valori medi.

FATTORE MEDIO DI LUCE DIURNA

Allo scopo di assicurare l'economica realizzazione dei livelli di illuminamento prescritti e, contemporaneamente, le esigenze derivanti dalla protezione dall'irraggiamento solare è opportuno che il fattore medio di luce, definito come il rapporto tra l'illuminamento medio dell'ambiente chiuso e l'illuminamento che si avrebbe, nelle identiche condizioni di tempo e di luogo, su una superficie orizzontale esposta all'aperto in modo da ricevere luce dall'intera volta celeste, senza irraggiamento diretto del sole, risulti uguale ai valori mostrati nella tabella 1.14.

Tabella 1.14. Valori del fattore medio di luce diurna

Fattore medio di luce diurna	hm
Ambienti ad uso didattico (aule per lezione, studio, lettura, laboratori, disegno, ecc.)	0,03
Palestre, refettori	0,02
Uffici, spazi per la distribuzione, scale, servizi igienici	0,01

Allo scopo di consentire, durante il giorno, proiezioni di film, filmini ecc., i locali ad uso didattico dovranno essere, muniti di dispositivi per attenuare il livello di illuminazione naturale; alcuni locali dovranno essere predisposti per un completo oscuramento.

CONDIZIONI TERMOIGROMETRICHE E PUREZZA DELL'ARIA

I fatti o i fenomeni che influiscono sull'abitabilità e sul confort dell'ambiente, devono rispondere ai requisiti che riguardano: l'equilibrio e la conservazione dei fattori fisici dai quali dipende il benessere termoisometrico; la conservazione della purezza chimica e microbiologica dell'aria. Per le condizioni termoisometriche si devono rispettare le norme vigenti per il contenimento dei consumi e per la certificazione energetica (vedi capitolo 2).

CONTROLLO DELLA TENUTA PNEUMATICA

Il controllo della tenuta pneumatica deve essere eseguito in modo da accertare che in un ambiente normalizzato la parete normalizzata da sottoporre a prova, limitatamente alla porzione opaca con esclusione di infissi ma comprendente gli eventuali giunti tra elementi opachi contigui, assicuri una tenuta tale che sia possibile mantenere una pressione statica di 50 mm di colonna di acqua con un ventilatore di portata non superiore a 10 m³/h per ciascun m² di superficie frontale della parete considerata.

CONTROLLO DELLA TENUTA ALLA PIOGGIA

Per il controllo della tenuta e impermeabilità alla pioggia la norma prescrive:

- le chiusure esterne verticali ed orizzontali, considerate nel loro complesso e particolarmente nei giunti e negli infissi, devono essere realizzate in modo da assicurare che non possano avvenire attraverso di esse infiltrazioni di acqua di pioggia;
- il controllo in laboratorio della tenuta alla pioggia dovrà accertare che l'acqua di pioggia che scorre su una porzione di chiusura esterna verticale opaca, comprendente eventuali giunti ma con esclusione di infissi, non possa attraversare la parete, anche quando sulla faccia bagnata si esercita una pressione statica di 50 mm di colonna di acqua;
- per quanto riguarda l'impermeabilità all'acqua, la chiusura sottoposta per un periodo di 3 ore alla prova sopradescritta non dovrà presentare un aumento di peso superiore al 5 per cento di quello determinato prima della prova.

PROVE DI TENUTA ALL'ARIA

Per la tenuta all'aria la norma prescrive che la chiusura esterna considerata nel suo insieme (comprendente, cioè, tutti gli elementi che la compongono quali infissi, giunti, ecc.) debba assicurare nel locale, delimitato da chiusure considerate stagne e dalla chiusura in esame, una tenuta tale che sia possibile realizzare nell'ambiente anzidetto una pressione statica di 10 mm di colonna d'acqua con un ventilatore di portata non superiore a 10 m³/h per ciascun m² di superficie frontale della chiusura considerata.

PROTEZIONE DELLE CHIUSURE VERTICALI O ORIZZONTALI TRASPARENTI

Tutte le superfici trasparenti dovranno essere dotate di schermature esterne ventilate, mobili, realizzate in maniera da garantire che il flusso termico entrante dovuto all'irraggiamento solare, diretto e diffuso, non risulti superiore al 30 per cento di quello che si verificherebbe in totale assenza della schermatura.

 PUREZZA DELL'ARIA

Dovrà essere assicurata l'introduzione di portate d'aria esterna mediante opportuni sistemi, come specificato nella tabella 1.15.

Tabella 1.15. Valori delle portate d'aria esterna

Ambienti adibiti ad attività didattica collettiva o attività di gruppo	Coefficienti di ricambio
Scuole materne ed elementari	2,5
Scuole medie	3,5
Scuole secondarie di secondo grado	5
Altri ambienti di passaggio, uffici	1,5
Servizi igienici, palestre, refettori	2,5

 CONDIZIONI DI SICUREZZA

Le condizioni di sicurezza riguardano principalmente: la stabilità degli edifici in condizioni normali o eccezionali (terremoti, alluvioni, ecc.); la sicurezza degli impianti, sia nell'uso che nella gestione; la difesa dagli agenti atmosferici; la difesa dai fulmini; la difesa dagli incendi; la difesa microbiologica. Per quanto concerne la stabilità, i sovraccarichi accidentali (carichi variabili Q, secondo la NTC 2008) da adottare sui solai e coperture sono da ritenersi come in tabella 1.16.

Tabella 1.16. Valori dei carichi variabili secondo la NTC 2008

Ambienti	Carico variabile kN/m ²
Coperture impraticabili	1,50
Laboratori con attrezzatura leggera	5,00
Laboratori con attrezzatura pesante	10,00
Palestre	5,00
Scale e terrazze praticabili	4,00
Tutti gli altri locali	3,50

Per la protezione contro gli incendi si dovranno osservare le disposizioni vigenti. Tutti gli edifici dovranno essere muniti di impianto per la protezione dai fulmini. Le sorgenti luminose di illuminazione artificiale poste in laboratori, officine, palestre ecc. dovranno essere opportunamente protette dai pericoli derivanti da urti, vibrazioni, vapori, esalazioni corrosive, ecc.

 CONDIZIONI D'USO

Le condizioni di abitabilità devono essere raggiunte e conservate, compatibilmente con le esigenze da assolvere, con manovre semplici per il funzionamento

di apparecchi, per l'apertura o chiusura di finestre, per l'inclusione o l'esclusione di impianti e di sistemi di ventilazione ecc.

All'atto della consegna dell'edificio l'ente che ha provveduto alla costruzione dovrà fornire alla scuola una particolareggiata descrizione sulla gestione degli impianti.

1.4. Soluzioni conformi di edilizia scolastica

Nelle figure da 1.13 a 1.21 sono riportate alcune soluzioni, conformi alle norme vigenti, di locali e spazi dell'edilizia scolastica. Si ringraziano gli allievi Barbieri Vita Linda, Luongo Simona e Nebbioso Fabrizio del corso di laurea magistrale in Ingegneria edile-architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, per l'attività di collaborazione svolta nella elaborazione delle soluzioni conformi riportate nelle figure 1.13÷1.21.

1.4.1. Unità pedagogica per attività normale

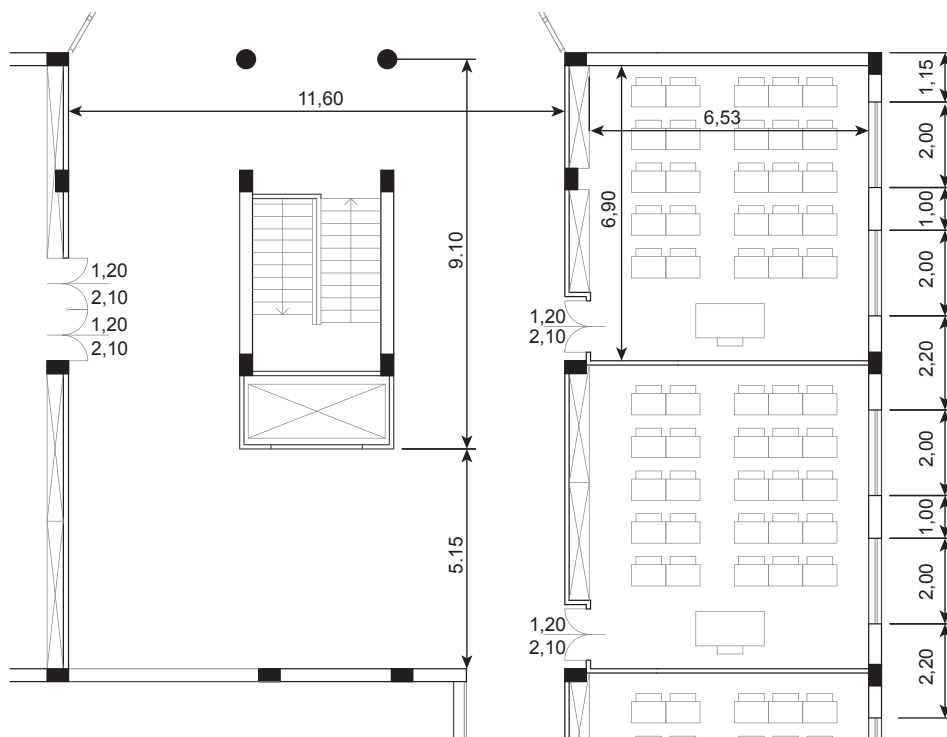


Figura 1.13. Unità pedagogica per attività normale

L'unità pedagogica misura 45 m² ed ospita 25 allievi oltre al docente; si apre sullo spazio connettivo servito dal gruppo scala-ascensore. Nel caso in cui le unità pedagogiche siano servite da corridoio, questo dovrà avere una larghezza non minore di 2,00 m. Se il corridoio è attrezzato con attaccapanni la larghezza dovrà essere non minore di 2,50 m. Le porte di accesso all'unità aprono, nel verso di fuga, in sede propria in modo da non costituire ostacoli per la via di fuga in caso di panico. Ogni unità è servita da una parete attrezzata con armadietti a servizio dei gruppi di studio. La disposizione dei tavoli di studio è tale da ricevere la luce esterna dal lato sinistro. In questo modo il braccio dell'allievo che scrive non farà ombra sul tavolo. Gli infissi esterni devono poter essere oscurati per consentire proiezioni e presentazioni in PowerPoint e quant'altro.

1.4.2. Palestra di tipo B2

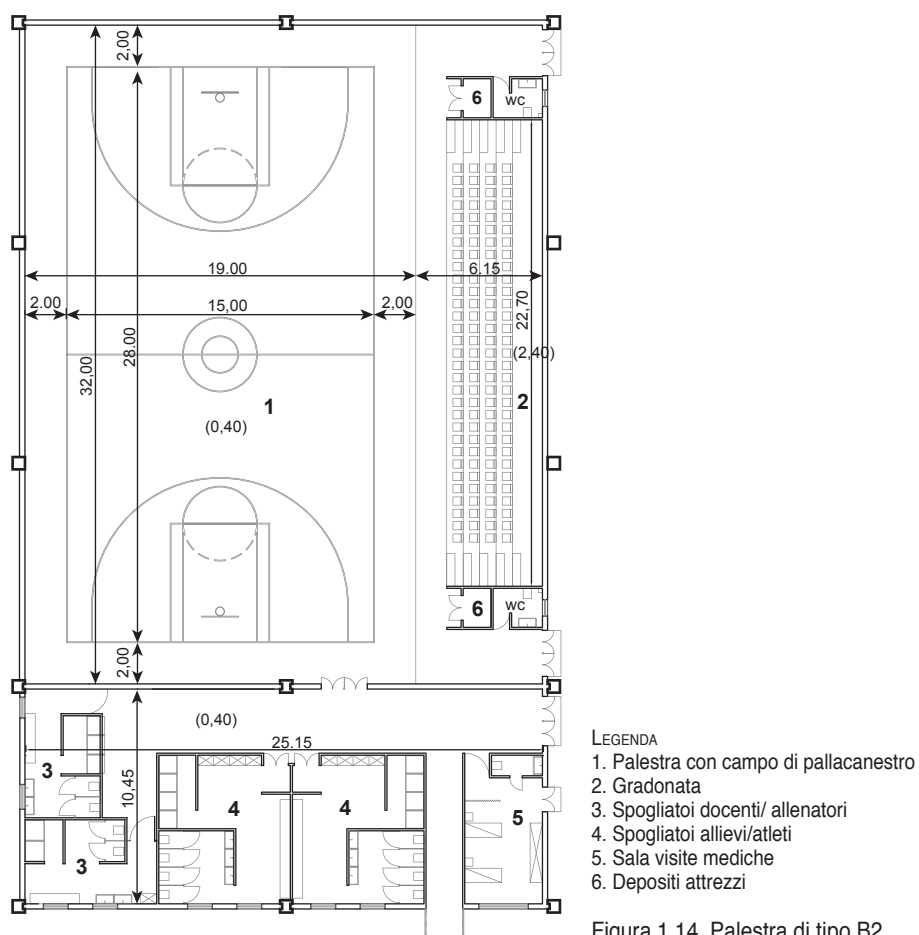


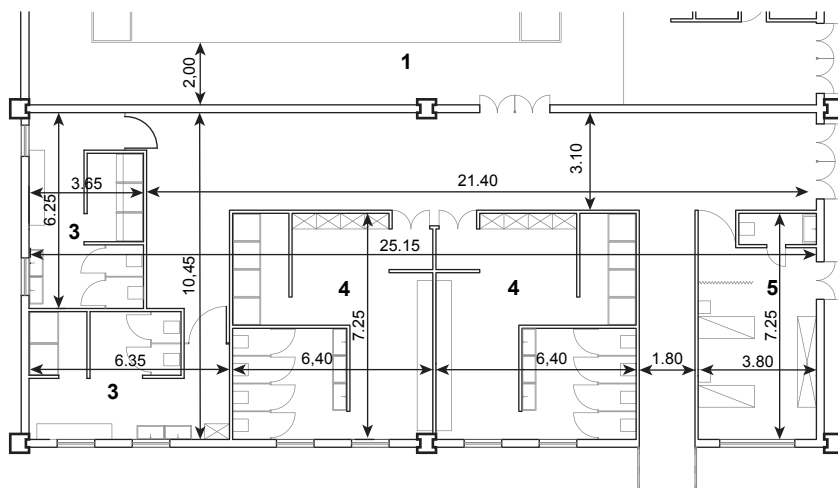
Figura 1.14. Palestra di tipo B2

La palestra mostrata nella figura 1.14 è di tipo B1, con l'aggiunta di 150 m² per ospitare la gradonata. La palestra (1) è attrezzata con un campo regolamentare per pallacanestro che misura 15,00 × 28,00 m oltre ad una fascia larga 2,00 m di proiezione. La palestra è servita da due piccoli depositi (6) per attrezzi e si sviluppa su una superficie di circa 600,00 m².

La gradonata (2) misura 6,15 × 22,70 m, per una superficie di circa 139,00 m², è servita da due WC per gli spettatori, si sviluppa per 139,00 m² ed è capace di ospitare circa 120 spettatori. Due accessi indipendenti consentono l'affluenza degli spettatori alla gradonata senza consentire la comunicazione con gli spazi più propriamente didattici della scuola.

Completano la palestra gli spogliatoi (3, 4) e la sala per visite mediche (5) che occupano una superficie che misura 25,15 × 10,45 m. Complessivamente gli spogliatoi si sviluppano su una superficie di 263 m² circa e sono collegati direttamente con il campo della palestra. La palestra e gli spogliatoi hanno accessi indipendenti in previsione di uso in orario non scolastico della struttura sportiva. In questo modo la palestra diventa un'attrezzatura ed un riferimento per il quartiere. Tutte le porte si aprono nel verso della fuga. La palestra presenta un'altezza libera di 7,20 m.

1.4.3. Spogliatoi per palestra



LEGENDA

1. Corpo palestra; 3. Spogliatoi docenti/allenatori; 4. Spogliatoi allievi/atleti; 5. Sala visite mediche

Figura 1.15. Gruppo spogliatoi per palestra

Il gruppo spogliatoio per la palestra (figura 1.15) si articola in due spogliatoi (3) per i docenti ovvero per gli allenatori; due spogliatoi (4) per gli allievi ovvero per due squadre di atleti; una sala per visite mediche e un disimpegno collegato alla palestra ed agli spogliatoi.

Gli spogliatoi per docenti/allenatori misurano mediamente 24,00 m² e sono attrezzati con docce e WC. Le docce sono servite da antidoccia singola per gli abiti e l'asciugamano. Gli spogliatoi per allievi/atleti misurano 46,00 m² circa e sono attrezzati con WC e docce con antidoccia.

Gli spogliatoi sono collegati direttamente alla palestra con uno spazio connettivo, del tipo a corridoio, largo 3,10 m. Allo spazio connettivo si accede dalla scuola e, separatamente, dall'esterno per consentire il funzionamento della palestra in orario extra scolastico.

Collegato con gli spogliatoi, in modo da poterne utilizzare le attrezzature, è disposta la sala per visite mediche e primi interventi infermieristici in caso di incidente durante l'attività ginnica o durante l'attività agonistica.

La sala medica è collegata direttamente con l'esterno per consentire l'avvicinamento di un'eventuale autoambulanza.

La sala medica misura 3,80 × 7,25 m, con una superficie di 27,50 m² circa. La sala è attrezzata con due lettini per visite mediche e con un locale igienico, con lavabo e WC, per il personale medico.

1.4.4. Servizi igienici

I servizi igienici (figura 1.16), separati per sesso, sono affiancati per contenere l'incidenza dei costi degli impianti tecnologici (idrico, smaltimento acque nere, ecc.). In ogni spazio per servizi igienici è presente un WC per portatori di handicap.

Ogni servizio igienico è attrezzato, nel caso in esame, con tre lavabi e tre box WC. Tutte le porte aprono all'esterno, nella direzione della via di fuga. Ogni servizio igienico misura 5,05 × 7,10 m, con una superficie di 35,85 m², circa. I box per WC misurano 1,20 × 1,20 m, con una superficie di 1,45 m², circa, e sono definiti al contorno da pareti alte non più di 2,30 m e non meno di 2,10 m. Le porte sono sollevate dal pavimento e munite di chiusura dall'interno ma si possono aprire dall'esterno in caso di emergenza.

L'antiwc è illuminato ed areato direttamente dall'esterno. Una parete attrezzata, di separazione dei due locali, contiene gli impianti a servizio dei locali. Il WC per i portatori di handicap misurano 2,10 × 2,10 m, con una superficie di 4,40 m², e sono attrezzati con lavabo e WC.

La dimensione della porta e gli spazi liberi consentono l'accesso e la movimentazione di una sedia a ruote.

1.4.5. Servizi igienici. Seconda soluzione

Nella soluzione presa in esame nella figura 1.17 il WC per i portatori di handicap è unico ed ubicato all'esterno dei due locali che ospitano i servizi igienici per maschi e femmine. La norma vigente non fissa più le dimensioni minime del box ma impone di verificare che sia possibile l'ingresso e la movimentazione della sedia a ruote.

1.4.6. WC per portatori di handicap

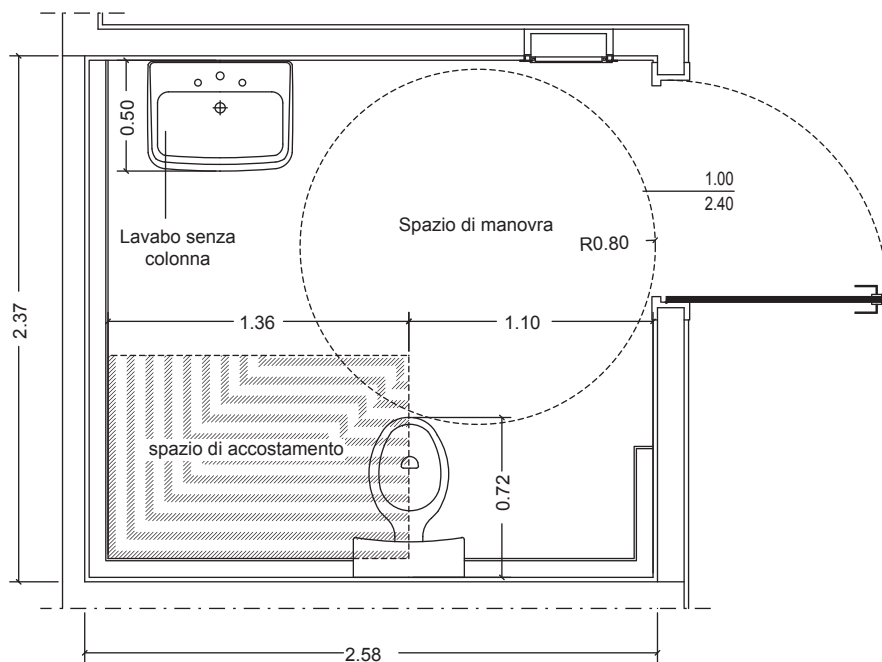


Figura 1.18. Servizio igienico per portatore di handicap

La porta di accesso (figura 1.18), con 85 cm di luce netta minima, deve avere l'apertura verso l'esterno. L'asse della tazza deve essere posto ad una distanza minima di 140 cm dalla parete laterale sinistra e ad una distanza minima di 40 cm dalla parete laterale destra. Il lavabo deve essere posto preferibilmente nella parete opposta a quella cui è fissata la tazza WC, lateralmente all'accesso. Il piano lavabo deve essere posto ad un'altezza di 80 cm dal pavimento. Il lavabo deve essere del tipo a mensola. Le tubazioni di carico e scarico dell'acqua devono essere sotto traccia per evitare ingombri sotto il lavabo. La rubinetteria deve avere il comando a leva. Il locale deve essere provvisto di un corrimano orizzontale continuo fissato lungo l'intero perimetro del locale (escluso lo spazio interessato dal lavabo e dalla por-

avviene in tre fasi: dall'ambiente interno al paramento interno della parete, dal paramento interno al paramento esterno della parete, dal paramento esterno della parete all'ambiente esterno. Nella prima fase lo scambio avviene tra l'ambiente interno ed il paramento interno della parete per convezione e irraggiamento, ed è regolato dalla relazione:

$$\Phi_1 = \alpha_i \cdot S \cdot (T_i - \theta_i) \quad (2.1)$$

dove

Φ_1 = flusso termico (W)

α_i = coefficiente di adduzione superficiale interno (W/m² K)

S = superficie della parete (m²)

T_i = temperatura interna (°C)

θ_i = temperatura del paramento interno della parete (°C).

Dal punto di vista fisico il coefficiente di adduzione superficiale interno α_i esprime il flusso termico che si istaura, tra l'ambiente interno ed il paramento interno della parete, per ogni metro quadrato di parete e per ogni grado di salto termico. Il coefficiente α_i non dipende dal materiale della parete ma dalla direzione del flusso termico (orizzontale, verticale verso l'alto e verticale verso il basso) e dalla velocità dell'aria che lambisce la parete. L'influenza della velocità dell'aria sul valore di α_i risulta sensibile per valori della velocità superiori ai 4 m/s; considerato, pertanto, che nell'ambiente confinato la velocità dell'aria è certamente inferiore ai 4 m/s, si può ritenere α_i dipendente soltanto dalla direzione del flusso termico. I valori di α_i sono riportati nella tabella 2.4. L'inverso del coefficiente di adduzione superficiale interno, $1/\alpha_i$ (m² K/W), rappresenta la resistenza superficiale interna. Nella seconda fase, lo scambio avviene tra il paramento interno ed il paramento esterno della parete per conduzione, ed è regolato dalla relazione

$$\Phi_2 = \frac{\lambda_i}{s_i} \cdot S \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (2.2)$$

dove

Φ_2 = flusso termico (W)

λ_i = coefficiente di conduttività termica del materiale (W/m K)

s_i = spessore della parete (m)

S = superficie della parete (m²)

θ_i = temperatura del paramento interno della parete (°C)

θ_e = temperatura del paramento esterno della parete (°C).

Dal punto di vista fisico il coefficiente di conduttività termica esprime il flusso

piante adatte. Attraverso il ricorso ad una copertura di tipo intensivo, è possibile creare veri e propri giardini pensili. In questo caso le piante hanno differenti esigenze nei confronti dell'umidità del terreno: le tecniche più usate, oltre ad assicurare l'eliminazione dell'acqua in eccesso, prevedono un sistema di alimentazione automatico che permette di riportare l'acqua di riserva al livello desiderato. Con l'installazione di un dispositivo per l'irrigazione automatica, si può avere una disponibilità d'acqua costante e abbondante, non solo ad uso delle piante più esigenti, ma anche per la realizzazione sul tetto di zone paludose e acquitrinose, con piante acquatiche che possono svilupparsi in maniera naturale. Un tetto fiorito può così trasformarsi in un vero giardino perfettamente calpestabile, con zone relax arredate, sentieri, pergole, sistemi paravento, stagni e laghetti, orti, aiuole decorative, arbusti, siepi ed alberi, alti fino a 4-5 metri (figura 2.11).

LEGENDA

1. Inverdimento pensile (grossi arbusti, siepi, alberatura, ecc.); 2. Miscela di substrato SEIC per inverdimenti intensivi; 3. Telo filtrante MediFilter MF 1; 4. Strato di accumulo, drenaggio e aerazione MediDrain MD 60, spessore c.a. 6 cm, tamponato con lapillo no-crush; 5. Feltro di protezione e accumulo MediPro MPHS; 6. Membrana di impermeabilizzazione antiradice HarpoPlan ZD UV; 7. Strato di separazione: geotessile; 8. Isolamento termico (sp. specificato da capitolato); 9. Barriera vapore; 10. Piano di copertura (pendenza min >1%)

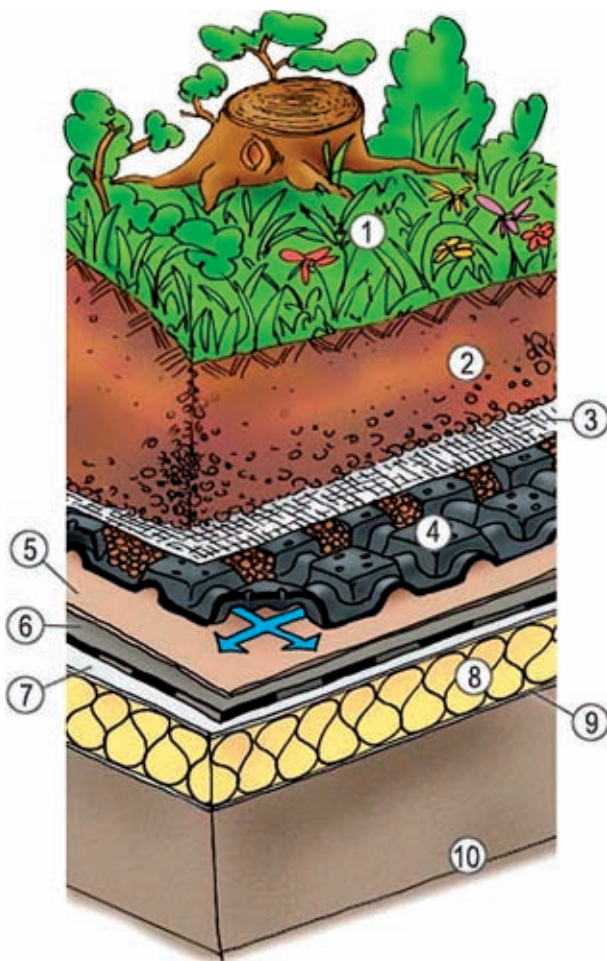


Figura 2.11
Verde pensile intensivo leggero – sistema SEIC della Harpo group (disegno di Harpo Spa – divisione seic verdepensile)

I *benefici delle coperture a verde continue* sono numerosi e, in particolare, si rintracciano:

- nel merito del risparmio energetico dato che il tetto verde è in linea con le rinnovate esigenze ecologiche. I tetti in nudo asfalto, o con guaine bituminose o plastiche, raggiungono in estate temperature superficiali sino agli 80 °C, di notte si raffreddano sino a 20 °C, con escursioni termiche di ben 60 °C; durante l'inverno il raffreddamento tocca valori prossimi ai -20°C, portando le escursioni termiche nel corso dell'anno quindi ai 100 °C e oltre. I tetti verdi consentono di registrare, invece, scarti di temperatura più misurati, con un massimo estivo di 25 °C e un minimo invernale di soli -10 °C, riducendo così l'escursione termica annuale a soli 35 °C e quella giornaliera a 10 °C. Viene ridotta la dispersione del calore durante il periodo invernale, mentre nel periodo estivo si hanno benefici grazie all'azione coibentante e alla maggiore inerzia termica;
- relativamente alla regimazione delle acque piovane, il verde pensile, grazie all'elevata capacità di accumulare, di trattenere e di restituire in percentuale ridotta l'acqua all'ambiente, fornisce un utile contributo alla regimazione idrica globale. I benefici derivano dallo sgravio del carico idraulico sulla rete di smaltimento e dall'evapotraspirazione che si verifica nel sistema pensile-vegetazione. La capacità di regimazione dipende dalle caratteristiche del sistema adottato e, in particolare, dal tipo di substrato e di strato drenante;
- nel merito del miglioramento del clima, occorre osservare che negli ambienti urbanizzati è presente un'alta concentrazione di gas inquinanti nell'atmosfera: all'interno del tessuto urbano scarseggia la vegetazione in grado di trasformare, con il naturale processo di fotosintesi, l'anidride carbonica in ossigeno. I tetti verdi, se presenti in proporzione adeguata, sono in grado di concorrere a risolvere il problema, elevando la quantità di massa biologica delle aree. I valori di ossigeno prodotti sono da collegare al tipo di vegetazione utilizzata: il verde pensile estensivo copre maggiori superfici ma la resa al metro quadro è minore rispetto alla tipologia intensiva;
- relativamente alla presenza di polveri nell'aria, la presenza di coperture a verde pensile determina una diminuzione di polveri nell'aria grazie alla riduzione dei movimenti ascensionali delle masse d'aria. Tali movimenti sono dovuti al surriscaldamento di superfici che, trasmettendo il calore all'aria, originano delle correnti termiche in grado di mantenere in movimento significativo quantità di polvere. Il tetto verde apre una via di fuga allo smog, sfruttando la minore temperatura del verde estensivo e la conseguente ricaduta di masse d'aria fresca che tendono a spostare l'aria sporca stagnante. Non è trascurabile, inoltre, l'effetto filtrante che le masse vegetali hanno sull'aria e la loro capacità di far sedimentare parte della polvere sospesa;

- nel merito delle onde elettromagnetiche, uno studio dell'Istituto Universitario Militare di Monaco di Baviera ha dimostrato che i tetti verdi con uno spessore di 15 cm assorbono il 99%, circa, delle onde elettromagnetiche emesse dai ripetitori per i cellulari.

2.9.3. La parete ventilata

La norma UNI 11018 definisce la ventilata come un tipo di facciata a schermo avanzato in cui, per migliorare le complessive prestazioni termo energetiche e in funzione delle necessità stagionali e giornaliere, la progettazione dell'intercapedine tra il rivestimento e la parete permetta all'aria di fluire in modo sia naturale che artificialmente controllato grazie all'effetto camino. La parete ventilata, detta anche facciata ventilata, è un particolare tipo di rivestimento esterno della tamponatura che prevede l'applicazione a secco, sulla superficie esterna dell'edificio, di pannelli di opportuno spessore, non strettamente aderenti alla tamponatura. La parete ventilata è caratterizzata dalla posizione dello strato di rivestimento esterno distanziato dalla tamponatura per formare un'intercapedine di qualche centimetro. In questo modo, si attiva una circolazione naturale dell'aria nell'intercapedine, per effetto del moto convettivo prodotto dalla presenza di aperture disposte alla base e alla sommità della facciata. Il sistema della parete ventilata permette di ottenere elevata qualità estetica e notevoli vantaggi, sia nelle nuove costruzioni

LEGENDA

1. cemento armato; 2. intonaco; 3. lamiera in rame; 4. tavolato; 5. isolante termico; 6. infisso; 7. lamiera verniciata; 8. canaletto raccolta condensa; 9. coprigiunto in rame; 10. mastice; 11. weatherbar; 12. lamiera in rame verniciata; 13. ventilazione; 14. isolante termico; 15. lastra di masonite; 16. intercapedine; 17. ceramica bianca di rivestimento.

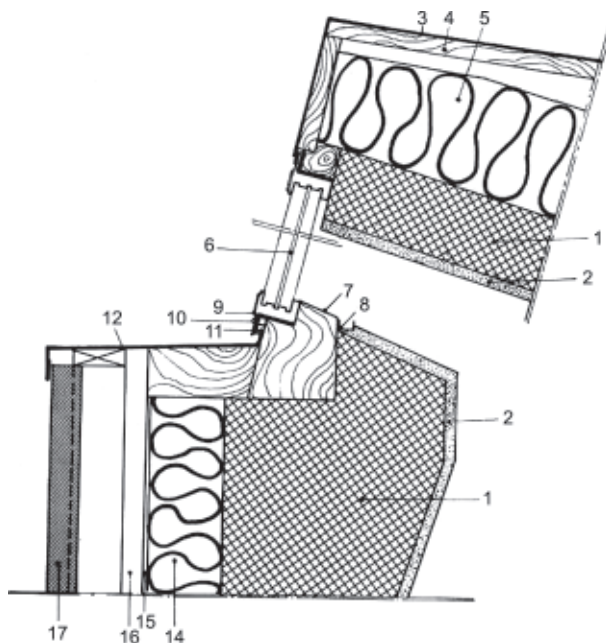
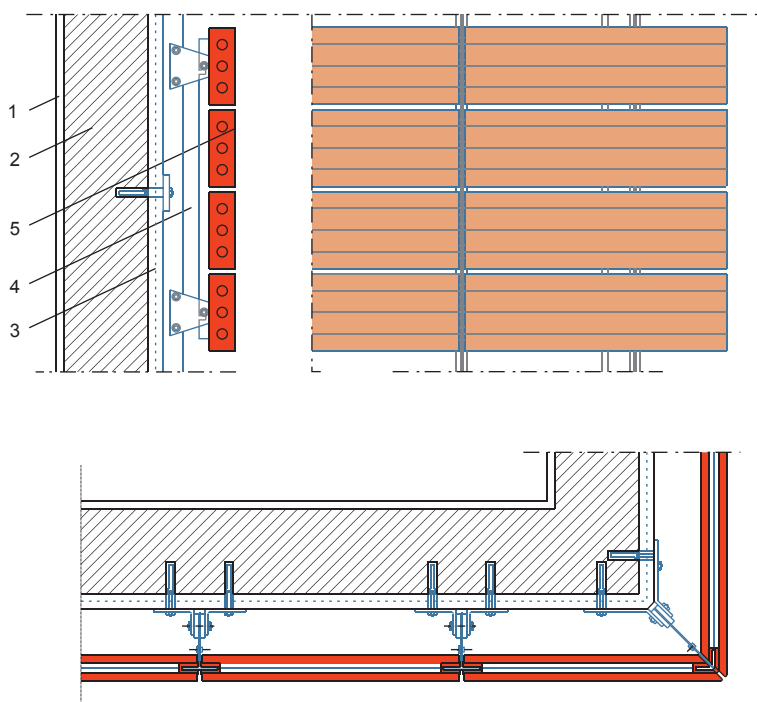


Figura 2.12
Alvar Aalto, *Biblioteca di Rovaniemi. Prototipo di parete ventilata* (da R. Iovino, F. Fascia – Alvar Aalto. *Architettura e Tecnica*, CLEAN Edizioni, Napoli 1992)

che nelle ristrutturazioni di edifici esistenti, quali: isolamento termo-acustico; protezione dell'edificio dall'azione del vento e della pioggia; protezione dell'edificio dalle radiazioni solari. Anche se i primi tipi di parete ventilata sono stati già applicati nei primi decenni del Novecento, ad esempio da Alvar Aalto (figura 2.12), nell'ambito dell'architettura contemporanea la parete ventilata costituisce un sistema di costruzione complesso, caratterizzato da uno strato isolante fissato sulla paramento esterno della tamponatura e da uno strato di rivestimento applicato all'edificio tramite sistemi di ancoraggio (figura 2.13). La parete ventilata può essere vista come una struttura a sbalzo in quanto il paramento esterno viene fissato alla struttura principale tramite staffe e sistemi di ancoraggio creando una intercapedine che permette la ventilazione che raggiunge il suo massimo grado di efficienza a seguito di un'accurata progettazione.



LEGENDA

1. intonaco interno; 2. tamponatura; 3. strato coibente; 4. sistema di ancoraggio; 5. rivestimento esterno

Figura 2.13. Una moderna parete ventilata

L'uso nelle costruzioni della parte ventilata garantisce molteplici vantaggi:

- la ventilazione, attiva nell'intercapedine, consente di allontanare il vapor d'acqua, che dall'interno permea attraverso la tamponatura, evitando la condensa sul paramento esterno dello stato coibente;

- una corretta progettazione dello strato coibente impedisce la formazione di condensa sia sul paramento interno della tamponatura, sia negli spazi interstiziali (vedi paragrafo 2.8 e paragrafo 2.8.1);
- la certezza che non si forma condensa interstiziale consente di non installare una barriera al vapore e, quindi, la tamponatura può respirare evitando l'aumento del grado igrometrico ambientale;
- in condizioni invernali, la coibentazione a cappotto riduce notevolmente le dispersioni di calore attraverso i ponti termici migliorando l'indice di prestazione energetica per riscaldamento;
- la coibentazione a cappotto protegge gli elementi strutturali, sia in cemento armato che in acciaio, presenti nell'involucro evitando, o riducendo notevolmente, le deformazioni termiche;
- la ventilazione attiva nell'intercapedine contribuisce a garantire condizioni di igiene nell'ambiente interno evitando la permeabilità attraverso la tamponatura di gas presenti nell'aria;
- il movimento dell'aria nell'intercapedine contribuisce ad asciugare eventuali infiltrazioni d'acqua proteggendo l'ambiente interno;
- la scelta progettuale di specifici materiali con cui realizzare il rivestimento esterno (pannelli compositi in alluminio, laminati plastici, pannellature ceramiche o laterizie, vetro, pannelli metallici, ecc.), consente di raggiungere risultati estetici particolari;
- dal momento che si interviene dall'esterno, sono anche evitati disagi agli utenti dell'edificio per il quale è richiesto l'intervento;
- nel periodo estivo la parete ventilata crea uno scudo termico all'edificio su cui è applicata, proteggendolo dal calore, in particolare sulle pareti a ovest e a sud, grazie anche alla circolazione costante di aria a temperatura ambiente che lambisce la superficie esterna dell'isolante.
- con la parete ventilata si realizzano tamponature ad alta inerzia termica, che permettono due effetti positivi:
 - in condizioni estive: sfasamento dell'onda di calore, ossia il calore penetra all'interno dell'ambiente in quantità ridotta e in ore in cui la temperatura interna dell'ambiente è meno elevata;
 - in condizioni invernali: maggior tempo di raffreddamento della parete.
- la parete ventilata, infine, permette di rientrare nelle norme sull'isolamento acustico (legge quadro 447), ricordando che ad un incremento del potere fonoisolante di 6 dB corrisponde un dimezzamento del livello sonoro nel locale disturbato.

La parete ventilata, infatti, essendo un sistema a più strati con l'isolamento termico continuo, genera un maggior assorbimento del rumore ed elimina facilmente i ponti acustici, più penalizzanti dei ponti termici.



Figura 2.14. Mario Botta. Parete ventilata del MART di Desenzano

2.9.4. Sistemi costruttivi con PCM, Phase Changing Material

I materiali innovativi attualmente impiegati in ambito edilizio si possono raggruppare in due principali famiglie: i *materiali a prestazioni fisse*, le cui proprietà finali sono selezionate e predeterminate mediante particolari conformazioni chimico-fisiche, e i *materiali attivi* che rappresentano la frontiera più avanzata dell'innovazione, come quelli a cambiamento di fase (PCM) che consentono la regolazione dell'inerzia termica¹⁹ e il miglioramento delle condizioni estive degli involucri.

I PCM sono dei materiali in grado di assorbire energia termica e di restituirla nel tempo all'esterno, senza che venga innalzata la loro temperatura. In effetti, i PCM

¹⁹ Per inerzia termica si intende la capacità di un materiale o di una struttura di variare più o meno lentamente la propria temperatura come risposta a variazioni di temperatura esterna o ad una sorgente di calore/raffreddamento interno; l'inerzia termica dell'edificio è data da materiali massivi, più o meno tradizionali come calcestruzzo, laterizi, pietra che sono interessati dal "calore sensibile" ovvero quella quantità di calore che, fornita ad un qualsiasi oggetto (solido, liquido o gassoso che sia), è responsabile di un suo aumento di temperatura; al contrario, se tale quantità viene sottratta, la temperatura del corpo in questione diminuisce.

sono accumulatori di calore²⁰ che, sfruttando il fenomeno fisico della transizione di fase, riescono ad assorbire i flussi energetici termici latenti immagazzinando molta energia. Mantenendo costante la propria temperatura, questi materiali restituiscono calore all'esterno, non appena la temperatura esterna si abbassa. I *Phase Changing Materials* sono dei veri *smart materials*, essendo in grado di modificare il proprio comportamento in base alle condizioni al contorno. In sintesi, se viene fornito o tolto calore ai *Phase Changing Materials*, questi cambiano di fase (da solido a liquido o da liquido a vapore, e viceversa), rimangono a temperatura costante ed accumulano o rilasciano tale calore (definito calore latente) finché tutto il materiale non si è trasformato. Il loro comportamento si può dunque dividere in due fasi: una fase di carico, in cui all'aumentare della temperatura esterna accumulano calore in maniera isoterma fino al raggiungimento della soglia di fusione quando si ha il completo passaggio di fase, e una fase di scarico, in cui al decrescere della temperatura rilasciano il calore accumulato fino a scaricarsi completamente, tornando allo stato solido.²¹

I materiali a cambiamento di fase presenti nel mercato si distinguono in due categorie:

- quelli di natura organica (paraffine²² e acidi grassi²³);
- quelli di natura inorganica (sali idrati²⁴).

²⁰ L'accumulo termico è garantito da materiali a cambiamento di fase, che funzionano proprio come accumulatori di "calore latente", ovvero quella quantità di calore che, fornita ad un oggetto, non provoca un suo aumento di temperatura, ma porta ad un suo cambiamento di fase, ossia da solido lo fa diventare liquido, da liquido lo fa diventare gassoso, ecc.

²¹ La NASA negli anni '60 ha sviluppato il primo materiale a cambiamento di fase in grado di essere utilizzato nelle tute degli astronauti e di contenere gli enormi sbalzi termici e flussi di calore ai quali si è sottoposti nello spazio. Negli anni successivi, grazie anche alla crisi del petrolio degli anni '70, l'interesse per queste tipologie di prodotti crebbe notevolmente e si aprirono nuove prospettive per il loro impiego. Attualmente, i PCM rappresentano anche nel settore dell'edilizia una soluzione tecnologica innovativa, dato che rappresentano un interessante ed intelligente sistema per smussare le fluttuazioni giornaliere della temperatura ambiente e quindi ridurre i consumi energetici. Possono essere utilizzati sia per migliorare le performance di soluzioni impiantistiche (sistemi di riscaldamento/raffreddamento, collettori solari, ecc.) sia nell'involucro degli edifici.

²² Le paraffine sono composti organici che a temperatura ambiente si presentano con una consistenza simile alla cera; sono caratterizzati da una struttura molecolare lineare, e il punto di fusione varia dai 6 °C a 80 °C. Le paraffine presentano sia vantaggi (semplici da usare, non corrosivi, non presentano fenomeni di sottoraffreddamento e sono riciclabili), sia svantaggi (in genere più costosi, più basso valore del calore latente, alto valore di variazione di volume in cambiamento di fase, possono essere combustibili).

²³ Gli acidi grassi hanno il calore latente di fusione comparabile a quello delle paraffine e come queste ultime possono compiere numerosi cicli senza modificare le loro proprietà ed hanno un costo molto elevato, più del doppio rispetto alle paraffine.

²⁴ I sali idrati sono composti inorganici; il punto di fusione va da 0 °C ai 120 °C e il costo risulta spesso inferiore a quello delle paraffine. Anche i sali idrati presentano sia vantaggi (economicità, buon valore del calore latente, valore fisso di temperatura di passaggio di fase, non infiammabile,

Per rendere i PCM utilizzabili, questi vengono microincapsulati e poi forniti sotto forma di polveri e granulati (figura 2.15). Le applicazioni più comuni sono con capsule (figura 2.16) inserite all'interno di pannelli molto resistenti anche con spessori ridotti.



Figura 2.15. Paraffine in polvere



Figura 2.16. Paraffine in capsule

In edilizia i PCM possono essere impiegati nell'involucro degli edifici, sia per nuove costruzioni che nella riqualificazione energetica di edifici esistenti, ad esempio nell'intonaco, nell'isolante, ma anche negli infissi.

Studi sperimentali condotti sui materiali PCM hanno dimostrato che l'applicazione in zone climatiche calde, ad esempio nelle aree del centro-sud dell'Italia, consente di ridurre il consumo energetico e le emissioni di anidride carbonica di circa il 20% e migliora il comfort abitativo in estate e in inverno. A Londra e a Parigi si è arrivati a un contenimento di emissioni quantificato in circa il 30%. Queste applicazioni hanno dimostrato inoltre che è possibile ridurre il consumo energetico di circa il 70%, abbinando i PCM a un ulteriore strato di isolamento termico.

Nell'ambito dell'intervento di recupero e di riqualificazione del quartiere Brunck BASF a Ludwigshafen (Germania) è stato ristrutturato e risanato dal punto di vista energetico un edificio per otto nuclei familiari. L'isolamento esterno con lastre in Neopor di 30 cm sulle facciate e di 60 cm sulle coperture, la ventilazione meccanica con recupero di calore dell'85% e l'adozione di infissi con tripli vetri hanno consentito di realizzare la Casa 3 Litri, ovvero un edificio nel quale

biodegradabile e riciclabile), sia svantaggi (bisogno di accurata preparazione, bisogno di additivi per stabilità a lungo termine, possibilità di corrodere alcuni materiali).

non si superano i 30 kWh/m² anno di consumo energetico. Nel mercato edile è possibile reperire anche lastre di gesso contenenti PCM in microcapsule; in tali lastre sono state introdotte delle microcapsule PCM appositamente sviluppate, che compiono il cambio di stato di aggregazione proprio nel campo di benessere dell'uomo (23 °C o 26 °C). Se la temperatura ambientale supera questi valori, le lastre assorbono il calore in eccesso. Quando la temperatura cala nuovamente, il calore viene reso all'ambiente. Questo genera una regolazione naturale del clima interno senza impiego di altre fonti energetiche; garantiscono ininterrottamente una temperatura interna equilibrata sia d'estate, che d'inverno. Sulla tamponatura esistente vengono applicati con malta adesiva i pannelli di Neopor rifiniti, successivamente, con intonaco retinato con armatura in fibra di vetro. Pannelli Neopor da 10 cm di spessore riducono il coefficiente di trasmittanza termica U a circa 0,29 W/m²K.

Costituiscono esempi significativi dell'applicazione della tecnologia PCM: la Villetta residenziale, Ebnat Kappel, in Svizzera (figura 2.17), la Casa plurifamiliare a Spreitenbach, in Svizzera (figura 2.18), e la Villa privata a Novaggio, nel Canton Ticino (figura 2.19).



Figura 2.17. Villetta residenziale, Ebnat Kappel, Svizzera

La villetta Ebnat Kappel, progettata dall'architetto Dietrich Schwarz, ha vinto il Premio Solare nel 2001. L'edificio, con un solo piano fuori terra, è costruito interamente in elementi lignei prefabbricati, con una facciata a Sud con il 38% vetrato e il 62% costituito da sistemi in cui sono state inserite cassette di paraffina, accumulatrici di calore. Grazie all'impiego di un accumulatore di paraffina, la parete solare della casa di Ebnat-Kappel è leggera e ha uno spessore di soli 106 mm. Essa è costituita da una doppia vetrata composta da due lastre di vetro (6 + 29 + 6 mm) e tra queste si trova una lastra di plexiglas prismatico che riflette la luce diretta all'esterno quando l'altezza del sole supera i 40 gradi (la luce diretta,

Il comma 3 dell'art. 2, inoltre, prevede uno stretto rapporto tra il titolare dell'attività, il progettista edile ed il progettista antincendio, in quanto l'individuazione dei valori posti a base delle scelte progettuali sono a carico dei predetti progettisti, mentre il mantenimento delle condizioni che determinano l'individuazione dei suddetti valori è a carico del titolare dell'attività. L'art. 4 delibera che dalla data di entrata in vigore del decreto sono abrogati la Circolare 91/61 *Norme di sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati in acciaio destinati ad uso civile* e il Decreto 6/3/1986 *Calcolo del carico di incendio per locali aventi strutture portanti in legno*. Inoltre, l'art. 4 integra e modifica le definizioni di cui al decreto 30/11/1983 *Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi*.²¹ Nell'Allegato A al decreto sono disciplinati il *Carico d'incendio*, le *Richieste di Prestazione* e gli *Scenari e Incendi Convenzionali di Progetto*.

4.1.4.1. Carico d'incendio

La norma stabilisce che il carico di incendio specifico si calcola con la relazione:

$$q_f = \frac{\sum g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i}{A} \quad (4.1)$$

nella quale

q_f = carico d'incendio specifico (MJ/m²)

g_i = massa dell'i-esimo materiale combustibile (kg)

H_i = potere calorifico inferiore dell'i-esimo materiale combustibile (MJ/kg)

m_i = fattore di partecipazione alla combustione dell'i-esimo materiale combustibile, in particolare:

= 0,8 per il legno e altri materiali di natura cellulosa

= 1 per gli altri materiali.

ψ_i = fattore di limitazione della partecipazione alla combustione dell'i-esimo materiale combustibile, in particolare:

= 0 per materiali contenuti in contenitori progettati per resistere al fuoco

= 0,85 per materiali contenuti in contenitori non combustibili ma non progettati per resistere al fuoco

= 1 per tutti gli altri casi

A = superficie in pianta lorda del compartimento (m²).

Il carico di incendio specifico di progetto si calcola con la relazione:

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_f \quad (4.2)$$

²¹ Cfr. paragrafo 4.1.2.

nella quale

$q_{f,d}$ = carico d'incendio specifico di progetto (MJ/m²)

δ_{q1} = fattore che tiene conto del rischio incendio in relazione alla dimensione del compartimento (tabella 4.5)

δ_{q2} = fattore che tiene conto del rischio incendio in relazione al tipo di attività svolta nel compartimento (tabella 4.6)

$\delta_n = \Pi\delta_{ni}$ = fattore che tiene conto delle differenti misure di protezione (tabella 4.7)

q_f = valore nominale del carico di incendio specifico.

Per determinare il carico d'incendio di progetto, e quindi la classe del compartimento, può essere impiegato il programma di calcolo *Claraf*.²²

Tabella 4.5. Valori del fattore δ_{q1} in relazione alla dimensione del compartimento

Superficie in pianta lorda del compartimento (m ²)	δ_{q1}	Superficie in pianta lorda del compartimento (m ²)	δ_{q1}
$A < 500$	1,00	$2500 < A < 5000$	1,60
$500 < A < 1000$	1,20	$5000 < A < 10000$	1,80
$1000 < A < 2500$	1,40	$A > 10000$	2,00

Tabella 4.6. Valori del fattore δ_{q2} che tiene conto del rischio incendio in relazione al tipo di attività svolta

Classi di rischio	Descrizione	δ_{q2}
I	Aree che presentano un basso rischio di incendio, in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza.	0,80
II	Aree che presentano un moderato rischio di incendio, in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza.	1,00
III	Aree che presentano un alto rischio di incendio, in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza.	1,20

Tabella 4.7. Valori del fattore δ_n che tiene conto delle differenti misure di protezione

Sistemi automatici di estinzione		Sistemi di evacuazione automatica di fumo e calore	Sistemi automatici di rivelazione, segnalazione di allarme di incendio	Squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio	Rete idrica antincendio		Percorsi protetti di accesso	Accessibilità ai mezzi di soccorso V.V.F.
ad acqua δ_{n1}	altro δ_{n2}	δ_{n3}	δ_{n4}	δ_{n5}	interna δ_{n6}	interna e esterna δ_{n7}	δ_{n8}	δ_{n9}
0,60	0,80	0,90	0,85	0,90	0,90	0,80	0,90	0,90

²² Cfr. paragrafo 5.1.

4.1.4.2. Richieste di prestazione

La norma fissa cinque livelli di prestazioni (tabella 4.8) per ciascun dei quali si adotteranno differenti classi di resistenza al fuoco: C15, C20, C30, C45, C60, C90, C120, C180, C240, C360. Alle sette classi di resistenza al fuoco della Circolare 91 la norma aggiunge, quindi, le altre due classi C240 e C360.

Tabella 4.8. Livelli prestazionali di prevenzione incendi

Livello I	Nessun requisito specifico di resistenza al fuoco dove le conseguenze della perdita dei requisiti stessi siano accettabili o dove il rischio di incendio sia trascurabile
Livello II	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione
Livello III	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza
Livello IV	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento della costruzione
Livello V	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità della costruzione stessa

Nel merito dei livelli di prestazione la norma, inoltre, specifica gli ambiti di applicazione di ciascun livello prestazionale e le relative classi di resistenza al fuoco.

LIVELLO I DI PRESTAZIONE

Il livello I non è ammesso per le costruzioni che ricadono nel campo di applicazione del presente decreto.

LIVELLO II DI PRESTAZIONE

Il livello II è ammesso per costruzioni fino a due piani fuori terra ed un piano interrato, isolate e destinate ad un'unica attività non aperta al pubblico. La costruzione può essere eventualmente adiacente ad altre, a condizione che sia strutturalmente e funzionalmente separata. Occorre, inoltre, che siano verificate tutte le seguenti ulteriori condizioni:

- le dimensioni della costruzione devono essere tali da garantire l'esodo in sicurezza degli occupanti;
- gli eventuali crolli totali o parziali della costruzione non devono arrecare danni ad altre costruzioni;
- gli eventuali crolli totali o parziali della costruzione non devono compromettere l'efficacia degli elementi di compartimentazione e di impianti di protezione attiva che proteggono altre strutture;
- il massimo affollamento complessivo della costruzione non deve essere superiore a 100 persone e la densità di affollamento media deve essere non superiore a 0,2 persone/m²;
- la costruzione non deve essere adibita ad attività che prevedono posti letto;
- la costruzione non deve essere adibita ad attività specificamente destinate a

malati, anziani, bambini o a persone con ridotte o impedito capacità motorie, sensoriali o cognitive.

Per il livello II si assumeranno, indipendentemente dal carico di incendio specifico di progetto, le classi di resistenza al fuoco riportate in tabella 4.9.

Tabella 4.9. Classi di resistenza al fuoco per il livello prestazionale II

30	Per costruzioni ad un piano fuori terra, senza interrati
60	Per costruzioni fino a due piani fuori terra e un piano interrato

LIVELLO III DI PRESTAZIONE

Il livello III è adeguato per tutte le costruzioni rientranti nel campo di applicazione del presente decreto, fatte salve quelle per le quali sono richiesti i livelli IV e V. Per il livello III si assumeranno, in funzione dal carico di incendio specifico di progetto, le classi di resistenza al fuoco riportate in tabella 4.10.

LIVELLO IV E V DI PRESTAZIONE

I livelli IV e V possono essere richiesti dal committente, o previsti nei capitoli tecnici di progetto, per costruzioni di particolare importanza. Per i livelli IV e V resta valido quanto indicato nel decreto 14 settembre 2005 del Ministero Infrastrutture. Nel merito dei criteri di progettazione degli elementi strutturali resistenti al fuoco, la norma precisa che le deformazioni dovute ai cambiamenti di temperatura devono essere tenute in conto, ad eccezione dei seguenti casi:

1. quando è riconoscibile a priori che esse siano trascurabili o favorevoli;
2. quando sono implicitamente tenute in conto nei modelli semplificati di comportamento strutturale in condizioni di incendio.

La norma precisa, inoltre, che non si prenderà in considerazione la possibilità di concomitanza dell'incendio con altre azioni accidentali.

Tabella 4.10. Classi di resistenza al fuoco per il livello prestazionale III

Carichi d'incendio specifici di progetto ($q_{r,d}$)	Classe
Non superiore a 100 MJ/m ²	0
Non superiore a 200 MJ/m ²	15
Non superiore a 300 MJ/m ²	20
Non superiore a 450 MJ/m ²	30
Non superiore a 600 MJ/m ²	45
Non superiore a 900 MJ/m ²	60
Non superiore a 1200 MJ/m ²	90
Non superiore a 1800 MJ/m ²	120
Non superiore a 2400 MJ/m ²	180
Superiore a 2400 MJ/m ²	240

4.1.4.3. Scenari e incendi convenzionali di progetto

La norma prescrive che per definire le azioni del fuoco devono essere determinati gli scenari d'incendio e i relativi incendi convenzionali di progetto, da applicare ad un compartimento dell'edificio alla volta. Per gli edifici multipiano, pur tuttavia, sarà possibile considerare separatamente il carico d'incendio dei singoli piani se gli elementi orizzontali di separazione posseggono capacità di compartimentazione adeguata nei confronti della propagazione verticale dell'incendio. Per l'incendio convenzionale di progetto, la norma stabilisce che l'andamento delle temperature deve essere valutato con riferimento:

- a una curva nominale d'incendio, per l'intervallo di tempo di esposizione pari alla classe di resistenza al fuoco prevista, senza alcuna fase di raffreddamento;
- a una curva naturale d'incendio, tenendo conto dell'intera durata dell'incendio, compresa la fase di raffreddamento.

CURVE NOMINALI DI INCENDIO

La norma definisce tre curve nominali: la curva nominale standard, la curva nominale degli idrocarburi e la curva nominale esterna.

- *curva nominale standard*: le classi di resistenza al fuoco possono, in generale, essere riferite all'incendio convenzionale rappresentato dalla *curva nominale standard*, definita dalla relazione:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10} (8t + 1) \quad (4.3)$$

nella quale

θ_g = temperatura media dei gas di combustione (°C)

t = tempo (min).

- *curva nominale degli idrocarburi*: nel caso di incendi di rilevanti quantità di idrocarburi, esclusivamente per la determinazione della capacità portante delle strutture, si adotterà la curva nominale degli idrocarburi, definita dalla relazione:

$$\theta_g = 1080 \cdot (1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,675e^{-2,5t}) + 20 \quad (4.4)$$

nella quale

θ_g = temperatura media dei gas di combustione (°C)

t = tempo (min).

- *curva nominale esterna*: nel caso di incendi all'interno del compartimento, ma che coinvolge strutture poste all'esterno, si adotterà la curva nominale esterna, definita dalla relazione: