



POLITECNICO
MILANO 1863

Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile - Architettura

GRAD-EUP

RIQUALIFICAZIONE DEL POLO SCOLASTICO DI VIMERCATE

Relatore:

Prof. Ing. Gabriele MASERA

Tesi di Laurea di:

Davide MENEGHELLO (793620)

Luana NEGRI (762537)

Anno Accademico 2017 - 2018

INDICE

ABSTRACT	3		
1 SCUOLE E SOSTENIBILITÀ	5		
1.1 Scuole e riqualificazione	6		
1.2 Sostenibilità nelle scuole	7		
1.3 Quadro normativo e linee guida	8		
1.4 Le certificazioni ambientali	11		
1.5 Selezione delle certificazioni	12		
1.6 Nuovi criteri di valutazione	17		
2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE	31		
2.1 Le scuole nel territorio	32		
2.2 Analisi demografica	33		
2.3 Infrastrutture e trasporti	35		
2.4 Il comune di Vimercate	37		
3 ANALISI DELLO STATO DI FATTO	41		
3.1 Evoluzione storica del polo scolastico	42		
3.2 La composizione e distribuzione attuale	48		
3.3 Le scuole e l'offerta formativa	54		
3.4 Verifiche normative	57		
4 PROGETTO ARCHITETTONICO	59		
4.1 Obiettivi di progetto	60		
4.2 Masterplan generale	61		
4.3 L'area polifunzionale	65		
4.4 La nuova scuola I.I.S Floriani - Olivetti	68		
4.5 Verifiche normative	72		
		5 PROGETTO ILLUMINOTECNICO	73
		5.1 Premessa	74
		5.2 Requisiti quantitativi	74
		5.3 Dati di input	76
		5.4 Edificio di riferimento	76
		5.5 Definizione delle chiusure trasparenti	85
		5.6 La schermatura di facciata	87
		5.7 Integrazione visiva delle aule con gli altri ambienti	96
		5.8 Progetto illuminotecnico della luce artificiale	96
		5.9 Indice prestazionale relativo al fabbisogno per illuminazione	99
		5.10 Conclusioni	101
		6 PROGETTO TECNOLOGICO	103
		6.1 Premessa	104
		6.2 Parametri e caratteristiche prestazionali dell'involucro opaco	104
		6.3 Parametri prestazionali dell'involucro per edifici nZEB	106
		6.4 Il legno nell'edilizia scolastica	107
		6.5 Soluzioni costruttive in legno	108
		6.6 Studio delle soluzioni tecnologiche	109
		6.7 Studio delle soluzioni di posa dei pannelli XLam	112
		6.8 Disarticolazione tecnologica e altre stratigrafie	113
		6.9 L'acustica nelle aule scolastiche	115
		7 PROGETTO STRUTTURALE	119
		7.1 La tecnologia costruttiva	120
		7.2 Normativa di riferimento e criteri di calcolo	121
		7.3 Calcolo delle azioni agenti	121
		7.4 Predimensionamento e verifica del solaio "Lignoton"	125
		7.5 Predimensionamento e verifica travi in acciaio	130
		7.6 Predimensionamento e verifica pilastri in acciaio	134
		7.7 Verifica sismica degli elementi di controvento	136

8	PROGETTO IMPIANTISTICO	141
8.1	Premessa	142
8.2	Calcolo del fabbisogno termico invernale in regime statico	144
8.3	Calcolo del fabbisogno termico estivo in regime dinamico	147
8.4	Calcolo del calore residuo	153
8.5	Scelta dell'impianto di climatizzazione	154
8.6	Sistema a pannelli radianti	156
8.7	Impianto di ventilazione	160
8.8	Unità di trattamento aria	164
8.9	Pompa di calore, fotovoltaico e solare termico	168
8.10	Rete di scarico delle acque meteoriche	169
9	VERIFICHE FINALI E CONCLUSIONI	173
9.1	Considerazioni sul lavoro svolto	174
9.2	Confronto prima/dopo con la nuova certificazione	174
9.3	Conclusione finale	175
	RIFERIMENTI	176
	INDICI	178
	RINGRAZIAMENTI	183

ABSTRACT

La presente tesi consiste in un progetto di riqualificazione del polo scolastico di Vimercate, situato nella provincia di Monza e Brianza. L'approccio olistico descritto in questa relazione parte da una considerazione di ampio respiro sulle sfide che stanno affrontando le scuole italiane al giorno d'oggi, sul concetto moderno di didattica e sul significato di scuola sostenibile; in particolare vengono confrontate le certificazioni ambientali più utilizzate per le scuole e se ne rielabora una nuova come guida utile alla progettazione, la quale considera anche la normativa nazionale vigente e le linee guida del MIUR. La relazione prosegue con l'analisi delle scuole superiori nel territorio e del comune che ospita il polo scolastico considerato, lo studio dello stato di fatto con relativa diagnostica e lo sviluppo generale del progetto che ha come visione la "Community School". Infine si passa all'approfondimento distributivo e tecnologico di un nuovo edificio, previsto negli obiettivi di progetto, nel quale si presta particolare attenzione al comfort interno, all'illuminazione e agli impianti.

This thesis deals with the refurbishment project of a school center located in Vimercate, in Monza e Brianza province. The holistic approach starts from a broad consideration about the current challenges that Italian schools are facing today, the new teaching strategies and the meaning of sustainable school; in particular the most used environmental certifications are compared in order to develop a new certification that can be an useful roadmap for this specific design, including the national regulation and the guide-lines of MIUR. Then follows the analysis of high schools in that territorial area and the host municipality, the study of the current condition of buildings with diagnostics and the general design development of the whole area; the vision concerns the creation of an innovative "Community School". Finally there is a distributive and technological focus on a new building, included in the masterplan, with particular attention to internal comfort, lighting design and technical plants.

- 1.1 Scuole e riqualificazione
- 1.2 Sostenibilità nelle scuole
- 1.3 Quadro normativo e linee guida
- 1.4 Le certificazioni ambientali esistenti
- 1.5 Selezione delle certificazioni
- 1.6 Nuovi criteri di valutazione

1 SCUOLE E SOSTENIBILITÀ

La presente relazione introduce in questo primo capitolo, prima ancora di analizzare il polo scolastico oggetto di studio, una ricerca volta a fare chiarezza sulle necessità della didattica moderna sulla base delle seguenti domande: Come si è evoluta la didattica al giorno d'oggi e quali sono le maggiori criticità? Come adeguare l'edilizia scolastica nuova o esistente in base alle nuove funzioni? Cosa si intende per scuola sostenibile? I paragrafi successivi dunque vanno a raccogliere informazioni da differenti tematiche e fonti, dal concetto di didattica ai requisiti normativi, in modo da avere una visione chiara della scuola ideale. In particolare, confrontando nel dettaglio le certificazioni ambientali maggiormente utilizzate in Italia, si sceglieranno i criteri di sostenibilità più rilevanti con cui approcciarsi alla progettazione descritta nei capitoli seguenti.

1.1 Scuole e riqualificazione

Uno dei temi che maggiormente interessa il dibattito sulla scuola e che può incidere in modo significativo sulla qualità complessiva di un sistema di istruzione è proprio quello dell'edilizia scolastica e in particolare quello dello stato di salute, spesso precario, degli edifici, delle aule, dei laboratori e di tutte le strutture dedicate all'insegnamento e alle attività correlate. Per tale ragione si ritiene doveroso aprire una finestra descrittiva sulla situazione attuale delle scuole italiane, concentrandosi sull'individuazione di indicatori idonei in modo da poter intervenire in modo consapevole sull'edilizia scolastica esistente.

1.1.1 Le indagini a livello nazionale

I dati di indagini condotte a livello nazionale sull'edilizia scolastica mettono in evidenza l'estrema gravità della situazione attuale in cui versa l'edificio scolastico. Oltre alle ricerche fatte dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) vengono considerati anche i seguenti documenti:

- Il Rapporto nazionale dell'anagrafe dell'edilizia scolastica del Miur del 2015;
- L' *"XI Rapporto su sicurezza, qualità e comfort degli edifici scolastici"*;
- Il dossier dell'Unione delle Province Italiane intitolato *"Le funzioni, i dati, le competenze, la sicurezza degli edifici scolastici"*;
- Il XVII rapporto di Legambiente sulla *"Qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi"*.
- Comunicato stampa dell'Anci (Associazione Nazionale Comuni Italiani).

Da queste indagini emerge che su oltre 42.000 edifici scolastici censiti, fino al 2015, l'80% risultano attivi, cioè edifici in cui viene svolta attività di qualsiasi tipo connessa alle istituzioni scolastiche, mentre il restante 20% sono quelli in cui non sono svolte attività scolastiche (es. edifici in ristrutturazione, edifici in costruzione, edifici dismessi, etc.). Inoltre il 70% degli edifici è stato costruito appositamente per uso scolastico, mentre il restante 30% sono scuole ospitate in edifici riadattati, costruiti per un'altra destinazione d'uso. Si segnala che il 55% delle scuole è stato costruito prima del 1976, ovvero prima dell'entrata in

vigore delle "norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica del 1975" e delle norme antisismiche del 1974. Il 45% degli edifici non possiede il certificato di agibilità e più del 54% non ha il certificato di prevenzione incendi. Oltre il 30% degli edifici necessita di interventi di manutenzione straordinaria, di rifacimento di coperture, di ristesa dell'intonaco o di interventi strutturali. Per quanto riguarda l'impiantistica ben la metà degli edifici statali ha impianti elettrici, idraulici o termici non funzionanti o inadeguati alla normativa attuale.

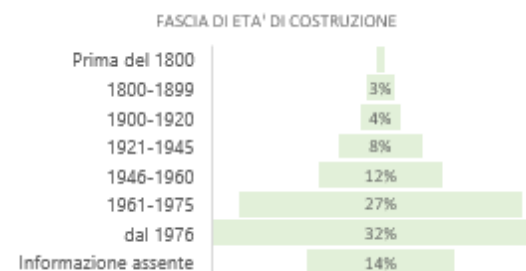


Fig. 1.1 Grafico edifici scolastici costruiti per fascia di età

Per quanto riguarda i dati relativi alla mobilità, alla sostenibilità ambientale e alla qualità delle infrastrutture degli istituti si ha che nel 63% dei casi dispongono del servizio di scuolabus e nel 40% del trasporto per alunni disabili. Il 71% degli edifici scolastici ha preso degli accorgimenti per superare le barriere architettoniche, mentre sempre più scuole stanno adottando le energie rinnovabili grazie ad impianti a pannelli fotovoltaici o solari termici.

EDIFICI CON ENERGIE RINNOVABILI	2012	2013	2014	2015
% EDIFICI CON ENERGIE RINNOVABILI	13.5%	13.6%	14.3%	16.6%
di cui con impianti solari termici	24.9%	25.9%	23.4%	23.3%
di cui con impianti solari fotovoltaici	80.8%	78.1%	71.0%	80.4%
di cui con geotermia/pompe di calore	1.6%	3.3%	2.9%	3.3%
di cui con impianti a biomassa	0.4%	0.5%	0.5%	0.4%
di cui con mix di fonti rinnovabili	9.6%	9.7%	12.1%	10.6%
COPERTURA MEDIA DEI CONSUMI	35.6%	42.3%	44.5%	48.6%

Tab. 1.1 Tabella energia rinnovabile negli edifici scolastici

Si costruisce ancora troppo poco secondo i criteri di bioedilizia:

ANNI	2012	2013	2014	2015
EDIFICI COSTRUITI SECONDO CRITERI DI BIOEDILIZIA	0.6%	0.6%	0.6%	0.7%

Tab. 1.2 Edifici scolastici costruiti secondo i criteri di bioedilizia

Continuano a non essere sufficienti le aree verdi, le strutture per lo sport e le biblioteche nelle scuole:

SERVIZI NEGLI EDIFICI	2012	2013	2014	2015
GIARDINI O AREE VERDI	74.6%	72.4%	72.7%	73.0%
STRUTTURE PER LO SPORT	52.2%	60.0%	46.1%	49.8%
BIBLIOTECHE	35.4%	34.7%	40.9%	35.6%

Tab. 1.3 Servizi negli edifici scolastici

Ben un edificio su due si trova in classe energetica G, mentre solo lo 0,1% in classe A. Gli edifici nelle prime tre classi energetiche non raggiungono il 5%;

CLASSE ENERGETICA DEGLI EDIFICI	A	B	C	D	E	F	G
% NELL'ANNO 2015	0.1	1.2	3.0	10.2	15.4	20.2	49.8

Tab. 1.4 Classe energetica degli edifici scolastici

Sono in crescita gli edifici scolastici posti entro 1 km da autostrade, aeroporti o da altre fonti d'inquinamento acustico particolarmente problematico.

SCUOLE A MENO DI 1 KM DA:	2012	2013	2014	2015
AREE INDUSTRIALI	1.0%	1.4%	2.7%	1.7%
STRUTTURE MILITARI	1.5%	0.8%	1.4%	1.2%
DISCARICHE	0.2%	0.8%	0.8%	0.1%
AEROPORTI	0.7%	0.9%	0.8%	0.9%
AUTO-SUPERSTRADE	4.7%	4.6%	7.8%	9.7%
ALTRI INQUINAMENTI ACUSTICI	11.6%	5.6%	7.3%	7.7%

Tab. 1.5 Scuole a rischio ambientale outdoor

1.2 Sostenibilità nelle scuole

In questi ultimi anni il tema dell'edilizia sostenibile è diventato assai discusso e sempre più si parla di riqualificazione. Si assiste quindi al proliferare di iniziative e di norme che regolamentano e/o incentivano l'edilizia sostenibile. Il tema energetico però ha preso un particolare sopravvento su tutti gli altri aspetti della sostenibilità. Pertanto si ritiene opportuno in questa prima parte esaminare la definizione più ampia di sostenibilità dell'edilizia scolastica ed approfondire poi in un secondo momento, in fase di progettazione avanzata, il tema di consumo energetico al fine del raggiungimento dei requisiti NZEB.

1.2.1 Il concetto di edilizia sostenibile

Il termine "edilizia sostenibile" è, più che una teoria, una pratica costruttiva volta a creare strutture e processi responsabili dal punto di vista ambientale ed efficienti nell'uso delle risorse attraverso l'intero ciclo di vita dell'opera costruita: dalla pianificazione iniziale al progetto, dal cantiere alla manutenzione, dal rinnovo alla demolizione. Questa pratica ingloba nel progetto considerazioni sull'economia, l'utilità, la durabilità e il comfort, già delineati sommariamente durante la prima conferenza internazionale sull'edilizia sostenibile del 1994, attraverso la teoria delle 5R (ridurre, riusare, riciclare, ricostruire e ristrutturare o restaurare) di Charles Kibert. Tra le sue varie definizioni, la più recente è quella fornita dalla Commissione Europea nella "Task Force on Sustainable Construction" del 2007, definendola come:

"lo sviluppo dinamico di nuove soluzioni di investimento, progettazione, costruzione, servizi professionali, forniture industriali e altri elementi finalizzati allo sviluppo sostenibile dal punto di vista ambientale, socio-economico e culturale. Essa comprende numerosi aspetti, come il progetto e la gestione di opere costruite, la scelta dei materiali, le prestazioni dell'edificio, l'interazione con lo sviluppo socio-economico urbano e locale. In alcuni paesi, è data priorità all'uso delle risorse (energia, materiali, acqua e suolo), mentre in altri, i fattori più determinanti sono l'inclusione sociale e la coesione economica"

Pertanto, la sostenibilità risiede nel raggiungimento di un equilibrio ottimale tra il soddisfacimento nel tempo dei requisiti di sostenibilità ambientale (capacità di valorizzare l'ambiente in quanto elemento distintivo del territorio, garantendo al contempo la tutela e il rinnovamento delle risorse naturali e del patrimonio), di sostenibilità economica (capacità di produrre e mantenere all'interno del territorio il massimo del valore aggiunto combinando efficacemente le risorse, al fine di valorizzare la specificità dei prodotti e dei servizi territoriali) e di sostenibilità sociale (capacità dei soggetti di intervenire insieme, efficacemente, in base ad una stessa concezione del progetto):

Qualità ambientale: usare fonti di energia rinnovabile e tecniche per l'efficienza energetica; favorire il risparmio acqua e la raccolta delle acque meteoriche; ridurre al minimo i rifiuti durante la costruzione, separazione e riciclo dei rifiuti; proteggere la biodiversità; usare al minimo le risorse naturali.

Qualità economica: rendere competitivo l'investimento tramite la riduzione del consumo di energia; sostenere la diversità economica locale; applicare le migliori pratiche nel processo costruttivo per evitare sprechi e limitare i tempi.

Qualità sociale: fornire adeguate informazioni alla comunità locale durante la costruzione; integrare l'opera nel contesto locale, evitando barriere e separazioni con il vicinato; conservare le tradizioni e i beni culturali locali, privilegiando il riuso; fornire accesso ad aree verdi limitrofe e crearne di nuove.

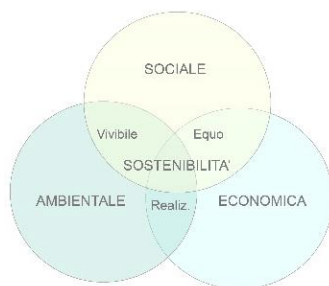


Fig. 1.2 Schema di interconnessione delle tre dimensioni della sostenibilità

Ne consegue, dall'interconnessione delle tre dimensioni, che un intervento si può considerare sostenibile se e solo se si dimostra equo, realizzabile e vivibile.

1.3 Quadro normativo e linee guida

Il progetto degli edifici scolastici appartiene alla tradizione della ricerca architettonica e urbanistica. In questo tema rientrano le questioni nevralgiche del progetto urbano: il rapporto con il luogo, i caratteri distributivi, l'indagine tipologica, le relazioni fra spazi collettivi, le modalità di aggregazione fra le parti, la necessità di garantire flessibilità d'uso degli spazi, l'ergonomia, la definizione del sistema costruttivo, la bio-climatica, la ricerca iconografica e l'economia complessiva dell'intervento dal progetto alla sua gestione.

1.3.1 Evoluzione storica della normativa

Nel dibattito urbanistico ed architettonico italiano, come nel resto del mondo occidentale, il tema riveste una posizione importante e si può descrivere attraverso una evoluzione in tre fasi, dal secondo dopoguerra agli anni ottanta. La discussione verte su programmi d'intervento e modalità operative:

Il primo periodo si sviluppa dalla fine degli anni quaranta e si prolunga fino all'inizio degli anni sessanta, contraddistinto da una rilevante attività legislativa all'interno di più ampie politiche di riforma. Lo scopo di quest'attenzione al mondo della scuola e alla sua architettura è di definire i caratteri dell'edificio scolastico nell'Italia del secondo dopoguerra delineandone lo statuto progettuale. Al centro del dibattito disciplinare vi sono la visione dello spazio scolastico come luogo privilegiato della vita associata, la scuola come centro di quartiere fulcro dell'unità di vicinato, la traduzione in uno spazio non più autoritario dalla "scuola caserma" (schema a corridoio tipica fascista) all'"unità funzionale" (l'aggregato di aule distribuito senza corridoi né portici).

Il secondo periodo va dagli inizi degli anni sessanta alla metà degli anni settanta. Con il varo della scuola media unica nel 1962 si analizza lo stato dell'edilizia scolastica e si programmano nuovi investimenti basati sul criterio di "posto alunno", in luogo del tradizionale conteggio per aule. Durante gli anni sessanta diviene sempre più rilevante il problema principale della mancanza di una normativa tecnica e di standard funzionali adeguati. Nel 1968, in concomitanza con il primo censimento nazionale dell'edilizia

scolastica, si istituisce la scuola materna statale. Nello stesso periodo le facoltà di architettura si impegnano con più intensità in ricerche sul tema della scuola moderna che ancora oggi risultano di grande utilità per le soluzioni compositive. La fine di questa fase si può far idealmente coincidere con l'approvazione, nel 1970, delle nuove norme con gli obiettivi di omogeneizzare la qualità dell'offerta di edilizia scolastica su tutto il territorio nazionale.

Il terzo periodo percorre gli anni ottanta in un clima di frammentario sperimentalismo centrato sulla memoria storica e sullo standard progettuale. Mentre proseguono le esperienze progettuali che vedono nell'edificio scolastico l'elemento fondamentale per la costituzione di nuovi poli civici, spesso la forma delle parti edilizie ritorna a segnare i caratteri dell'edificio scolastico sui prospetti del contenitore ancorato a tipologie tradizionali.

1.3.2 La situazione attuale

Negli ultimi anni il tema dell'edilizia scolastica perde gradualmente d'interesse. Gli studi negli enti statali preposti riducono drasticamente le attività di progettazione e di sperimentazione tecnologica specifica. Minori capacità di investimento della finanza pubblica sul welfare, contrazione delle nascite e scarse occasioni di nuova edificazione sono alcuni dei principali motivi che spiegano questo disinteresse. Inoltre si ha già un'elevata offerta didattica presente nel territorio e l'attenzione cresce verso i temi della riqualificazione, puntando ad economie di spesa ottenibili attraverso la dismissione di piccole unità o la concentrazione dei servizi in plessi scolastici esistenti o da ingrandire. Per tali cause gli edifici per l'istruzione primaria e per l'infanzia sono già oggetto da molti anni di ristrutturazioni, ampliamenti, adeguamenti funzionali e tecnologici sia per rispettare le novità legislative sia per recuperare un patrimonio edilizio ormai logorato dal tempo e dall'incuria. La necessità di adeguamento e il controllo superficiale degli interventi ha prodotto spesso danni architettonici e paesaggistici rilevanti: si pensi solo all'inserimento di numerosi, brutti corpi scala o all'abbattimento delle barriere fisiche con la messa in opera di rampe che spesso deturpano gli spazi antistanti le scuole.

Infine rimane problematico il rapporto tra edificio scolastico, paesaggio e forma urbana; infatti il frequente decentramento dei complessi scolastici ai margini dei nuclei abitati, l'occupazione da parte dell'edificio di sedimi di dimensioni ridotte rispetto al lotto, la conseguente decisione di arretrare i volumi rispetto al filo degli isolati, sono le ragioni che hanno escluso la scuola dall'architettura della città proprio come sono state separate con rigidezza le classi dai luoghi di svago all'aperto. Pertanto sia il legislatore sia i progettisti hanno il compito di recuperare la valenza urbana del complesso scolastico, sia nelle relazioni interne fra le parti, sia nelle relazioni esterne con il territorio.

1.3.3 Normativa di riferimento

Negli Stati Uniti e nel Regno Unito oltre che in Francia, Germania e Spagna, l'inserimento dell'edilizia scolastica come spazio pubblico nella morfologia urbana appare più attento. In Europa e negli Stati Uniti (CEFPI, 2004) si è sperimentata un'ampia ricerca tipologica: le indagini tecnologiche avanzate per garantire il massimo confort per la didattica, i legami coerenti fra architetture e paesaggi urbani, vitalità architettonica e attenzione alla nozione di vita sociale. La normativa italiana attualmente vigente, riguardante edifici di edilizia scolastica, risulta essere composta principalmente da due decreti:

- Il DM 18 dicembre 1975: *"Norme per l'edilizia scolastica"*
- Il DM 26 agosto 1992: *"Norme di prevenzione incendi per edilizia scolastica"*

Gli strumenti sono alquanto modesti e antiquati: nonostante riportino degli indici e delle linee guida per la realizzazione di scuole, non sempre risultano efficaci e facilmente applicabili in situazioni attuali. Essendo una buona parte degli edifici scolastici realizzata tra il 1970 e il 1985, sono pochi quelli che hanno seguito queste linee guida. La maggior parte delle scuole, specialmente quelle con strutture prefabbricate, sono state concepite a seguito di piani di sviluppo e sperimentazione per l'edilizia scolastica che a fronte dell'entrata in vigore dei due decreti cardine hanno subito pesanti modifiche interne. Anche la definizione stessa degli indirizzi superiori è cambiata: infatti su cinque scuole

indicate (classico, scientifico, magistrale, tecnico, geometri) una non esiste più e molti altri indirizzi nati per necessità si sono aggiunti all'offerta formativa.

1.3.3.1 D.M. 18 Dicembre 1975: norme per l' edilizia scolastica

La normativa italiana suddivide il sistema educativo d'istruzione in:

- scuola dell'infanzia (nido e scuola materna): rilevanza comunale
- scuola di base (elementare e media): rilevanza comunale o distrettuale
- scuola secondaria (superiore): rilevanza provinciale
- università: rilevanza regionale

La norma è suddivisa nei seguenti capitoli tematici con indicazioni per ciascun grado scolastico: localizzazione della scuola; dimensioni della scuola; caratteristiche dell'area; caratteristiche dell'opera edile (distinta nei vari ambienti scolastici); caratteristiche degli arredi; norme tecniche di abitabilità. Per quanto riguarda l'ubicazione occorre che le scuole, eccezion fatta per le università, siano possibilmente baricentriche rispetto al bacino d'utenza ed in ogni caso rapidamente raggiungibili e non confinanti con possibili fonti di inquinamento acustico e atmosferico. L'avvicinamento deve essere sicuro e protetto da eventuali pericoli, permettendo l'accesso ai veicoli di emergenza. L'area di ubicazione deve permettere possibilmente l'orientamento nord-sud (aule affacciate ai lati) o est-ovest (aule esposte a sud). Con riferimento alla funzionalità del percorso casa-scuola occorre garantire una localizzazione accessibile ai mezzi pubblici e tale da assicurare la possibilità di raggiungere la scuola in sicurezza a piedi e in bicicletta. Rispetto alla funzionalità didattica e per motivi igienici e ricreativi va opportunamente verificata la dimensione dei corpi edilizi e va assicurato un adeguato rapporto con le aree verdi esterne.

1.3.3.2 DM 26 Agosto 1992: norme di prevenzione incendi scuole

La seguente norma ha per oggetto i criteri di sicurezza antincendi da applicare negli edifici e nei locali adibiti a scuole, di qualsiasi tipo, ordine e grado, allo scopo di tutelare l'incolumità delle persone e salvaguardare i beni contro il rischio di incendio. La norma ha un carattere preventivo che indica dei valori minimi da rispettare in linea generale senza avere un ruolo attivo nella

progettazione degli edifici, limitandosi a un processo di semplice adeguamento. I capitoli sono articolati nel modo seguente: classificazione delle scuole; accesso all'area; comportamento al fuoco; sezionamenti; misure di evacuazione; spazi a rischio specifico; impianti e sistemi di allarme; mezzi e impianti fissi di estinzione incendi; segnaletica di sicurezza. Gli interventi sugli edifici esistenti sono stati eseguiti spesso con eccessiva rigidità, compromettendo la funzionalità di molti spazi a causa di scelte obbligate che hanno apportato un deturpamento delle qualità architettoniche e stilistiche degli edifici per via di corpi annessi spesso volentieri di scarso pregio estetico.

1.3.3.3 Altra normativa di riferimento

Altre normative di riferimento italiane per l'abito scolastico hanno più largo impiego a tutti gli edifici pubblici: questi offrono delle linee guida o regolano aspetti relativi all'involucro edilizio in termini di trasmittanza e risparmio energetico; altre invece si soffermano sulla qualità degli ambienti e la loro fruizione. Si riportano di seguito le norme considerate con i punti salienti:

- DLg. 26 giugno 2015: Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici con riferimento agli aspetti termici e di sostenibilità per gli edifici;
- DM 14 giugno 1989: decreto ministeriale sulle linee guida per l'abbattimento delle barriere architettoniche e criteri progettuali per il superamento;
- Norme tecniche quadro redatte dal MIUR nel 2015: in questa norma vengono individuati nuovi aspetti relativi alla didattica con la definizione di nuovi spazi di apprendimento, fornendo indici e qualità degli spazi delle scuole in generale.

1.3.3.4 Considerazioni finali sulle normative

La normativa prevede, per la scuola in generale, una progettazione ancora antiquata agli attuali metodi di insegnamento e allo sviluppo rapido di nuove tecnologie volte al supporto dell'attività didattica. L'assenza di flessibilità delle strutture scolastiche non permette una rapida evoluzione dei metodi di insegnamento smorzando nella maggior parte dei casi le ipotesi di sviluppo e sperimentazione. Le linee guida dettate dal MIUR nel 2015 ben si prestano al

prototipo ideale della scuola odierna e del futuro, ma risultano spesso difficilmente applicabili data la scarsa realizzazione di nuovi edifici scolastici: gli interventi attuali di edilizia scolastica sono destinati alla riqualifica di un patrimonio già esistente e “vecchio” che si porta dietro costrizioni dettate da adeguamenti normativi in fatto di sicurezza e modelli educativi ancora legati alla didattica frontale e alla non-centralità dell’edificio scolastico nel quartiere. Le Leggi quadro indicano i nuovi spazi pedagogici necessari per l’insegnamento senza definirne degli indici dimensionali: occorre dunque riferirsi ancora alle dimensioni riportate nel DM 18 Dicembre 1975. Ponendo attenzione a quanto evidenziato dal MIUR, sia nella progettazione che negli interventi bisogna definire gli spazi rivisitare il concetto di scuola non più inteso come un’unità a sé stante, ma come qualcosa di aperto alla comunità e che crei relazioni e sinergie con il tessuto urbano. Le scuole devono tornare a svolgere questo ruolo non solo nei nuovi insediamenti, ma anche nelle riqualificazioni di strutture esistenti. A tale scopo occorre approfondire in funzione delle peculiarità del contesto i seguenti specifici aspetti, evitando di standardizzare in modo da valorizzare il progetto come strumento di ricerca:

- Esplicitare gli aspetti di inserimento urbano ed architettonico;
- Individuare le specifiche soluzioni in relazione agli spazi di mediazione tra il quartiere e la scuola, come ambiti di attesa e possibile socializzazione dei genitori, come ambito di socializzazione degli alunni, come ambito di riferimenti anche per le attività extrascolastiche per i ragazzi delle medie;
- Approfondire specificamente il tema progettuale dello spazio verde esterno, da considerare come ambito in cui sviluppare specifiche e variegata attività didattiche. Si cercheranno soluzioni che consentano la massima permeabilità del suolo e una più semplice manutenzione degli spazi;
- Approfondire lo studio degli spazi interni con una attenta progettazione con riferimento alle fasce più deboli, alla versatilità e flessibilità degli spazi, e alla diversità degli indirizzi di studio: una particolare attenzione va posta alle nuove metodologie di insegnamento con l’ausilio di mezzi sempre più informatizzati.

1.4 Le certificazioni ambientali

Gli strumenti sono molteplici ed hanno iniziato a svilupparsi a partire dalla seconda metà degli anni '80 mediante: disposizioni di leggi sovranazionali, nazionali e regionali che impongono determinanti comportamenti e risultati nella costruzione di opere; regolamenti locali per la pianificazione e la realizzazione delle opere edili; sistemi e iniziative volontarie di enti, categorie professionali o gruppi di attori socio-economici; protocolli, codici, linee guida, programmi e buone prassi professionali; norme tecniche che forniscono specifiche e indicatori di misurazione per accertare la conformità dell’opera ai requisiti richiesti dalla legge o dai sistemi volontari. In questo contesto complesso ed articolato ci si limita ad esaminare, coerentemente all’oggetto di studio da analizzare, le normative sull’edilizia scolastica ed i principali protocolli ambientali con applicabilità e validità sul contesto territoriale locale.

1.4.1 Le principali certificazioni utilizzate in Italia

La certificazione ambientale consiste nella realizzazione di un percorso verificabile in ogni passaggio, e quindi certificabile, che attesti la sostenibilità ambientale del costruito, dalla progettazione fino allo smaltimento, passando attraverso la vita utile. Pertanto la valutazione energetica è solo uno degli strumenti impiegati all’interno della sostenibilità ambientale, solo durante la vita dell’edificio, per classificare il livello di consumo energetico complessivo. Gli obiettivi comuni delle certificazioni ambientali sono pertanto di verificare: se la progettazione è ecologicamente orientata, la scelta delle materie prime e come esse sono reperite, l’impatto ambientale del cantiere, i consumi energetici e gli impatti durante la vita utile dell’edificio ed infine lo smantellamento dell’edificio e dei suoi materiali. Le valutazioni ambientali esistenti sono al momento strutturate su uno dei seguenti criteri ordinanti:

Soglia minima standard: raggiungimento di requisiti minimi necessari per accedere alla certificazione ambientale. Criterio collegabile agli obiettivi NZEB.

Punteggio: assegnazione di un valore numerico ad una serie di fattori legati alle prestazioni. Criterio che considera l’impatto ambientale nella sua totalità.

In Italia ci sono sei sistemi di certificazione ambientale attualmente in uso: CASACLIMA, PASSIVHAUS e MINERGIE, a soglia minima standard; ITACA, BREEAM, LEED e GBCI, a punteggio. Nonostante ciò il numero degli immobili a destinazione d'uso non residenziale certificati al 2014 è meno del 25%. Molto probabilmente le cause risiedono nel loro costo e nel loro carattere volontario. Infatti nel nostro paese queste certificazioni, diversamente da quelle energetiche, non sono richieste da alcuna normativa né nazionale né locale.

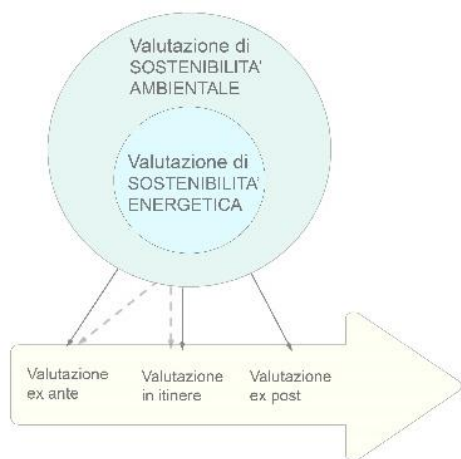


Fig. 1.3 Schema di interconnessione tra sostenibilità ambientale e sostenibilità energetica

CERTIFICAZIONI AMBIENTALI	BRE EAM	MIN ERGIE	PASSIV HAUS	LEED	CASA CLIMA NATURE	ITACA	GBCI
ANNO	1990	1994	1996	1998	2002	2004	2008
PAESE DI ORIGINE	UK	CH	D	USA	IT	IT	IT
CRITERIO A PUNTEGGIO	x			x		x	x
CRITERIO A SOGLIA MINIMA		x	x		x		
LIVELLI DI CLASSIFICAZIONE	5	3	3	4	3	7	4

Tab. 1.6 Dati generali delle certificazioni ambientali

1.5 Selezione delle certificazioni

Una volta individuate le certificazioni più utilizzate in Italia, si passa ad individuare quella più facilmente applicabile e con gli indicatori più significativi per una progettazione sostenibile sotto ogni punto di vista. La scelta critica della certificazione di riferimento utile si differenzia in prerequisiti e requisiti. I prerequisiti costituiscono una prima fase di vagliatura al fine di scartare immediatamente le certificazioni non idonee sulla base dei principali parametri di applicabilità, mentre i requisiti portano all'individuazione della certificazione ambientale migliore attraverso l'attribuzione di un punteggio del grado di soddisfacimento dei requisiti considerati nella suddetta analisi.

1.5.1 Prerequisiti

La certificazione ambientale, affinché sia utilizzabile nel caso studio, deve soddisfare alcuni prerequisiti di applicabilità: dalla fase di progettazione e costruzione nel processo edilizio al limite fisico dato dall'edificio e dal sito, dalle nuove costruzioni e ristrutturazioni alla tipologia edilizia scolastica.

1.5.1.1 Applicabilità temporale

“Il processo edilizio è la sequenza di fasi che portano dal rilevamento delle esigenze della committenza di un edificio al loro soddisfacimento attraverso la progettazione, produzione, costruzione e gestione dello stesso” (UNI 10838).

In particolare le sei operazioni principali rilevabili all'interno di questo processo sono: programmazione, progettazione, scelta dell'esecutore, costruzione, collaudo e gestione-manutenzione. Al fine di un agevole ed immediato confronto si considerano nella tabella seguente solo le seguenti fasi:

CERTIFICAZIONI AMBIENTALI	BREEAM	MINER GIE ECO	PASSIV HAUS	LEED	CASA CLIMA	ITACA	GBCI
PROGRAMMAZIONE	x			x		x	x
PROGETTAZIONE	x	x	x	x	x	x	x
COSTRUZIONE	x	x	x	x	x	x	x
UTILIZZO E MANUTENZIONE	x			x			

Tab. 1.7 Applicabilità temporale

La certificazione BREEAM e LEED risultano essere le più complete per quanto riguarda il controllo dei fattori di sostenibilità durante l'intero processo edilizio, mentre le certificazioni MINERGIE ECO, PASSIVHAUS e CASACLIMA NATURE sono quelle con i più rigidi limiti temporali a causa della loro natura principalmente legata al tema energetico dell'edificio. Nonostante ciò ci interessano principalmente le fasi di progettazione e costruzione, pertanto tutte le certificazioni esaminate soddisfano questo prerequisito. Ciò non implica il fatto di non riconoscere l'importanza della gestione delle altre fasi dell'edificio quali uso, manutenzione e demolizione.

1.5.1.2 Applicabilità data dal limite fisico

Le certificazioni ambientali possono porsi degli obiettivi di sostenibilità nei confronti del singolo edificio, del sito o del quartiere. In particolare nel caso studio di Vimercate pur avendo come oggetto un quartiere, ovvero una zona della città distinguibile per caratteri propri, si sono ritenute idonee le certificazioni ambientali in grado di garantire la sostenibilità dell'edificio e del sito, e non del quartiere, essendo volte ad uno specifico intervento di riqualificazione edilizia e non ad una generica riprogettazione dell'intera area.

CERTIFICAZIONI AMBIENTALI	BREEAM	MINERGIE ECO	PASSIVHAUS	LEED	CASACLIMA	ITACA	GBCI
EDIFICIO	x	x	x	x	x	x	x
SITO	x	x		x		x	x
QUARTIERE	x			x			

Tab. 1.8 Applicabilità data dal limite fisico

In questo caso solo le certificazioni ambientali BREEAM, LEED, MINERGIE ECO e ITACA forniscono dei criteri di sostenibilità anche per il sito nel quale l'edificio stesso risulta essere collocato, oltre ovviamente all'analisi dell'edificio stesso che è sottoposto alla certificazione. Di conseguenza le certificazioni PASSIVHAUS e CASACLIMA NATURE non verranno più calcolate ai fini della scelta critica della certificazione di sostenibilità più idonea a guidare le scelte progettuali e costruttive del caso studio. Infine è da notare come, ancora una volta, le certificazioni BREEAM e LEED risultino essere le più esaurienti anche riguardo ai limiti fisici a cui fanno riferimento i criteri di sostenibilità.

1.5.1.3 Applicabilità data dalla tipologia edilizia

In base alla classificazione generale degli edifici per categorie, fornita dall'articolo 3 del D.P.R. 412/93, nella tabella seguente si indica l'applicabilità o meno di ciascuna certificazione di sostenibilità in base alla categoria edilizia.

CERTIFICAZIONI AMBIENTALI	BREEAM	MINERGIE	LEED	ITACA	GBCI
E.1 Edifici adibiti a residenza	x	-	-	x	x
E.2 Edifici adibiti ad uffici	x	-	x	x	
E.3 Edifici adibiti ad ospedali			x		
E.4 Edifici adibiti ad attività ricreative					
E.5 Edifici adibiti ad attività commerciali	x		x	x	
E.6 Edifici adibiti ad attività sportive					
E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche	x	-	x	x	
E.8 Edifici adibiti ad attività industriali	x		x	x	

Tab. 1.9 Applicabilità data dalla categoria edilizia

Per le categorie E.4 e E.5, rispettivamente riferite a edifici adibiti ad attività ricreative e sportive, non esistono ancora dei criteri standardizzati, per cui se necessario vengono elaborati caso per caso da opportune figure professionali (per BREEAM e LEED). I protocolli ambientali BREEAM, ITACA e LEED risultano avere il più alto grado di applicabilità per indicatori specifici alle varie categorie edilizie (x). Al contrario GBC Italia ha dei requisiti specifici solo per il costruito residenziale, in quanto per le altre tipologie si rimanda alla certificazione LEED, mentre MINERGIE ECO fornisce degli indicatori generici (-) applicabili esclusivamente per residenze, uffici e scuole. Si deduce quindi che l'unica certificazione ambientale esaminata a non essere utilizzabile per la tipologia scolastica è quella elaborata dal marchio GBC Italia, per cui di conseguenza non verrà più considerata nelle analisi successive.

1.5.2 Requisiti

I requisiti, a differenza dei prerequisiti, hanno la finalità di valutare attraverso l'attribuzione di un punteggio l'idoneità di ciascuna certificazione e non semplicemente il soddisfacimento dello stesso. Pertanto dalla somma finale dei punteggi attribuiti ne risulta una classifica finale con l'individuazione della certificazione più consona, ovvero quella con il punteggio globale più elevato, volta a guidare la progettazione sostenibile degli edifici scolastici. I requisiti di confronto considerati sono: successo sul mercato, aree tematiche e criteri.

1.5.2.1 Successo sul mercato

A tal proposito si è fatto riferimento a quanto già stato elaborato all'interno del "Market study for a voluntary common European Union certification scheme for the energy performance of nonresidential buildings 2014" nel quale viene stilata una classifica sulla base di quattro gruppi di variabili:

- Il numero di paesi che hanno utilizzato la certificazione ambientale: indicatore rappresentativo del successo economico, della flessibilità, della semplicità di comprensione e di funzionamento. I punteggi attribuibili per questa prima variabile sono 1 (< 5 paesi), 2 (tra 5 e 10 paesi) o 3 (>10 paesi).
- Il trend della quota di mercato negli ultimi 5 anni: indicatore chiave della competitività del mercato. Un aumento di tale quota è espressione del mantenimento della certificazione nella sua posizione di preferenza rispetto agli altri strumenti disponibili, in quanto considerata affidabile e ben nota. Qui si distinguono i punteggi in 1 (decrescente), 2 (costante) e 3 (crescente).
- Diversità del profilo cliente: è importante che lo schema della certificazione sia ben valutato dalla maggioranza dei membri facenti parti dell'industria delle costruzioni ovvero da un gruppo diversificato di professionisti. Per questo si attribuisce il punteggio 1 se i profili professionali che ne usufruiscono sono meno di tre, 2 se sono compresi tra tre e sei, 3 se sono maggiori di sei.
- Grado di conoscenza: questo ultimo indicatore infine rileva la presenza della certificazione sul web. In base al numero dei risultati ottenuti tramite il motore di ricerca si attribuisce 1 (< 500 mila), 2 (tra 500 k e 1 milione) o 3 (> 1 milione).

Attribuendo ad ogni certificazione ambientale il relativo punteggio nelle quattro categorie si giunge così alla definizione della seguente scala di successo nel mercato, suddivise per fasce di efficacia alta, media e bassa.

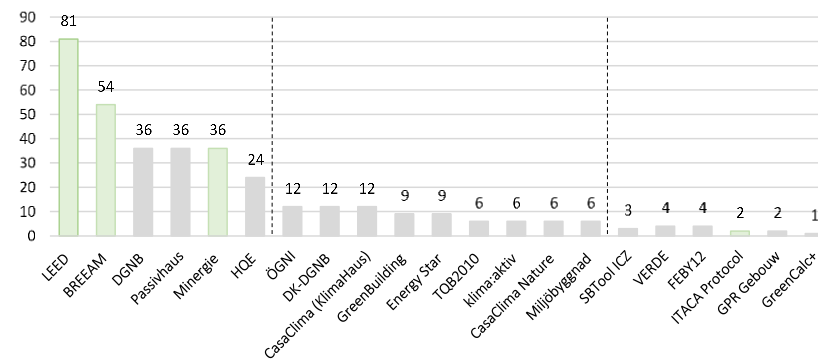


Fig. 1.4 Grafico a barre del successo sul mercato delle principali certificazioni ambientali

In particolare si mostrano nel dettaglio come si sono ottenuti i punteggi delle quattro certificazioni selezionate, moltiplicando i quattro indicatori tra loro.

CERTIFICAZIONI AMBIENTALI	LEED	BREEAM	MINERGIE ECO	ITACA
NUMERO DI PAESI	3	3	2	1
TREND DELLA QUOTA DI MERCATO	3	2	3	1
DIVERSITA' DELLA CLIENTELA PROFESSIONALE	3	3	2	2
CONOSCENZA DELLA CERTIFICAZIONE	3	3	3	1
PUNTEGGIO TOTALE	81	54	36	2
PUNTEGGIO FASCIA	3	3	3	1

Tab. 1.10 Punteggi parziali e totali attribuiti al successo sul mercato delle certificazioni

In conclusione si può dedurre come le certificazioni LEED, BREEAM e MINERGIE siano in una posizione dominante sul mercato delle certificazioni ambientali. Come punteggio finale per questo requisito si attribuiscono dunque i seguenti valori: 3 alla fascia più alta (> 20) , 2 a quella intermedia (tra 5 e 20) e 1 alla fascia inefficace (< 5) nella quale si trova per esempio la certificazione ITACA.

1.5.2.2 Specificità dei criteri per gli edifici scolastici

In generale una certificazione ambientale è definita da criteri a loro volta raggruppati in categorie ed a loro volta aggregate in aree di valutazione. Pertanto tale confronto di specificità può essere sviluppato su tre livelli di approfondimento. Tutte le analisi, d'ora in avanti, faranno riferimento alla specifica scheda tipologica per edifici scolastici delle certificazioni LEED, BREEAM e ITACA; mentre per MINERGIE ECO, essendo assente, si fa riferimento ai criteri di sostenibilità applicabili in generale alle tipologie edilizie non residenziali. A tal proposito anche per questo requisito si ritiene opportuno attribuire un punteggio, pari a 1 o 2, come mostrato in tabella, con lo scopo di premiare le certificazioni possedenti dei criteri appositamente commisurati per tale tipologia edilizia:

CERTIFICAZIONI AMBIENTALI	LEED	BREEAM	MINERGIE ECO	ITACA
Tipi di indicatori per edifici adibiti ad attività scolastiche	specifici	specifici	generici	specifici
PUNTEGGIO ATTRIBUITO	2	2	1	2

Tab. 1.11 Punteggi totali attribuiti sulla base della specificità dei loro indicatori

1.5.2.3 Confronto di primo livello: aree di valutazione

Ogni certificazione è strutturata secondo un suo numero di aree di valutazione:

CERTIFICAZIONI AMBIENTALI	LEED	BREEAM	MINERGIE ECO	ITACA
NUMERO AREE DI VALUTAZIONE	7	10	5	5
NOMI AREE DI VALUTAZIONE	Sostenibilità sito Gestione acque Energia e Aria Materiali e Risorse Comfort interno Innovazione Priorità regionale	Gestione Benessere Energia Trasporti Acqua Materiali Rifiuti Ecologia Inquinamento Innovazione	Criteri esclusivi Protezione fonica Comfort interno Concept Materiali e Processi	Qualità del sito Consumo di risorse Carichi ambientali Comfort interno Qualità del servizio

Tab. 1.12 Aree di valutazione delle certificazioni

Al fine di rendere possibile un raffronto vengono predisposte sette aree di valutazione all'interno delle quali si ricollocano le categorie ed i criteri di ciascuna certificazione considerata: management dell'area e innovazione, sostenibilità/qualità del sito e ecologia, trasporti, gestione efficiente delle acque, energia, materiali, qualità ambientale interna e del servizio. Si ottiene così il seguente grafico e la relativa tabella indicanti i pesi assoluti, ovvero il grado di rilevanza, di ogni sezione all'interno del sistema di valutazione:

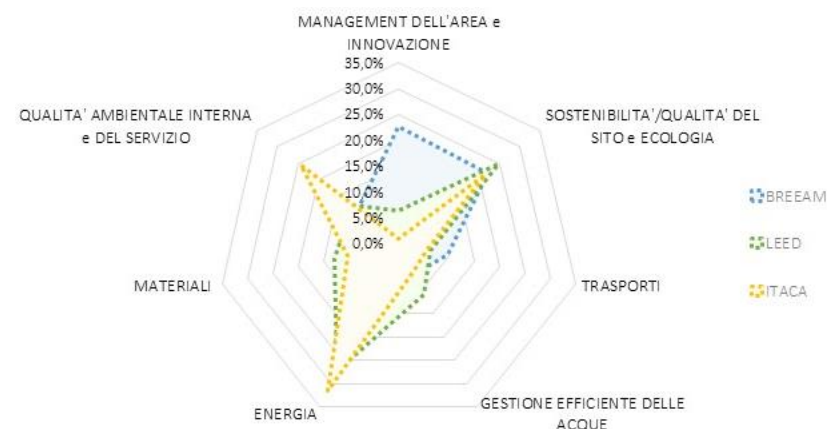


Fig.1.5 Grafico radar confronto di I livello: pesatura aree di valutazione

CERTIFICAZIONI AMBIENTALI	LEED	BREEAM	ITACA
MANAGEMENT DELL'AREA e INNOVAZIONE	6,4%	22,8%	1%
SOSTENIBILITA'/QUALITA' DEL SITO e ECOLOGIA	24,6%	22,1%	21,5%
TRASPORTI	6,4%	9,6%	5,6%
GESTIONE EFFICIENTE DELLE ACQUE	10,9%	6,6%	6,1%
ENERGIA	27,3%	19,1%	31,5%
MATERIALI	12,7%	9,6%	10,1%
QUALITA' AMBIENTALE INTERNA e DEL SERVIZIO	11,8%	10,3%	24,2%

Tab. 1.13 Pesatura aree di valutazione delle certificazioni

La certificazione ambientale MINERGIE ECO non è stata più considerata a causa della presenza di un quadro eccessivamente dettagliato di criteri riferiti più ai singoli componenti edilizi che non alle globalità delle azioni del processo edilizio. Dalla pesatura delle differenti sezioni si osserva che:

- La certificazione BREEAM è quella che pone una maggiore attenzione sulla operazione di “management dell’area e innovazione” al fine di favorire progetti efficienti e socio-economicamente efficaci attraverso le analisi iniziali delle interrelazioni tra i differenti sistemi. Il protocollo ITACA, a differenza di BREEAM e LEED, non attribuisce alcun punto per eventuali innovazioni.

- LEED e ITACA, a differenza di BREEAM, attribuiscono una pesatura maggiore alla sezione “energia” considerando separatamente la produzione energetica da fonti rinnovabili ed energia verde.

- I “trasporti” hanno una pesatura maggiore in BREEAM. Ciò è dovuto al fine di ridurre l'inquinamento con la promozione di mezzi di trasporto alternativi.

- La “qualità ambientale interna e del servizio” ha una pesatura maggiore in ITACA questo perché, a differenza di LEED e BREEAM, ha dei criteri specificamente destinati al mantenimento di un determinato livello di qualità del servizio offerto dal progetto per l’edificio scolastico.

- Infine le altre aree di valutazione presentano una pesatura pressoché analoga in tutte e tre le certificazioni, in particolar modo le sezioni di “sostenibilità/qualità del sito e ecologia” e dei “materiali”.

Sulla base di ciò vengono assegnate due serie di punteggi che valutano sia il numero totale delle aree di valutazione (1 se minori di sei, altrimenti 2) sia l’omogeneità dei pesi di ogni sezione all’intero del sistema globale di valutazione (da 3 a 1 in base a come si ordinano nella classifica di omogeneità).

CERTIFICAZIONI AMBIENTALI	LEED	BREEAM	ITACA
NUMERO DI AREE	2	2	1
GRADO DI OMOGENEITA'	3	2	1
PUNTEGGIO TOTALE	5	4	2

Tab. 1.14 Punteggi attribuiti per numero e pesatura delle aree tematiche di valutazione

1.5.2.4 Confronto di secondo livello: criteri

I criteri rappresentano il vero piano d’azione per la sostenibilità ambientale dell’intervento edilizio. Ogni certificazione ne possiede un numero differente e con caratteri spesso diversi in quanto dipendenti dalla natura delle tematiche trattate da ciascuna certificazione. Analogamente a quanto visto nel confronto di primo livello si è attribuito un punteggio suddiviso in tre temi:

- numero dei criteri totali: 1 se minori di 40, 2 se maggiori o uguali a 40.

CERTIFICAZIONI AMBIENTALI	LEED	BREEAM	ITACA
NUMERO DI AREE	56	45	37
PUNTEGGIO ATTRIBUITO	2	2	1

Tab. 1.15 Punteggi totali attribuiti in base al numero dei criteri

- difficoltà di calcolo: valutando concretamente una scuola a scelta, ad ogni criterio viene attribuito un punteggio inverso a quello della difficoltà (da 1 a 3).

CERTIFICAZIONI AMBIENTALI	LEED	BREEAM	ITACA
DIFFICOLTA' MEDIA	1,79	2,09	2,03
PUNTEGGIO ATTRIBUITO	3	1	2

Tab. 1.16 Punteggi attribuiti in base al grado di difficoltà di calcolo e verifica dei criteri

- presenza di criteri ritenuti particolarmente interessanti per il progetto degli edifici scolastici dei casi studio. Nonostante moti criteri risultino essere condivisi, ITACA e LEED possiedono anche dei criteri specificamente rivolti alla qualità dell’edificio scolastico in termini di aree verdi (creare spazi multifunzionali all’aperto), condivisione delle strutture (integrare la scuola con la comunità attraverso la condivisione dell’edificio) e dotazione di servizi. Tuttavia BREEAM è al contempo l’unica certificazione delle tre a possedere indicatori più specifici per l’illuminazione interna e l’accessibilità. Nonostante ciò si considerano a parimerito e non si aggiungono ulteriori punteggi.

Il risultato finale di questo requisito è espresso nella seguente tabella:

CERTIFICAZIONI AMBIENTALI	LEED	BREEAM	ITACA
PUNTEGGIO TOTALE	5	3	3

Tab. 1.17 Punteggi totali attribuiti nel confronto di secondo livello

Tutti i metodi di certificazione discussi precedentemente considerano circa gli stessi parametri, passando dalla descrizione dell'ambiente a quella dell'edificio, fino ad arrivare al componente edilizio; ciò avviene presentando tuttavia livelli di attenzione diversi che variano a seconda dei protocolli usati. Pertanto passando dal soddisfacimento dei prerequisiti all'attribuzione di un punteggio per i requisiti si giunge alla seguente tabella riepilogativa che sancisce la certificazione ambientale migliore per il nostro oggetto di studio:

CERTIFICAZIONE AMBIENTALE	LEED	BREEAM	ITACA	MINER GIE ECO	GBCI	PASSIV HAUS	CASA CLIMA NATURE
PREREQUISITI							
APPLICABILITA' TEMPORALE	X	X	X	X	X	X	X
APPLICABILITA' LIMITE FISICO	X	X	X	X	X		
APPLICABILITA' TIPO DI INTERVENTO EDILIZIO	X	X	X	X	X		
APPLICABILITA' CATEGORIA EDILIZIA	X	X	X	X			
REQUISITI							
SPECIFICITA' INDICATORI PER LA TIPOLOGIA EDILIZIA SCOLASTICA	2	2	2	1			
SUCCESSO SUL MERCATO	3	3	1	3			
CONFRONTO DI I LIVELLO: AREE DI VALUTAZIONE	5	4	2				
CONFRONTO DI II LIVELLO: CATEGORIE	5	3	3				
RAFFRONTO FINALE							
PUNTI TOTALI	15	12	7				

Tab. 1.18 Tabella finale riassuntiva della scelta critica della certificazione ambientale

La certificazione con il punteggio più alto risulta essere LEED, per cui viene scelta come modello base su cui impostare criteri ancora più specifici per una progettazione completa e mirata del polo scolastico oggetto di studio.

1.6 Nuovi criteri di valutazione

Le certificazioni ambientali in generale non prestano particolare attenzione alle problematiche di spazi ed esigenze specifiche di un sistema scolastico, soffermandosi solo su ciò che compete la sfera di tutela del territorio e dell'ambiente, del fabbisogno energetico e sulla mobilità sostenibile. Anche la metodologia di attribuzione dei punti (Leed ed Itaca in particolare) risulta spesso poco chiara e laboriosa con svariate alternative di calcolo. Persino la normativa italiana, che risulta essere inadeguata alle metodologie di insegnamento attuale, manca sulla definizione di indici spaziali e funzionali: essa si limita a proporre dei valori minimi o linee guida di adeguamento per un patrimonio di edilizia scolastica ormai datato ed incapace di soddisfare le esigenze di un nuovo metodo di didattica, che prevede l'ausilio di mezzi sempre più informatizzati e un approccio studente-docente volto verso un apprendimento di gruppo e non più solo frontale. Inoltre non viene preso in considerazione ciò che comporta l'inserimento di un'istituzione scolastica nel contesto urbano-sociale del territorio, creando legami e aprendosi verso uno sviluppo condiviso, con l'utenza direttamente interessata e il territorio circostante. Occorre dunque creare una nuova certificazione che tenga conto di tutti i fattori che interessano le dinamiche di un ambiente scolastico: gli spazi sociali e per l'apprendimento non vengono più considerati come elementi a sé stanti come le strutture realizzate tra gli anni '70 e '90 (circa il 70 % del totale), ma pensati come interagenti e coesistenti all'interno di un singolo ambiente. Questo nuovo metodo di valutazione è specifico per l'edilizia scolastica e aiuta a cambiare il metodo di progettare considerando come parti dello stesso processo produttivo gli aspetti urbanistici, sociali, di sostenibilità, funzionali e architettonici, integrando le certificazioni studiate in un quadro più completo.

1.6.1 Scelta dei casi studio

Per poter verificare l'efficacia della nuova certificazione si rende necessario scegliere innanzitutto dei casi studio di edifici scolastici innovativi con metrature paragonabili tra loro ma con tecnologie costruttive differenti per metodologia di intervento e di materiali impiegati: infatti si vuole valutare

quanto sia incidente una determinata scelta del materiale costruttivo o della modalità di intervento tra il recupero (con l'aggiunta di nuovi corpi di fabbrica) e alla nuova costruzione. Un'altra variabile presente tra le scuole scelte è la differenza del grado scolastico, mentre la localizzazione geografica rimane circoscritta al Nord Italia per non avere differenze climatiche eccessive che possano stravolgere le scelte impiantistiche, di isolamento e di conformazione. Le scuole selezionate sono tratte dal libro *"Progetti di scuole innovative"*.

1.6.1.1 Scuola professionale alberghiera "Savoy" a Merano

Scuola superiore professionale; ampliamento; 2015; studio Stifter+Bachmann.

L'edificio esistente del "Savoy" fu realizzato nel 1895 come pensione, in seguito ampliato e trasformato in hotel nell'anno 1900. Dopo vari passaggi di proprietà nell'anno 1967 la provincia autonoma di Bolzano acquista l'edificio che diventa così la sede della scuola professionale alberghiera per 600 alunni. Il progetto costituisce un tentativo di porre in relazione edifici di differenti epoche, dando vita ad un luogo di dialogo e forte identità. L'idea mira alla creazione di un ambiente scolastico che offra una tipologia innovativa di scuola. Il concetto pedagogico-didattico incide sugli spazi della scuola che devono essere flessibili e polifunzionali, accostando alle aule tradizionali ad ambienti aperti e trasparenti. Il materiale principale adottato per l'involucro esterno è il calcestruzzo, senza giunti di dilatazione. L'inserimento di un progetto moderno in un tracciato storico come la città di Merano e le facciate inclinate a riprendere lo stile Liberty fanno dell'edificio una scuola innovativa.

1.6.1.2 La "Scuola nel parco" a Montelupo Fiorentino

Scuola elementare; nuova costruzione; 2013; servizio Lavori Pubblici.

La scuola progettata dall'Amministrazione Comunale di Montelupo Fiorentino soddisfa il fabbisogno dell'ufficio Scolastico a seguito della rilevazione continua dei dati anagrafici previsionali di popolazione in età prescolare e scolare, che ha individuato come necessaria la realizzazione di 25 classi di scuola primaria e 6 sezioni di scuola dell'infanzia integrate con la dotazione di servizi come la palestra, la mensa, le aule di sostegno, gli spazi connettivi e di socializzazione.



Fig.1.6 Scuola professionale alberghiera "Savoy", Merano (BZ)



Fig.1.7 La "Scuola nel parco", Montelupo Fiorentino (FI)



Fig.1.8 Nuovo plesso scolastico, Polcenigo (PN)



Fig.1.9 Polo per l'infanzia "Firmian", Bolzano (BZ)

Il rapporto con l'ambiente è garantito da pareti finestate che favoriscono l'osservazione della natura. La progettazione architettonica considera sia gli aspetti relativi alla scelta di materiali ecosostenibili, sia quelli relativi al massimo contenuto energetico nonché l'ottimizzazione dello sfruttamento degli apporti solari. I materiali utilizzati sono innovativi e ad alto rendimento: il legno è scelto come elemento strutturale sopra terra e ulteriori materiali naturali abbracciano l'involucro garantendo la sostenibilità del progetto.

1.6.1.3 Nuovo plesso scolastico a Polcenigo

Scuola media; ampliamento; 2013; ELASTICOSPA+3; ing. Stefano Santarosa.

La scuola si inserisce nel paesaggio montuoso della provincia di Pordenone. Attestandosi davanti al vecchio istituto, con cui condivide lo spazio esterno del giardino, il nuovo edificio forma con esso una configurazione a corte centrale. Alla suddivisione funzionale dell'intervento in scuola media ed elementare corrisponde un impianto planimetrico costituito da due ali distinte e ruotate tra loro, ricavando nel punto di cerniera l'atrio d'ingresso. L'edificio presenta un piano fuori terra con struttura portante ad anelli in legno tipo Platform frame, a cui si aggiungono due telai metallici con colonne in acciaio e travi in legno a sostegno dell'orditura secondaria. La progettazione tiene conto dei parametri climatici e predispone l'edificio ad una eventuale estensione.

1.6.1.4 Polo per l'infanzia "Firmian" a Bolzano

Asilo nido, asilo e centro famiglia; nuova costruzione; 2012; MoDus Architects.

Il complesso scolastico si trova nel nuovo quartiere Sud di Bolzano. Il progetto include anche le infrastrutture e la sistemazione della piazza antistante. Le tre funzioni dedicate all'infanzia sono perfettamente integrate nell'edificio, il quale permette non solo la riservatezza tra le parti ma anche un'integrazione spaziale visiva e fisica attraverso tre corti allungate; insieme agli spazi di circolazione e alla permeabilità degli accessi si crea il senso di comunità, partecipazione e di sviluppo interiore. L'edificio mira a stimolare i sensi del bambino offrendo configurazioni spaziali interne ed esterne differenti a partire dalle molteplici soluzioni di illuminazione naturale o cambiamenti di altezze.

1.6.2 Confronto preliminare con il LEED

Prima di impostare i nuovi indici è interessante capire come queste quattro scuole di esempio siano valutate rispetto alla certificazione ritenuta più consona individuata nel capitolo precedente, ovvero LEED. Applicando ove possibile i punteggi relativi ai criteri della stessa si ottengono i seguenti risultati compilando la tabella excel messa a disposizione dall'ente certificatore:

CERTIFICAZIONE LEED - SCHOOLS	SAVOY	SCUOLA NEL PARCO	SCUOLA POLCENIGO	FIRMIAN
Categorie	Punteggi parziali			
PROCESSO INTEGRATO	1/1	1/1	1/1	1/1
LOCALIZZAZIONE E TRASPORTI	8/15	3/15	5/15	6/15
SOSTENIBILITA' DEL SITO	3/12	7/12	6/12	3/12
GESTIONE DELLE ACQUE	10/12	9/12	9/12	10/12
ENERGIA E ATMOSFERA	25/31	26/31	26/31	17/31
MATERIALI E RISORSE	10/13	10/13	11/13	10/13
QUALITA' AMBIENTALE INTERNA	16/16	16/16	15/16	16/16
INNOVAZIONE	3/6	3/6	2/6	3/6
PRIORITA' REGIONALI	4/4	4/4	4/4	4/4
Risultati	Punteggi totali			
PUNTEGGIO ATTRIBUITO	80/110	79/110	78/110	70/110
CLASSE DI VALUTAZIONE	Platinum	Gold	Gold	Gold

Tab. 1.19 Punteggi della certificazione LEED delle quattro scuole esemplificative

Si precisa che per alcuni criteri, non conoscendo le informazioni tecniche di progetto, si sono impostati i valori massimi per tutte le scuole, in modo da far emergere solo le differenze note. Dall'analisi dei risultati si deduce che:

- Un buon punteggio totale dipende molto dalla documentazione fornita, dal metodo di progettazione, dalle analisi svolte e dalla gestione del cantiere.
- I criteri legati a suddetti temi sono anche i più difficili da reperire e quantificare se non dalle persone direttamente coinvolte nel progetto.

- La prestazione energetica dell'edificio pesa molto a livello globale e ha infatti penalizzato l'asilo Firmian pur avendo molti punti di forza negli altri ambiti.

- I casi studio in ambito cittadino (asilo a Firmian e professionale Savoy) hanno generalmente punteggi più alti nell'area di Localizzazione e Trasporti, mentre quelli in contesti più rurali (elementari di Montelupo e plesso di Polcenigo) hanno punteggi maggiori nella Sostenibilità del sito, il che bilancia i punteggi complessivi ma non permette comunque il raggiungimento dell'eccellenza.

- Pur essendoci requisiti obbligatori, molti criteri dei campi Energia, Materiali e Qualità indoor sono garantiti nei punteggi massimi dalla normativa italiana e quindi appiattiscono la differenza tra le scuole.

La certificazione LEED è dunque il punto di partenza per l'elaborazione di una certificazione sperimentale che possa rispondere ancora meglio alle esigenze della scuola odierna. L'aspetto procedurale ed energetico risulta essere ancora molto determinante a livello globale e alcuni aspetti importanti dell'edilizia scolastica differenziata per livello non vengono ancora considerati. Per cui gli obiettivi di questo esperimento sono: meno calcoli e più indicazioni progettuali per una certificazione più accessibile; un sistema più flessibile di criteri in modo da dare ad ogni situazione la possibilità di ottenere un punteggio elevato; l'integrazione con le direttive progettuali della normativa italiana vigente.

1.6.3 Costruzione della nuova certificazione

Partendo da analisi sulla normativa vigente, trattata nel punto 1.3, e sulle considerazioni del MIUR relative ai nuovi spazi e tecniche di apprendimento, sono redatte delle categorie generali in cui inserire i crediti di riferimento pesati in modo opportuno; i punteggi mirano ad essere facilmente attribuibili grazie a metodi di calcolo ben definiti. Per non andare a creare disparità tra edifici di nuova costruzione ed edifici esistenti sul territorio, i quesiti sono spesso diversificati per entrambe le tipologie di intervento: un edificio di nuova realizzazione ha sicuramente il vantaggio di soddisfare i requisiti con punteggi alti rispetto a edifici storici da recuperare e adeguare alla normativa, così come per edifici inseriti in un contesto fortemente antropizzato rispetto altri con

larga disponibilità di terreno. Proprio a questo proposito per ogni categoria vengono aggiunti uno o più crediti extra che possono essere acquisiti in mancanza di uno o più elementi dei crediti precedenti, così da favorire una valutazione equa per ogni edificio. Inoltre molteplici crediti sono differenziati in base al contesto di inserimento dell'edificio e alla tipologia di utenza: infatti non è corretto paragonare scuole primarie e secondarie senza aver fatto prima delle considerazioni adeguate, così come per la localizzazione delle scuole in contesti montani rispetto quelli di pianura dove la componente di servizi e mobilità risulta molto differenziata. La creazione degli indici, oltre a tenere conto delle direttive MIUR e della normativa vigente, tiene conto anche di fattori molto spesso trascurati quali la flessibilità degli spazi e la possibilità di modifiche spaziali nel tempo: il fattore tempo deve diventare qualcosa di imprescindibile nella progettazione in quanto le variazioni urbanistiche-sociali comportano delle forti oscillazioni nelle esigenze e nella quantità di utenza; l'edificio deve essere quindi capace di adattarsi a questo cambio di esigenze dovute al rapido sviluppo tecnologico. Alcuni criteri sono legati dal computo di base e possono generare fino a 21 punti extra: tali bonus vengono incontro alle differenti situazioni in cui potrebbe trovarsi una scuola e molti si attivano solo in mancanza di determinati requisiti. Essi infatti vengono inseriti per facilitare il confronto tra scuole nuove e recuperate senza sminuire queste ultime. Nella tabella seguente sono inseriti tutti i criteri e i bonus delle diverse macro-aree con i loro relativi punteggi e modalità di valutazione:

LOCALIZZAZIONE	
PUNTI TOTALI CATEGORIA	9 + 2 bonus
CENTRALITA' DEL SISTEMA SCOLASTICO (una sola scelta)	PUNTI
Sistema scolastico inserito in contesto urbano con funzione centrale rispetto gli aspetti sociali del territorio che lo circonda	2
Sistema scolastico posto in testa a un quartiere o esterno al sistema urbano con funzione di polo attrattore esterno alle tematiche urbane	1
Sistema scolastico totalmente estraneo alle tematiche sociali e agli sviluppi urbani	0
AMBITO DI UTENZA (una sola scelta)	PUNTI
La scuola si apre rispetto al singolo bacino di utenza così definito: - Scuole materne: oltre al quartiere	1

- Scuole elementari: oltre il paese e per città oltre al distretto - Scuole medie: oltre il singolo paese o consorzio (bacino di almeno 5 paesi) - Scuole superiori: il bacino inizia ad essere di livello provinciale	
Sistema scolastico che rimane nei limiti del proprio bacino d'utenza prefissato	0
INTERAZIONE SISTEMA URBANO (una sola scelta)	PUNTI
Sistema scolastico si apre rispetto le tematiche urbane del vicinato intraprendendo tematiche di relazione e possibilità di fruizioni degli spazi	1
Sistema scolastico chiuso che non permette l'interazione con l'esterno.	0
FACILITA' DI RAGGIUNGIMENTO (una sola scelta)	PUNTI
Sistema scolastico facilmente raggiungibile non solo dall'utenza ma anche dai servizi necessari per il suo funzionamento, come ad esempio i trasporti pubblici	1
Sistema scolastico difficilmente raggiungibile non solo per la presenza di infrastrutture adeguate ma anche per il fatto di aprirsi su strade trafficate senza i dovuti spazi per l'avvicinamento o gli accessi facilitati dedicati alle varie utenze.	0
SISTEMA CICLOPEDONALE (una sola scelta)	PUNTI
Presenza di un adeguato sistema ciclo-pedonale (almeno 3 km dalla scuola) che permetta l'avvicinamento a scuola con mezzi di trasporto eco-sostenibili. Presenza di elementi di traffic calming in corrispondenza degli attraversamenti.	3
Presenza di un sistema ciclo-pedonale discreto (almeno 1.5 km) che permetta l'avvicinamento a scuola con mezzi eco-sostenibili. Presenza di marciapiedi e attraversamenti ben segnalati per il raggiungimento sicuro della scuola.	2
Presenza di un sistema ciclo-pedonale scarso (almeno 500 m) che permetta l'avvicinamento a scuola con mezzi eco-sostenibili. Presenza di marciapiedi e attraversamenti ben segnalati per il raggiungimento sicuro della scuola. Presenza nelle immediate vicinanze di arterie particolarmente trafficate.	1
Sistema scolastico isolato da un sistema per l'avvicinamento ad esso tramite mezzi di trasporto sostenibile. Incompletezza pericolosa del sistema di marciapiedi e attraversamenti o presenza di arterie particolarmente trafficate.	0
VICINANZA AI SERVIZI (una sola scelta)	PUNTI
Sistema scolastico inserito in contesto urbano con presenza di funzioni a supporto dell'attività didattica in ogni suo sviluppo.	1
Assenza dei servizi esterni vicini necessari per lo svolgimento della didattica.	0
CONTESTUALIZZAZIONE CON IL TESSUTO ESISTENTE (una sola scelta)	BONUS
Il masterplan di intervento offre opportunità per un'apertura verso le tematiche urbanistiche del quartiere e verso lo sviluppo socio-culturale del territorio.	+ 2
L'intervento si inserisce nel territorio interagendo con esso e offrendo opportunità minime di intervento e modifica del tessuto urbano.	+ 1
L'intervento è chiuso e si discosta dal territorio senza interagire con esso: non viene apportato nessun miglioramento urbanistico e sociale.	0

AMBIENTE ESTERNO	
PUNTI TOTALI CATEGORIA	12 + 4 bonus
SISTEMA DEL VERDE (una sola scelta)	PUNTI
Sistema scolastico realizzato in correlazione con un verde ad uso semi-esclusivo o con tempistiche differenti per l'uso dal resto del tessuto urbano. L'area verde dovrà essere praticabile e in ordine superiore a 1,5 mq ad alunno.	2
Sistema scolastico con verde esclusivo di uso proprio. L'are verde dovrà essere praticabile e in ordine inferiore a 1,5 mq ad alunno.	1
Sistema scolastico inserito in contesto totalmente antropizzato con assenza di verde o con verde presente in piccole aree marginali o non praticabile.	0
AREE VERDI ATTREZZATE (una sola scelta)	PUNTI
Sistema scolastico con annesse le seguenti aree attrezzate all'aperto: - <i>Scuole materne</i> : zona all'aperto adeguatamente pavimentata e anti-abrasioni - <i>Scuole elementari</i> : almeno di una zona campi polivalente per attività all'aperto - <i>Scuole medie/superiori</i> : spazio che può essere anche convenzionato ad una distanza inferiore ai 100 m contenente almeno: pista da 4 corsie di almeno 100 m con spazi di partenza ed arrivo; impianti per il salto in alto, salto in lungo e salto con l'asta, compresa la pedana per il lancio; campo sportivo polivalente.	1
Sistema scolastico che non risponde ail minimo indicato dal punto precedente	0
QUALITA' ACUSTICA (una sola scelta)	PUNTI
Sistema acustico ottimale per il normale svolgimento della didattica: - Distanza da arterie principali di almeno 500 m. - Assenza di attività rumorose (> 40 dB) o incompatibili nel raggio di 1000 m.	2
Sistema acustico discreto per il normale svolgimento della didattica: - Distanza da arterie principali di almeno 200 m. - Assenza di attività rumorose (> 40 dB) o incompatibili nel raggio di 500 m.	1
Sistema acustico problematico per il normale svolgimento della didattica: - Distanza da arterie principali inferiori a 200 m. - Presenza di attività rumorose (> 40 dB) o incompatibili a meno di 500 m.	0
QUALITA' DELL'ARIA (una sola scelta)	PUNTI
Presenza trascurabile dei fenomeni di inquinamento diretto dell'aria: - Distanza da arterie principali di almeno 200 m. - Assenza di attività industriali inquinanti o di trattamento di materiali che producano qualsiasi tipo di esalazione non conforme con quanto prescritto dal regolamento di igiene e salubrità dell'aria nel raggio di 1000 m. - Contesto urbano non troppo antropizzato e abbondante percentuale di verde	2

Presenza lieve dei fenomeni di inquinamento diretto dell'aria: - Distanza da arterie principali di almeno 100 m. - Assenza di attività industriali inquinanti o di trattamento di materiali che producano qualsiasi tipo di esalazione non conforme con quanto prescritto dal regolamento di igiene e salubrità dell'aria nel raggio di 500 m. - Contesto urbano fortemente antropizzato e scarsa percentuale di verde.	1
Assenza dei requisiti sopra elencati.	0
CONTROLLO DELLE FONTI DI PERICOLO (più scelte possibili)	PUNTI
Aree di sosta adeguate per bus e navette con zone sopraelevate per l'attesa. Zona sosta veicoli e parcheggi distante dagli accessi pedonali di almeno 100 m.	1
Sistemi di recinzioni del lotto adeguate anti intrusione e antisfondamento. Accessi differenziati per utenza con sistemi di chiusura degli ingressi possibilmente automatico. Presenza di sistemi di controllo agli ingressi.	1
Accessi distanti almeno 50 m dalle arterie di scorrimento principale per permettere il normale svuotamento della scuola negli orari di punta.	1
SISTEMI DI PARCHEGGIO (una sola scelta)	
L'area per il parcheggio è di almeno 1 m ² ogni 5 m ² di superficie lorda edificata. Il numero di posti auto si ottiene dividendo l'area del parcheggio per 25 m ² . Sono previsti posti auto riservati ai disabili in ragione di 1 ogni 40 posti auto. Presenza di parcheggio per biciclette in area protetta pari a 0,2 m ² / alunno.	2
L'area per il parcheggio è minore di 1 m ² ogni 5 m ² di superficie lorda edificata. Presenza di parcheggio per biciclette in area protetta minore di 0,2 m ² / alunno. Oppure assenza di parcheggio veicolare ma presenza di un parcheggio convenzionato ad una distanza inferiore a 500 m con percorsi sicuri.	1
Assenza di parcheggi propri o convenzionati a distanze inferiori a 500 m. Assenza di parcheggio ciclabile per gli alunni.	0
SISTEMI DI ABBATTIMENTO CON BARRIERE VERDI (più scelte possibili)	BONUS
Sistemi di abbattimento del rumore in aree antropizzate fatti con barriere verdi.	+1
Realizzazione di sistemi artificiali per abbattimento del rumore in contesti antropizzati con schermature che non pregiudichino la qualità architettonica. Oppure installazione di doppi vetri e pareti con abbattimento di almeno 40 dB.	+1
CONDIVISIONE DI AREE PARCHEGGIO O ATTREZZATE (più scelte possibili)	BONUS
In assenza di aree proprie destinate a parcheggio la scuola ha convenzioni con parcheggi o presenta parcheggi liberi ad una distanza massima di 500 m.	+1
In assenza di servizi sportivi o spazi verdi propri la scuola può usufruire di luoghi esterni utilizzando sistemi autonomi per il loro raggiungimento (bus con tempistica inferiore ai 10 min) o percorsi sicuri con distanze inferiori di 1500 m.	+1

DIMENSIONI EDIFICIO E CONFORMAZIONE	
PUNTI TOTALI CATEGORIA	17+2 bonus
FLESSIBILITA' DEGLI SPAZI (una sola scelta)	PUNTI
Struttura interna puntiforme con blocchi fissi di risalita per favorire la realizzazione di spazi didattici di dimensioni differenti nel tempo e la versatilità di destinazioni d'uso. Grande versatilità impiantistica.	3
La struttura interna fornisce ridotte possibilità di riorganizzazione interna, limitatamente ai corpi aule tramite l'ausilio di pareti scorrevoli o a scomparsa, di un arredo flessibile alle esigenze e di un impianto elettrico e luminoso versatile.	2
La struttura interna risulta rigida e permette la variabilità solo in aree limitate mediante l'ausilio di pareti scorrevoli. Gli impianti e l'arredo difficilmente offrono possibilità di essere impiegati per attività differenti.	1
Sistema scolastico completamente rigido e difficilmente modificabile.	0
ACCESSO ALL'EDIFICIO (una sola scelta)	PUNTI
Presenza di più sistemi d'accesso differenziati per utenza, sorvegliati, dotati di bussola per il risparmio energetico e protetti da pensiline. L'ingresso dovrà essere dotato di spazi di accoglienza, zone di attesa dotati di strumenti di comunicazione come pannelli per informazioni cartacee, postazioni di computer, schermi, proiezioni per aggiornare genitori ed ospiti sui programmi didattici e sulla quotidiana attività della comunità scolastica. Presenza di un ingresso principale con possibilità di accesso alle diverse aree della scuola. Dimensione dell'atrio superiore ai 0,3 m ² /alunno.	3
Presenza di più sistemi d'accesso differenziati per utenza, non tutti sorvegliati e protetti da pensilina, dotati di buona parte dei servizi sopra elencati. Il raggiungimento delle aree risulta meno diretto ma ancora facilmente intuibile. Dimensione dell'atrio superiore ai 0,2 m ² /alunno.	2
Sistema scolastico dotato di più sistemi d'accesso non sorvegliati, poco protetti o poco dotati dei servizi sopra elencati. L'accesso alle varie aree risulta difficile. Dimensione dell'atrio inferiore ai 0,2 m ² /alunno.	1
Sistema scolastico con accesso singolo non sorvegliato, senza spazi accoglienza né supporti informativi. Dimensione dell'atrio minore di 0,2 m ² /alunno.	0
CONSUMO DEL SUOLO E SUPERFICIE LORDA MINIMA (una sola scelta)	PUNTI
L'area di copertura dell'edificio deve essere inferiore a 1/3 della superficie del lotto, di cui almeno il 20% drenante. L'altezza interna netta è maggiore di 3,0 m e si considerano aule di circa 25 alunni. La SLP per tipo di scuola è minimo: - Scuole materne: 7,00 m ² /alunno (165 m ² /classe), massimo un piano fuori terra. - Scuole elementari: 7,56 m ² /alunno (153 m ² /classe), massimo 3 piani. - Scuole medie: 11,02 m ² /alunno (202 m ² /classe), massimo di 3 piani. - Scuole superiori: 10,00 m ² /alunno (166 m ² /classe), massimo 4 piani.	3

L'area di copertura dell'edificio deve essere inferiore a 1/3 della superficie del lotto, di cui almeno il 15% drenante. L'altezza interna netta è maggiore di 3,0 m e si considerano aule di circa 25 alunni. La SLP per tipo di scuola è minimo: - Scuole materne: 6,67 m ² /alunno (167 m ² /classe), massimo un piano fuori terra. - Scuole elementari: 7,56 m ² /alunno (167 m ² /classe), massimo 2 piani. - Scuole medie: 8,50 m ² /alunno (212 m ² /classe), massimo 3 piani. - Scuole superiori: 7,80 m ² /alunno (195 m ² /classe), massimo 4 piani.	2
L'area di copertura dell'edificio deve essere inferiore a 1/3 della superficie del lotto, di cui almeno il 10% drenante. L'altezza interna netta è maggiore di 3,0 m e si considerano aule di circa 25 alunni. La SLP per tipo di scuola è minimo: - Scuole materne: 6,60 m ² /alunno (175 m ² /classe), massimo un piano fuori terra. - Scuole elementari: 7,56 m ² /alunno (189 m ² /classe), massimo 2 piani. - Scuole medie: 8,50 m ² /alunno (276 m ² /classe), massimo 2 piani. - Scuole superiori: 7,80 m ² /alunno (250 m ² /classe), massimo 3 piani.	1
Valori inferiori al quesito da 1 punto	0
SVILUPPO IN PIANTA (una sola scelta)	PUNTI
Sviluppo in pianta dell'edificio verso l'ambiente con corpo centrale l'atrio e i servizi comuni e le aule nei corpi dei bracci per favorire maggiore illuminazione naturale e interazione con l'ambiente. Ottimale anche lo sviluppo a corte.	2
Sviluppo più contenuto in pianta con articolazioni spaziali di spazi didattici e servizi dislocati in più punti strategici. Garantisce comunque una buona illuminazione naturale ma minore interazione con l'ambiente esterno.	1
Sviluppo in pianta semi-monolitico con poco sviluppo longitudinale ed espansivo nel lotto. Dislocazione rigida e poco funzionale dei servizi e delle aule.	0
INTERAZIONE CON IL VERDE (una sola scelta)	PUNTI
Lo spazio esterno costituisce parte integrante del progetto con formazione di prati, piantumazioni, orti didattici, depositi per attrezzature, giochi, selciati. Il perimetro dell'edificio offre occasioni per rendere interessante la transizione da interno a esterno: portici, logge, giardini di inverno, gazebi, pergolati ecc... In condizioni di alta densità edilizia le coperture possono essere considerate come spazi attrezzati se dotate di zone d'ombra e pergolati a condizione di proteggere gli spazi frequentati dagli studenti con parapetti alti almeno 1,30 m.	2
Lo spazio esterno viene poco trattato per essere impiegato a mezzo didattico o per lo svago. Esternamente sono presenti solo pergolati e tettoie utilizzabili in condizione di bella stagione e non attivamente anche nel periodo invernale.	1
Lo spazio esterno viene considerato come semplicemente uno spazio accessorio al passaggio o con funzione estetica; non vengono prese in considerazione tematiche di didattica volte allo sfruttamento dello spazio esterno.	0
QUALITA' ARCHITETTONICA (più scelte possibili)	PUNTI
L'intervento rispetta le presistenze e crea un dialogo con il contesto urbano	1
Presenza di elementi di bioarchitettura (tetti verdi, terra, legno, paglia, stagni...)	1

IMPIEGO DI MATERIALI COMPATIBILI (una sola scelta)	PUNTI
Impiego di materiali di recupero o provenienti da fonti certificate a basso consumo energetico per almeno il 50%. La fornitura dei materiali è effettuata per almeno il 75% da fornitori della stessa regione e il restante dal territorio nazionale per avere un risparmio di CO ₂ nei trasporti. Il progetto è valorizzato da analisi accurate sul risparmio energetico e sul processo produttivo dei materiali.	2
Impiego di materiali di recupero o provenienti da fonti certificate a basso consumo energetico per almeno il 25%. La fornitura dei materiali è effettuata per almeno il 50% da fornitori della stessa regione, almeno il 15% da territorio nazionale e il restante entro i territori dell'unione europea.	1
Uso indiscrezionale dei materiali indipendentemente dalla provenienza senza analisi sulla produzione, sulle tematiche ambientali e sul risparmio energetico.	0
ATTITUDINE ALL'AMPLIAMENTO (più scelte possibili)	BONUS
Possibilità di inserire a posteriori un corpo aggiuntivo contenente nuovi spazi didattici e servizi annessi nel rispetto della normativa, mantenendo il rapporto di copertura inferiore ai 2/3 del lotto e la superficie permeabile superiore al 10%.	+1
Possibilità di sopraelevare l'edificio di un piano o parte di esso per realizzare nuovi spazi didattici. Il nuovo spazio dovrà rispondere alla normativa antincendi, non comportare modifiche strutturali nell'immobile, avere altezza netta interna non inferiore ai 3 m e dovrà rispettare le norme vigenti in termini di altezze massime in relazione con il contesto di inserimento.	+1
AMBIENTE INTERNO E IMPIANTI	
PUNTI TOTALI CATEGORIA	16+2 bonus
SISTEMI DI ILLUMINAZIONE NATURALE (una sola scelta)	PUNTI
Studio accurato della luce naturale e dei sistemi di oscuramento durante i vari periodi dell'anno. L'illuminazione naturale dei locali della scuola deve assicurare agli alunni il massimo comfort visivo e garantire almeno 300 lux su banchi e lavagne in condizioni di cielo coperto. Esistono sistemi che proteggono dalla luce diretta, privilegiando quella diffusa. Occorre garantire il fattore medio di luce diurna pari a 5% per gli spazi didattici (RI > 1/4), 3% per le palestre e i refettori e 2% per gli uffici, gli spazi di distribuzione, le scale ed eventualmente i bagni.	3
L'illuminazione naturale dei locali della scuola deve assicurare agli alunni il massimo del comfort visivo e garantire almeno 300 lux su banchi e lavagne per il 75% della stanza a cielo coperto e il 100% nelle condizioni di cielo libero; il resto viene coperto da luci artificiali. Il fattore medio di luce diurna è almeno 4% per gli spazi didattici (RI > 1/5), 3% per le palestre e i refettori e 1% per gli uffici, gli spazi di distribuzione, le scale ed eventualmente i bagni.	2

L'illuminazione naturale dei locali della scuola deve assicurare agli alunni il massimo del comfort visivo e garantire almeno 300 lux su banchi e lavagne per il 75% della stanza a cielo coperto e il 100% nelle condizioni di cielo libero per almeno il 50% delle aule; il resto viene coperto da luci artificiali. Il fattore medio di luce diurna è almeno 3% per gli spazi didattici (RI > 1/6), 2% per le palestre e i refettori e 1% per uffici, spazi di distribuzione, scale ed eventualmente i bagni.	1
SISTEMI DI ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE (una sola scelta)	PUNTI
Impiego di impianti regolabili al neon/led nelle aule e flessibili in base all'uso didattico degli spazi e alla qualità della luce naturale, con particolare attenzione ai fenomeni di abbagliamento privilegiando l'illuminazione diffusa.	2
Impiego di impianti al neon/led nelle aule fissi e non modificabili ma che si prestano per l'impiego didattico per l'impiego in base all'uso degli spazi, sempre ponendo attenzione ai fenomeni di abbagliamento con l'illuminazione diffusa.	1
Impiego di impianti fissi, studio poco accurato per i fenomeni di abbagliamento.	0
SERVIZI IGIENICI (una sola scelta)	PUNTI
Presenza di servizi igienici divisi per utenza ad una distanza massima di 30 metri dagli ingressi di ogni aula e laboratorio e dimensionati sul numero di aule: 3 vasi per classe nelle scuole materne e 1 vaso per classe negli altri tipi di scuole, più eventuali vasi per servire spazi lontani. Il locale è ben illuminato ed aerato. Possono essere installati efficienti impianti di aerazione in sostituzione della aerazione diretta nell'anti-latrina. Le latrine sono separate per sesso tranne che nella scuola materna. Le porte dei box sono apribili verso l'esterno, sollevate dal pavimento e munite di chiusura apribile dall'esterno in caso di emergenza. Le latrine hanno il sistema a caduta d'acqua con cassetta di lavaggio o equivalente, purché dotato di scarico automatico o comandato. I vasi sono di tipo misto a tazza allungata, con poggiatesta per essere usati anche alla turca e dotati, al piede della colonna di scarico, di un pozzetto formante chiusura idraulica. Nel locale che contiene le latrine, se destinato ai maschi, saranno di norma collocati anche gli orinatoi con schermature tra l'uno e l'altro. Il locale latrine è munito sul pavimento di un chiusino di scarico ispezionabile a sifone e di una presa d'acqua con rubinetto portagomma per l'attacco di una lancia.	1
Se mancano requisiti del paragrafo precedente.	0
IMPIANTI SANITARI (una sola scelta)	PUNTI
Impianti con funzionamento a sensore e sistemi di asciugatura mani ad aria con sensore. WC a seduta rialzati dal pavimento per motivi igienico sanitari.	2
Impianti con funzionamento a pedale e sistemi di asciugatura mani ad aria manuali. WC realizzati con sedute a terra non rialzate.	1
Impianti a funzionamento manuale, WC con sedute a terra con funzionamento manuale o turche. Porta salviette per l'asciugatura delle mani.	0

IMPIANTO DI AREAZIONE (una sola scelta)	PUNTI
<p>Impianto di ventilazione meccanica in matrice con possibilità di spegnimento e accensione in tranches e di regolazione separata per ambienti. Il meccanismo assicura come base una temperatura fissa di 20 ± 2 gradi e presenza di sensori per il rilevamento di apertura di finestre o porte verso l'esterno.</p> <p>Le portate richieste per gli ambienti adibiti ad attività didattica sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Scuole materne/elementari</i>: coefficiente di ricambio 2,5. - <i>Scuole medie</i>: coefficiente di ricambio 3,5. - <i>Scuole superiori</i>: coefficiente di ricambio 5. <p>Altri ambienti di passaggio, uffici: coefficiente di ricambio 1,5. Servizi igienici, palestre, refettori: coefficiente di ricambio 2,5.</p>	2
Sistema scolastico con impianto di areazione forzata non a matrice che assicuri ricambi d'aria fissi e costanti nel tempo per diversi ambienti d'impiano secondo specifiche taratura. Possibilità di apertura dei serramenti interni all'edificio non rilevati però dall'impianto e quindi con il conseguente spreco di energia.	1
Assenza di impianto di ventilazione meccanica forzata. Il sistema di ricambi d'aria è garantito solo dalla presenza di aperture.	0
IMPIANTO ELETTRICO (una sola scelta)	PUNTI
Impianto elettrico versatile con prese universali a terra o dall'alto protette da scuretti o mascherine con interruttori di accensione. Sistemi di regolazione e quadri elettrici locali per singola aula collegati successivamente a quadri generali così da gestire le aule in caso di pareti a scomparsa per attività di gruppo.	2
Impianto centralizzato con quadri per ogni aula e prese a muro di limitata flessibilità senza presenza di interruttori di protezione per ogni presa.	1
Quadro generale senza interfaccia di gestione delle singole aule. Presenza di cavi volanti o dorsali a vista. Prese non protette e non gestite da interruttori locali.	0
GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE (una sola scelta)	PUNTI
Installazione di vasche per la raccolta ed il riuso delle acque piovane per il mantenimento del verde o per il funzionamento di impianti sanitari.	1
Assenza di studi per il rimpiego e lo sfruttamento delle acque meteoriche.	0
PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI (una sola scelta)	BONUS
Installazione di impianti solari termici, fotovoltaici e sistemi a scambio di calore che supportino almeno il 75% del fabbisogno delle componenti energetiche per il funzionamento dell'edificio.	+2
Installazione di impianti solari termici, fotovoltaici e sistemi a scambio di calore che supportino almeno il 50% del fabbisogno delle componenti energetiche per il funzionamento dell'edificio.	+1
Installazione di impianti solari termici, fotovoltaici con produzione inferiore al 50% del fabbisogno energetico dell'edificio.	0

SERVIZI INTERNI	
PUNTI TOTALI CATEGORIA	6+2 bonus
SPAZIO CUCINA (una sola scelta)	PUNTI
<p>Servizio interno differente per i diversi tipi di istruzione:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Scuole materne/elementari</i>: è preferibile la presenza di una cucina interna per la preparazione degli alimenti e per le attività interattive con gli alunni, di dimensioni maggiori 30 m² e dotata di spazi per la preparazione degli alimenti, la cottura, il lavaggio e l'impiattamento; sono inclusi gli spogliatoi e i servizi interni. Oppure cucina comune per un polo scolastico che include più indirizzi di studio. - <i>Scuole medie/superiori</i>: è preferibile l'ausilio di un servizio esterno. La cucina interna di almeno 15 m² serve solo per il riscaldamento dei cibi e le preparazioni minori e si appoggia a un punto distributivo/baretto per il servizio dei cibi. 	1
Assenza del servizio interno di cucina per gli istituti di istruzione inferiore e per gli istituti secondari l'assenza di cucinino/baretto. Macchinette elettroniche.	0
SPAZIO MENSA (una sola scelta)	PUNTI
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Scuole materne/elementari</i>: locale con funzione specifica di dimensione superiore ai 0,7 m²/alunno direttamente collegato alla cucina. - <i>Scuole medie/superiori</i>: locale versatile con funzione mensa durante il pranzo e attività di svago o studio individuale nel tempo rimanente. Dimensione maggiore di 0,50 m²/alunno. Preferibile la prossimità con il baretto o il luogo di somministrazione pasti. Possibile apertura all'esterno durante la bella stagione. 	2
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Scuole materne/elementari</i>: locale versatile che viene adibito a mensa solo durante il periodo dei pasti, o locale mensa con dimensioni minori di 0,7 m². - <i>Scuole medie/superiori</i>: locale mensa con dimensioni minori di 0,5 m²/alunno. Impossibilità di pranzare all'aperto durante la bella stagione. 	1
Assenza di servizio mensa interno con necessità di uscire dal plesso scolastico.	0
- <i>Scuole medie/superiori</i> : assenza di spazi per il consumo dei pasti.	0
SPAZIO AMMINISTRATIVO (una sola scelta)	PUNTI
<p>Gli spazi amministrativi delle scuole devono poter funzionare in modo indipendente dalle attività didattiche, anche a livello impiantistico. La loro collocazione è facilmente percepibile dall'atrio della scuola e raggiungibile senza creare interferenze con l'attività didattica. Devono comprendere zone di attesa per il pubblico e aree dedicate ai colloqui con i genitori con le dovute attenzioni alla privacy. Gli spazi per i docenti devono avere zone riunione e per la ricerca, archivi per i fascicoli personali dei docenti (vicini a quelli per gli elaborati degli alunni) e spogliatoi con armadietti individuali e servizi igienici. Per le scuole materne/elementari bastano 100 m², per gradi superiori almeno 0,5 m²/alunno.</p>	1
Valori inferiori al quesito precedente o presenza di spazi non conformi.	0

BIBLIOTECA (una sola scelta)	PUNTI
Presenza di biblioteca interna non solo per uso didattico ma aperta anche al pubblico in fasce orarie diverse dall'impiego scolastico ma con accessi differenti. E' dotata di postazioni pc e tavoli per studio individuale. Almeno 0,5 m ² /alunno.	2
Presenza di biblioteca interna ad uso esclusivo per studio didattico dotata di postazioni pc, tavoli per studio individuale e di ricerca. Almeno 0,3 m ² /alunno.	1
Assenza di biblioteca intena all'istituto o di dimensioni minori di 0,3 m ² /alunno.	0
CONVENZIONE CON SERVIZI ESTERNI ALLA SCUOLA (più scelte possibili)	BONUS
In assenza di servizio di biblioteca interno si può usufruire di biblioteche o librerie esterne convenzionate situate a meno di 1500 m dalla scuola.	+1
In assenza di spazio mensa interno alla scuola è possibile usufruire di spazi e servizi esterni appositi per l'accoglienza e l'alimentazione a meno di 1500 m.	+1
DIDATTICA	
PUNTI TOTALI CATEGORIA	17+3 bonus
FLESSIBILITA' DEL SISTEMA DIDATTICO (una sola scelta)	
Almeno il 75% delle aule consentono attività in piccoli e grandi gruppi ma anche individuali, pareti scorrevoli consentono di coinvolgere spazi interclasse o di allargarsi negli spazi comuni rendendo i confini della sezione sfumati e flessibili. Lo spazio aula è dato da ambienti a dimensione variabile, separati da pareti scorrevoli opache o trasparenti per consentire il lavoro di piccoli gruppi così come le lezioni per 60/70 allievi. L'effettiva possibilità di variare gli spazi deve essere consentita da una opportuna modularità dei sistemi impiantistici, come illuminazione e l'aria primaria, e si può facilmente regolare l'illuminazione.	3
Almeno il 50% delle aule garantiscono la possibilità di adattamento degli spazi mediante l'impiego di pareti scorrevoli o a scomparsa. Gli impianti permettono limitate combinazioni interne per via della non modularità della struttura e l'illuminazione non sempre soddisfa le necessità delle varie funzioni da svolgere. Il sistema di arredo risulta versatile e capace di adattarsi al lavoro individuale come al lavoro in macro-gruppi, aiutando a passare da una didattica fortemente frontale a una diretta con l'intervento diretto degli alunni.	2
Almeno il 25% delle aule garantiscono la possibilità di adattamento degli spazi mediante l'impiego di pareti scorrevoli o a scomparsa. Gli impianti permettono limitate combinazioni interne per via della non modularità della struttura e l'illuminazione non sempre soddisfa le necessità delle varie funzioni. Il sistema di arredo risulta poco versatile e incapace di adattarsi sia al lavoro individuale, sia al lavoro in macro-gruppi attraverso lo spostamento e l'assemblaggio.	1
Sistema scolastico rigido con aule versatili in percentuale inferiori al 25% con grandi difficoltà di svolgimento di attività differenti dalla didattica tradizionale.	0

DIDATTICA AVANZATA NELLE AULE (una sola scelta)	PUNTI
Presenza di impianti modulari che permettano l'integrazione di sistemi di didattica avanzata con l'ausilio di formati digitali (tablet, pc, proiettori) in tutte le aule della scuola da alternare alla didattica frontale.	2
Sistema scolastico dotato in minima parte di strumenti informatizzati a supporto dell'attività didattica. Le aule attrezzate risultano essere superiori al 50%.	1
Sistema scolastico scarsamente dotato di strumenti informatizzati a supporto dell'attività didattica o dotato di strumenti informatizzati e audio/visivi antiquati. Le aule attrezzate risultano essere inferiori al 50%.	0
QUALITA' AMBIENTALE (una sola scelta)	PUNTI
Presenza di uno studio approfondito per il dimensionamento delle aule e l'inserimento di colori, materiali e arredi studiati per favorire un miglior rapporto dello studente con l'ambiente scolastico. Dimensione di un'aula (25 alunni): - Scuole materne/elementari/medie: > 1,8 m ² /alunno - Scuole superiori: > 1,96 m ² /alunno	1
Assenza di studi specifici sulla qualità ambientale o aule sottodimensionate.	0
QUALITA' DEL SISTEMA LABORATORIALE (una sola scelta)	PUNTI
Presenza di tutte le tipologie necessarie allo svolgimento delle attività didattiche specialistiche e laboratoriali con le seguenti dimensioni: - Atelier: dimensioni > 2,50 m ² /alunno capace di contenere - Laboratori base: dimensioni > 2,07 m ² /alunno + 0,5 m ² /alunno per i depositi. - Laboratori specialistici: dimensioni > 3,00 m ² /alunno capace di contenere più classi in contemporanea e di essere aperto anche per attività extra-scolastiche. Alcuni laboratori come l'atelier possono essere polifunzionali o versatili. L'aula magna può diventare una sorta di atelier se ben progettata.	2
Presenza di buona parte delle tipologie necessarie allo svolgimento delle attività didattiche specialistiche e laboratoriali con le stesse dimensioni precedenti. I laboratori sono incapaci nella maggior parte dei casi di contenere più classi e di essere aperti al pubblico e possono essere in comune anche tra più istituti se non posti a una distanza superiore a 500 m.	1
Assenza di un buon sistema laboratoriale capace di soddisfare le esigenze di insegnamento didattico. I laboratori sono piccoli e mal forniti. E' necessario usare spazi laboratoriali esterni all'istituto ad una distanza superiore a 500 m.	0
PALESTRE E SPOGLIATOI (una sola scelta)	PUNTI
Presenza di palestra regolamentare interna alla scuola con area esterna attrezzata utilizzabile nella bella stagione. E' possibilmente utilizzabile anche da utenti esterni fuori dall'orario scolastico. Gli spogliatoi sono divisi per categoria.	2

Presenza di palestra non regolamentare ad uso esclusivo della scuola con annessi servizi e spogliatoi. Possibilità di avere spazio esterno attrezzato o in appoggio ad altro istituto esterno ad una distanza inferiore ai 3000 m.	1
Assenza di palestra interna o di dimensioni troppo piccole per essere usata in contemporanea da più classi dell'istituto, con necessità di usufruire di servizi esterni a una distanza superiore ai 3000 m. Assenza di spazi esterni attrezzati.	0
SPAZI CONNETTIVI (una sola scelta)	PUNTI
Presenza di spazi connettivi con funzione non solo di collegamento, ma con funzione di luogo sociale o luogo di studio con l'isierimento di sedute e arredi per lo svolgimento di attività di studio individuale o di relazione.	1
Assenza di altre funzioni oltre a quelle di semplici collegamento.	0
PIAZZA / AULA MAGNA (una sola scelta)	PUNTI
Presenza di piazza/aula magna con capienza pari ad almeno 2/3 degli alunni dell'istituto pur mantenendo inalterati i passaggi e la sicurezza normativa. Lo spazio è svuotabile e versatile per manifestazioni o come locale accessorio. Presenza di un impianto tecnologico moderno e versatile con proiettore, schermo di proiezione e luci regolabili. Le sedute sono facilmente spostabili e riponibili in un opportuno deposito. Presenza di palco sopraelevato ben illuminato da luce naturale ma anche con possibilità di totale oscuramento. Pavimento antidrucciolo e possibilmente in leggera pendenza verso il palco. In presenza di una piazza coperta annessa, l'aula magna può avere sedute fisse. Il locale può essere anche usato per eventi esterni in orario non scolastico.	2
Presenza di piazza/aula magna ad uso esclusivo della scuola e con capienza inferiore ai 2/3 degli alunni. Aula non versatile (anche dal punto di vista impiantistico) o costituita a gradoni che la rendono difficilmente praticabile dai disabili. Lo spazio può essere completamente oscurato ma non garantisce completo comfort di illuminazione naturale senza l'ausilio di luci artificiali.	1
Assenza di aula magna o presenza di locale video che non può contenere più della metà degli alunni senza violare le condizioni di affollamento e sicurezza.	0
POSTI STUDIO INDIVIDUALI (una sola scelta)	PUNTI
Presenza di spazi individuali accorpati o distribuiti in qualunque posto non sfruttato che può diventare un luogo sociale se opportunamente progettato. Sono luoghi informali ottenuti nei collegamenti tramite tavoli e sedute o in biblioteca. Anche le aule mensa possono essere utilizzate negli orari opportuni. Prevedere luoghi di relax o studio individuale almeno pari a 0,5 m ² /alunno, di cui 0,3 fissi e 0,2 ricavabili da spazi flessibili (mense, aula magna, etc...) o all'aperto. In città è possibile sfruttare le coperture se opportunamente protette.	2
Posti di studio individuale ottenuti solo come spazi di risulta o come spazi in biblioteca interna all'istituto. E' possibile usare la mensa o altri luoghi versatili. Superficie dedicata inferiore ai 0,5 m ² /alunno.	1

Assenza di luoghi di studio individuale all'interno del sistema scolastico né nella biblioteca interna se non provvisti di un buon livello di privacy.	0
ATTIVITA' ALL'APERTO (una sola scelta)	PUNTI
Sfruttamento dei luoghi esterni mediante portici, verande, teatri all'aperto, ecc... prevedere nel progetto di orti botanici e altre attività didattiche all'aperto. Il sistema di aule si può espandere verso l'esterno mediante giardini d'inverno o tetti verdi. Presenza di spazi relax e individuali esterni.	2
Sfruttamento parziale dei luoghi esterni all'edificio sia per la morfologia limitante dell'edificio sia per la mancata progettazione di dialogo degli spazi. Gli spazi esterni sono progettati per studi di gruppo, individuale e di relax, ma senza prestare particolare attenzione ad aspetti didattici diretti. In assenza di verde sufficiente per la realizzazione di didattiche esterne è possibile sfruttare le coperture degli immobili se praticabili e opportunamente messe in sicurezza.	1
Mancato sfruttamento degli spazi verdi esterni per la creazione di posti studio o luoghi didattici alternativi a quelli interni. Assenza di spazi esterni da impiegare.	0
SERVIZI IN CONVENZIONE CON LA SCUOLA (più scelte possibili)	BONUS
In assenza di palestra o di spazi dedicati all'attività sportiva idonea, presenza di spazio sportivo convenzionato a una distanza non superiore ai 3000 m dove svolgere attività fisica. Tale struttura è dotata internamente di una palestra regolamentare, di una zona all'aperto con campo regolamentare e pista da corsa o di una piscina, il tutto ad uso esclusivo degli studenti durante le lezioni.	+1
In assenza di biblioteca interna o di spazi studi individuali, presenza di biblioteca o libreria convenzionata distante non più di 2000 m dotata di spazi per lo studio individuale con adeguato livello di privacy, per attività di ricerca e di gruppo.	+1
In assenza di spazi aperti per attività didattiche integrative, presenza di imprese agricole o parchi che possano ospitare le attività didattiche in sicurezza e con possibilità di essere resi parzialmente o totalmente esclusivi durante la lezione. Distanza non superiore ai 2000 m raggiungibile in sicurezza a piedi o con i mezzi.	+1
SICUREZZA E ANTINCENDIO	
PUNTI TOTALI CATEGORIA	13+4 bonus
RESISTENZA AL FUOCO DELLE STRUTTURE (una sola scelta)	PUNTI
Strutture realizzate con resistenza al fuoco di almeno REI 90 (strutture portanti) e REI 90 (strutture separanti), senza tener conto di altri sistemi di protezione.	2
Strutture realizzate con resistenza al fuoco di almeno REI 60 (strutture portanti) e REI 60 (strutture separanti) per edifici con altezza fino a 24 m; per altezze superiori devono essere garantita una resistenza al fuoco almeno REI 90 (strutture portanti) e REI 90 (strutture separanti). Requisiti che dovrà sostenere la struttura senza tenere conto di eventuali sistemi di protezione aggiuntivi.	1

Sistema scolastico le cui strutture da sole non rispettano i requisiti imposti da normativa e necessitano pertanto di ulteriori sistemi protettivi.	0
REAZIONE AL FUOCO DEI MATERIALI (una sola scelta)	PUNTI
Presenza per meno del 50% in tutti i locali della scuola di materiali di classe 1 e in classe 0 nelle parti rimanenti. I rivestimenti lignei possono essere mantenuti in opera, tranne che nelle vie di esodo e nei laboratori, a condizione che vengano opportunamente trattati con prodotti vernicianti omologati di classe 1. Assenza di materiali combustibili su entrambe le facce (tendaggi, etc...).	3
Negli atri, nei corridoi, nei disimpegni, nelle scale, nelle rampe e nei passaggi è consentito l'impiego dei materiali di classe 1 per meno del 50% della loro superficie totale (pavimento + pareti + soffitto + scale) e 0 per il rimanente; in tutti gli altri ambienti è consentito che le pavimentazioni siano di classe 2 per meno del 25% e il resto di classe 1. I materiali combustibili su entrambe le facce (tendaggi ecc...) devono essere al massimo di classe 1. Negli edifici recuperati questi ultimi ambienti possono avere una classe 2 se in presenza di impianti di spegnimento automatico asserviti ad impianti di rivelazione incendi.	2
Negli atri, nei corridoi, nei disimpegni, nelle scale, nelle rampe e nei passaggi è consentito l'impiego dei materiali di classe 1 per meno del 50% della loro superficie totale (pavimento + pareti + soffitto + scale) e 0 per il rimanente; in tutti gli altri ambienti è consentito che le pavimentazioni siano di classe 2 e i resto di classe 1. Eventuali materiali di rivestimento combustibili vanno posti in opera in aderenza ad elementi costruttivi di classe 0.	1
Assenza dei requisiti sopra elencati o compensazione della mancanza di alcuni requisiti con impianti di spegnimento automatico.	0
LUNGHEZZE DELLE VIE DI FUGA (una sola scelta)	PUNTI
Lunghezza massima delle vie di fuga pari a 40 m, misurata dal luogo sicuro alla porta più vicina di ogni locale didattico; per altri locali è inferiore ai 50 m. Favorire l'uscita verso l'esterno da ogni piano dell'edificio direttamente al luogo sicuro o mediante scale protette costituite al massimo da una sola rampa.	2
Lunghezza massima delle vie di fuga pari a 40 m, misurata dal luogo sicuro alla porta più vicina di ogni locale. Il raggiungimento del luogo sicuro non è diretto per tutti i locali ma avviene mediante scale interne/esterne di oltre una rampa.	1
Lunghezze delle vie di fuga inferiori a 60 m.	0
IMPIANTI DI RILEVAZIONE E SPEGNIMENTO (una sola scelta)	PUNTI
Oltre all'impianto previsto da normativa costituito da reti di idranti l'edificio ha: - <i>Estintori</i> : portatili e di capacità estinguente non inferiore 13 A, 89 B, C di tipo approvato dal Ministero dell'Interno con almeno un estintore ogni 150 m ² . - <i>Impianti fissi di rivelazione e/o di estinzione degli incendi</i> : l'impianto di rilevamento incendi è presente in tutto l'edificio ed è presente anche un impianto di spegnimento nei locali interrati e nei depositi.	2

Oltre l'impianto previsto da normativa costituito da reti di idranti l'edificio ha: - <i>Estintori</i> : portatili e di capacità estinguente non inferiore 13 A, 89 B, C di tipo approvato dal Ministero dell'Interno con almeno un estintore ogni 200 m ² . - <i>Impianti fissi di rivelazione e/o di estinzione degli incendi</i> : per i locali con carico d'incendio superiore a 30 kg/m ² va installato un impianto di rivelazione automatica (fuori terra) o di estinzione ad attivazione automatica (interrato).	1
Assenza dei requisiti sopra elencati.	0
CAPACITA' DI DEFLUSSO E VIE D'USCITA (una sola scelta)	PUNTI
Capacità di deflusso non superiore a 50 per piano per via di uscita con minimo 2 uscite sicure a piano. Avere almeno due uscite per luogo didattico di dimensione non inferiore a 1,2 m con maniglione antipanico e apertura nel verso di esodo. L'apertura delle porte non deve ridurre lo spazio di percorrenza annesso.	1
Assenza dei requisiti sopra elencati.	0
COMPARTIMENTAZIONI (una sola scelta)	PUNTI
Edifici compartimentati su singoli piani sfruttando gli orizzontamenti dei solai. Per gli edifici di nuova costruzione i compartimenti sono al massimo di 4000m ² fino ad un'altezza di 24m; oltre inferiori ai 2000m ² . Per gli edifici recuperati i compartimenti sono al massimo di 5000m ² fino a 24m; oltre inferiori ai 2000m ² .	1
Gli edifici sono suddivisi in compartimenti di più piani: 6000 m ² fino a 12m; 5000 m ² fino a 24m; 4000 m ² fino a 32m; 2000 m ² fino a 54m.	0
ALTEZZA DI FUOCO (una sola scelta)	PUNTI
H di fuoco < 12 m per un massimo di 3 piani fuori terra (2 se il piano interrato è adibito ad attività scolastica o laboratoriale) per scuole medie ed elementari.	2
H di fuoco < 18 m per un massimo di 4 piani fuori terra (3 con piano interrato).	1
H di fuoco > 18 m su oltre 4 piani compreso l'eventuale piano interrato.	0
SCALE ESTERNE DI SICUREZZA (una sola scelta)	BONUS
- <i>Edifici nuovi</i> : no scale esterne; scale di sicurezza interne a prova di fumo. - <i>Edifici recuperati</i> : scale esterne rivestite per rispettare l'architettura.	+2
- <i>Edifici nuovi</i> : scale esterne curate anche dal punto di vista architettonico. - <i>Edifici recuperati</i> : compromissione di massimo due prospetti con scale esterne.	+1
Scale esterne che compromettono totalmente più di due prospetti dell'edificio.	0
VERSATILITA' DEGLI SPAZI POST INTERVENTO (una sola scelta)	BONUS
Negli adeguamenti viene mantenuto l'assetto originario di pianta. L'inserimento di scale esterne non comporta perdita di eventualie fruizione di spazi esterni.	+2
Negli adeguamenti viene modificato il flusso in pianta. La versatilità interna ed esterna viene in parte compromessa da spazi necessari per l'adeguamento.	+1
Pianta totalmente stravolta ed eccessivamente vincolata dagli adeguamenti. Sia i flussi che il comparto impiantistico subiscono grandi modifiche.	0

BARRIERE ARCHITETTONICHE	
PUNTI TOTALI CATEGORIA	10+2 bonus
QUALITA' DEGLI SPAZI DIDATTICI (una sola scelta)	PUNTI
Spazi e arredo progettati per l'integrazione di ogni fascia di utenza debole con particolare attenzione ai momenti di didattica e lavoro di gruppo.	2
Spazi e arredi parzialmente progettati per l'integrazione di disabili, i quali possono usare buona parte dello spazio didattico. Gli spazi non adeguati possono essere facilmente riadattati fino a coprire il 75% degli spazi totali.	1
Spazi e arredi non utilizzabili facilmente dai disabili o che comportano restrizioni nelle attività o che richiedono grandi stravolgimenti per poterli rendere partecipi.	0
POSSIBILITA' DI ACCESSO (una sola scelta)	PUNTI
Possibilità di accesso autonomo ad ogni locale interno/esterno per il disabile.	3
Possibilità ridotta di accesso autonomo ad ogni locale, con esclusione di depositi o locali tecnici e in ogni caso superiore al 75% dell'edificio e al 50% dei luoghi esterni senza dover richiedere assistenza da parte di altre persone.	2
Possibilità ridotta di accesso autonomo ad ogni locale, con esclusione di depositi o locali tecnici e in ogni caso superiore al 50% dell'edificio e al 25% dei luoghi esterni senza dover richiedere assistenza da parte di altre persone.	1
Impossibilità del disabile di accedere autonomamente ad oltre la metà dei locali interni, limitandone l'inserimento in locali specifici dell'istituto.	0
SUPERAMENTO DEI DISLIVELLI (una sola scelta)	PUNTI
Possibilità di superare in completa autonomia ogni dislivello con l'ausilio di rampe, montacarichi o ascensori in breve tempo evitando percorsi alternativi.	1
Il disabile è costretto a effettuare percorsi alternativi e temporaneamente più lunghi per raggiungere un qualsiasi luogo interno. Presenza di servoscala.	0
SERVIZI IGIENICI E SPOGLIATOI (una sola scelta)	PUNTI
Presenza di servizi igienici dedicati a persone con disabilità motoria in ogni gruppo di servizi igienici di ogni piano che possono essere utilizzati in completa autonomia. Presenza nel plesso scolastico di almeno un servizio igienico completo di servizio doccia praticabile da disabile differente dagli spogliatoi.	2
Presenza di almeno un servizio igienico dedicato a persone con disabilità ad ogni piano che può essere utilizzato in autonomia. Presenza nel plesso scolastico di almeno un servizio igienico completo di servizio doccia praticabile da disabile che può coincidere con gli spogliatoi se garantisce condizioni di privacy.	1
Assenza ad ogni piano di servizi igienici per disabili o presenza di servizi igienici che non possono essere utilizzati in autonomia da persone con disabilità.	0

PERCORSI INTERNI ED ESTERNI (una sola scelta)	PUNTI
Presenza di percorsi interni/esterni ben segnalati e in materiale antidrucciolo. Presenza di pavimentazioni tematiche per persone con scarsa visibilità che permettano il facile riconoscimento dei percorsi e dei luoghi (pavimentazioni tattili e/o di materiali e colori differenti). Presenza di legende tematiche per ipodenti all'interno dell'istituto con segnalazione dei snodi principali.	2
Presenza di percorsi interni/esterni ben segnalati e in materiale antidrucciolo. Indicazioni per ipovedenti negli snodi principali dell'edificio mediante percorsi segnaletici, colori o legende tattili.	1
Assenza di indicazioni chiare sia interne sia esterne. Pavimentazioni inadeguate che impediscono un facile percorrimto per persone con disabilità motoria. Assenza di indicazioni per persone con problemi di vista o mal segnalati.	0
FLESSIBILITA' DEGLI SPAZI (più scelte possibili)	BONUS
In caso di edifici esistenti, gli interventi di adeguamento al superamento delle barriere architettoniche garantiscono la flessibilità degli spazi in termini di fruizione e di articolazione degli stessi. Non vengono contate valide modifiche sostanziali come tagli di parti di aule o conformazioni che compromettano in minima parte aspetti legati alla didattica.	+1
Presenza di servizi di accompagnamento, finanziati dall'amministrazione pubblica, che permettano un facile inserimento nelle tematiche scolastiche.	+1
PUNTEGGIO MASSIMO COMPLESSIVO	100 (+21 bonus)
CLASSIFICAZIONE: <i>Certified:</i> da 50 a 60 punti <i>Silver:</i> da 61 a 70 punti <i>Gold:</i> da 71 a 80 punti <i>Platinum:</i> oltre 80 punti	

Tab. 1.20 Tabella della nuova certificazione completa di categorie, criteri e punteggi

1.6.4 Confronto finale tra le due normative

La certificazione sperimentale appena illustrata mira ad essere una vera e propria guida nel processo di progettazione dell'edificio, proprio come viene fatto per il polo scolastico oggetto di studio, in quanto non si sofferma sugli aspetti tecnici di risparmio energetico bensì su importanti contenuti di concept, soluzioni innovative e specifiche per le scuole e il rispetto della normativa attuale italiana. Per poter calibrare il punteggio si analizzano le scuole innovative di esempio e si confrontano i risultati con quelli del LEED:

NUOVA CERTIFICAZIONE	SAVOY	SCUOLA NEL PARCO	SCUOLA POLCENIGO	FIRMIAN
Categorie	Punteggi parziali			
LOCALIZZAZIONE	8/9	9/9	4/9	9/9
AMBIENTE ESTERNO	7/12	10/12	9/12	9/12
DIMENSIONI EDIFICIO	10/17	12/17	13/17	12/17
AMBIENTE INTERNO E IMPIANTI	10/16	13/16	8/16	13/16
SERVIZI INTERNI	3/6	2/6	2/6	2/6
DIDATTICA	12/17	10/17	10/17	8/17
SICUREZZA ANTINCENDIO	14/13	8/13	10/13	11/13
BARRIERE ARCHITETTONICHE	8/10	7/10	5/10	8/10
Risultati	Punteggi totali			
PUNTEGGIO ATTRIBUITO	72/100	71/100	61/100	72/100
CLASSE DI VALUTAZIONE	Gold	Gold	Silver	Gold
PUNTEGGIO ATTRIBUITO LEED	75/110	74/110	72/110	65/110
CLASSE DI VALUTAZIONE	Gold	Gold	Gold	Gold

Tab. 1.21 Punteggi finali della nuova certificazione e LEED delle quattro scuole esemplificative

L'applicazione del nuovo metodo di certificazione porta in luce l'efficacia del metodo applicato ai diversi tipi di scuola presi in analisi, che risultano essere quasi tutti certificati in una fascia media. Tra le due certificazioni invece emergono delle differenze interessanti: la penalizzazione maggiore con la nuova certificazione spetta alla scuola di Polcenigo (PN) in quanto, oltre ad essere un ampliamento molto semplice di parte del complesso scolastico esistente, si trova in una zona montuosa con la conseguente assenza di servizi, vie di comunicazioni efficaci e apertura verso il contesto. Il polo Firmian invece, pur non essendo perfettamente efficiente energeticamente, si valorizza molto per la sua composizione architettonica e funzionale innovativa. Facendo dunque un'analisi per macro-aree di crediti si evidenzia come nella maggior parte dei casi le scuole risultino poco curate secondo gli aspetti didattici

interni, di flessibilità e per i servizi/spazi interni. La tabella evidenzia bene come la scelta di localizzare in ambiti mediamente antropizzati un edificio scolastico sia la migliore per presenza di servizi, vie sicure di raggiungimento della scuola e situazioni ambientali idonee e favorisce il tema di sviluppo urbano e sociale. Buoni punti per gli edifici nuovi sono quelli relativi all'accessibilità, alla prevenzione incendi e alla qualità ambientale interna, garantita dallo sviluppo tecnologico impiantistico dalle norme di risparmio energetico. La certificazione si addice ad essere di tipo ambientale, in quanto permette di contestualizzare meglio con aspetti legati all'edilizia scolastica. Una normale certificazione ambientale non entra nel merito della destinazione d'uso dell'edificio: essa si concentra su un discorso generale su tematiche puramente ambientali, le quali poi vengono ricondotte alle diverse tipologie edilizie mediante l'aggiustamento di coefficienti senza prendere in considerazione aspetti intrinseci dell'immobile e aspetti funzionali degli spazi. Ecco perché il recupero e la valorizzazione di questi due aspetti nella nuova certificazione potrebbe portare notevoli benefici, valorizzando l'intero processo progettuale.

1.6.5 Conclusioni

Sebbene a livello di marketing la pura efficienza energetica rimanga il parametro più utilizzato per standardizzare e confrontare il patrimonio edilizio di ogni categoria e a livello internazionale, la vera qualità del progetto rimane celata dietro a un complesso sistema interdisciplinare che va personalizzato per ogni tipo di edificio nel rispetto del contesto in cui si trova. La sostenibilità dunque è il fine ultimo verso cui convergono tutte le certificazioni edilizie: essa non è solo efficienza energetica e rispetto di parametri minimi ma anche un metodo di progettazione, un approccio lungimirante nello spazio e nel tempo per soddisfare molteplici esigenze, una scelta di materiali e uno stile di vita. In un luogo basilare come la scuola bisogna più che mai fare scelte progettuali corrette che sensibilizzino le nuove generazioni ad uno stile di vita sostenibile. E' ovvio che una valutazione ambientale di così ampio respiro non sia affatto facile da standardizzare, ma è la soluzione più efficace su cui investire per creare edifici che possano interagire positivamente nelle città del futuro.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il presente capitolo mira a contestualizzare il progetto nella realtà territoriale da cui prende forma. Specialmente nell'ambito della formazione scolastica superiore è importante capire il territorio da molteplici punti di vista: dalla distribuzione dell'offerta scolastica all'analisi demografica, dalla rete viaria ai servizi comunali. Nei seguenti paragrafi si va dunque a descrivere il quadro completo della realtà che circonda il polo scolastico di Vimercate, in modo da verificare che tale centro si riconfermi come un punto strategico per l'istruzione anche dopo quarant'anni dalla fondazione.

- 2.1 Le scuole nel territorio
- 2.2 Analisi demografica
- 2.3 Infrastrutture e trasporti
- 2.4 Il comune di Vimercate

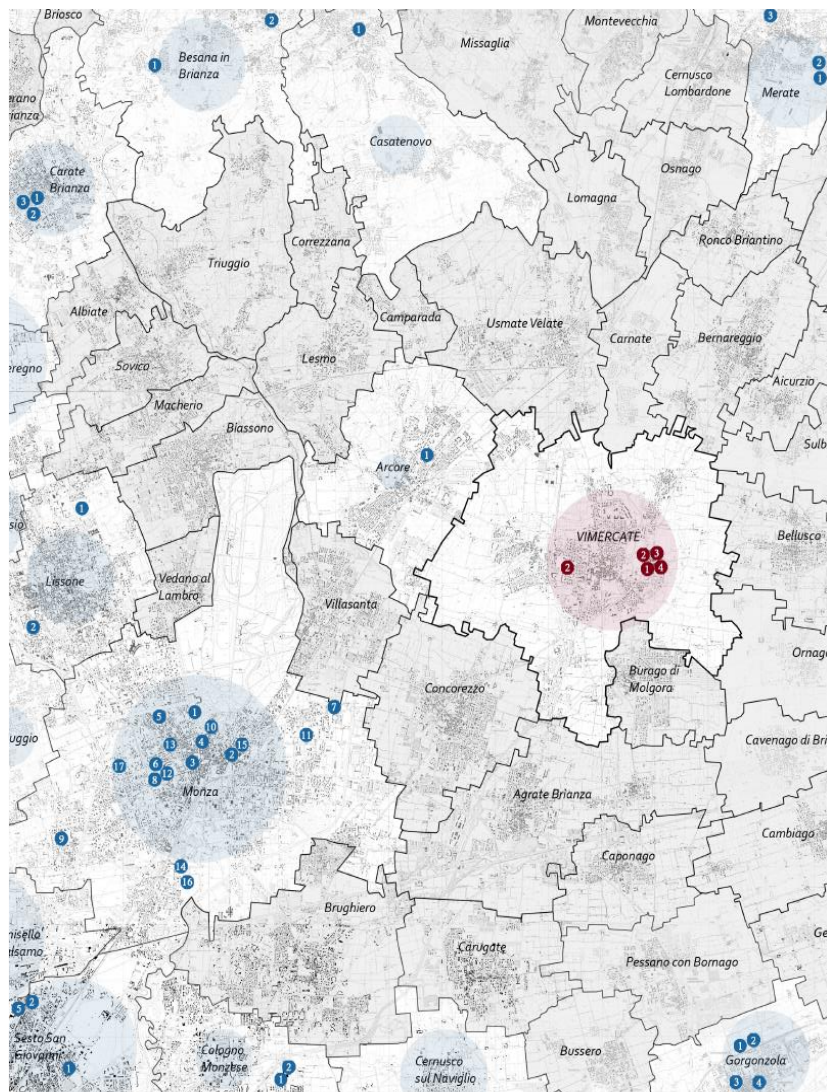


Fig. 2.1 Le scuole superiori nel territorio attorno a Vimercate (TAV. A01)

2.1 Le scuole nel territorio

Vimercate è una città di circa 25.000 abitanti collocata nella parte orientale della provincia di Monza e Brianza, in prossimità della città metropolitana di Milano a Sud, della provincia di Bergamo a Est e della provincia di Lecco a Nord. È il comune più grande della zona ad eccezione di Monza, per cui costituisce un forte punto di riferimento per tutti i comuni circostanti nel raggio di 15 km.

2.1.1 L'offerta formativa superiore

Il numero di scuole superiori presenti nel territorio vimercatese è decisamente elevato, anche se la distribuzione non è perfettamente omogenea: su una sessantina di scuole censite, circa il 50% sono licei, il 30% istituti tecnici e il 20% istituti professionali. Inoltre ciascuna scuola tende a specializzarsi in uno o più indirizzi specifici per crearsi una propria identità, per cui l'offerta di formazione per gli studenti della zona diventa estremamente variegata. Per quanto riguarda la concentrazione invece ben 17 scuole superiori si trovano a Monza, mentre per altri comuni immediatamente seguenti come popolazione, Vimercate compreso, non si va mai oltre 5 scuole superiori. I comuni minori non hanno alcuna scuola superiore o al massimo una di piccole dimensioni.

2.1.2 Attrattività dei centri di istruzione

Un'analisi ancora più accurata è quella legata all'attrattività delle scuole oltre che dal loro numero e dimensione. Infatti è interessante stimare il numero effettivo di studenti che viene attratto nel comune in cui è presente il servizio di istruzione superiore. In particolare è stata svolta un'indagine sugli alunni iscritti all'a.s.2016/2017 nelle scuole analizzate e risulta che: su un totale di 41.481 studenti iscritti ben 10.598 (25,5%) frequentano le scuole di Monza; dopodiché vengono Vimercate e Sesto San Giovanni, con quasi 4000 studenti ciascuna (9,5%), che si contendono il secondo e terzo posto come attrattività. Per quanto riguarda invece la sola provincia di Monza e della Brianza, presa nel suo insieme, si ha che Vimercate domina il secondo posto (12%) sempre a seguito di Monza (35%). Si può dedurre a questo punto quindi che Vimercate è un polo di istruzione importante a livello sovracomunale e provinciale.

2.2 Analisi demografica

Una volta compresa l'attrattività delle scuole superiori di Vimercate a livello provinciale, si passa ora ad individuare nello specifico la provenienza degli studenti che frequentano l'omnicomprensivo. Per far questo si è svolto alla fine dell'a.s. 2016/17 un questionario online, rivolto sia ai professori che agli studenti del polo scolastico, che tra le varie domande chiede anche il comune di provenienza e il mezzo di trasporto utilizzato. In questo modo si ottiene un campione rappresentativo per l'analisi dei flussi da parte degli utenti del polo.

2.2.1 Bacino d'utenza

Il numero totale di studenti iscritti nelle quattro scuole nell'a.s. 2016/17 è pari a 3866 e sono ripartiti per provenienza nel seguente modo: gli alunni residenti a Vimercate, il comune che ospita il polo scolastico, costituiscono il 26,7% della popolazione scolastica; un buon 43,2% arriva dai comuni immediatamente confinanti con Vimercate, mentre il restante 30,1% arriva da paesi più distanti, specialmente da Monza, Brugherio, Cornate d'Adda e Busnago.

2.2.2 Andamento della popolazione

Al fine di un corretto dimensionamento del progetto di riqualificazione del polo è importante capire in che modo potrebbe evolversi in futuro la popolazione scolastica. Si sceglie dunque un periodo di monitoraggio come mostrato nel grafico 2.3 per la popolazione vimercatese. L'andamento è molto simile a quello dei comuni limitrofi, per cui si può dedurre che: la popolazione è cresciuta costantemente fino agli anni '60, dopodiché ha avuto una forte accelerazione fino agli anni '90 per poi stabilizzarsi attorno ai 26.000 abitanti fino al giorno d'oggi; il polo scolastico è stato costruito nel 1976, ovvero nel pieno del periodo di crescita della città che ha fatto raddoppiare gli abitanti nel giro di soli trent'anni; il calo delle nascite degli ultimi anni sta stabilizzando la popolazione rendendola però più vecchia, quindi ci si aspetta a breve un netto calo della popolazione in età scolare, come preannuncia il grafico 2.4. Per una maggiore accuratezza si sono analizzati altri dati utili come la composizione del nucleo familiare e un'ulteriore suddivisione delle fasce d'età degli studenti.

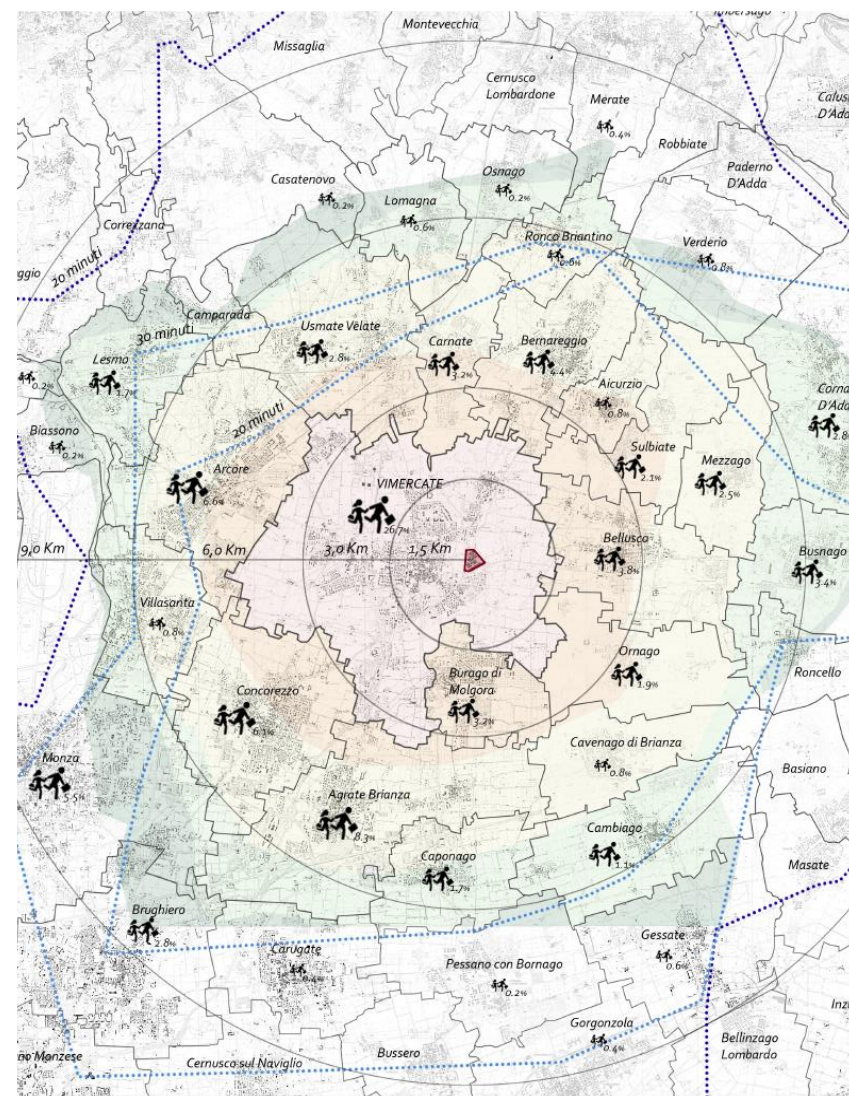


Fig. 2.2 Percentuali di provenienza degli studenti frequentanti l'omnicomprensivo (TAV. A02)

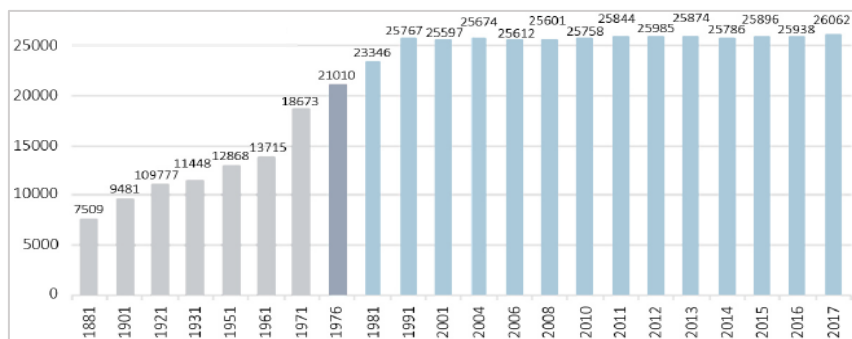


Fig. 2.3 Grafico della popolazione di Vimercate da fine ottocento ad oggi (TAV. A04)



Fig. 2.4 Grafico dell'invecchiamento della popolazione dal 1982 (TAV. A04)

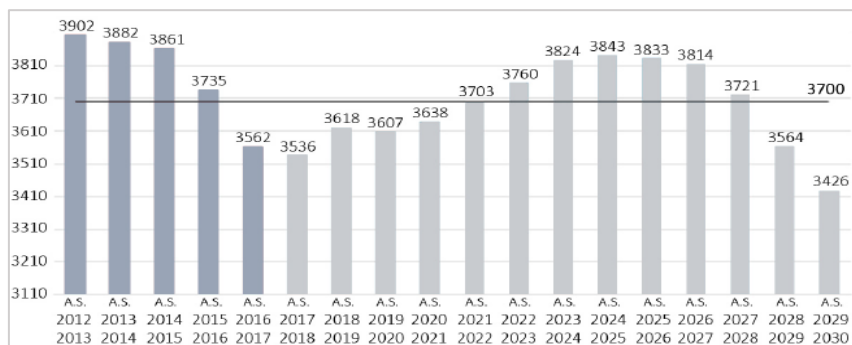


Fig. 2.5 Numero di alunni iscritti negli ultimi 5 anni e previsione fino al 2030 (TAV. A04)

2.2.3 Stima della popolazione scolastica futura

Una volta individuato il trend prevalente tra passato e presente si può stimare la popolazione scolastica negli anni a venire. Mentre la struttura demografica futura dipende in massima parte dalla struttura demografica attuale lasciando uno spazio piuttosto marginale ai fattori esogeni quali migratorietà e condizioni socioeconomiche incidenti su natalità e mortalità, la struttura della popolazione scolastica a breve termine dipende perlopiù da fattori esterni: la distribuzione sul territorio delle scuole, la loro organizzazione ed efficienza, la rete dei trasporti pubblici specifici e generici (che condizionano la pendolarità), la situazione socioeconomica, le aspettative e le preferenze sul mondo del lavoro e così via. Un modello ideale di proiezione della popolazione scolastica dovrebbe tenere in considerazione quindi da una parte l'evoluzione della popolazione in età scolare, dall'altra l'evoluzione dei tassi specifici di scolarità per età, tipo di scuola e provenienza, naturalmente tenendo ben presenti anche i tassi specifici di ripetenza e di abbandono. Tutto questo richiederebbe di analizzare serie storiche particolarmente lunghe per poter stimare nel dettaglio l'andamento demografico. Poiché i dati realmente disponibili si riferiscono ad un numero limitato di anni e non sono sufficientemente articolati, è stato necessario introdurre delle ipotesi semplificatrici:

- *regolarità degli studi e costanza dei tassi specifici di ripetenza e abbandono;*
- *invariata rete dei trasporti, organizzazione e distribuzione delle scuole;*
- *invariabilità nel tempo delle percentuali di provenienza degli alunni iscritti;*
- *costanza dei movimenti migratori ed emigratori.*

I risultati ottenuti nel grafico 2.5 fino all'anno 2030 sono da intendersi indicativi, tenendo presente che nella realtà il numero degli iscritti potrà oscillare sopra o sotto il valore stimato, allontanandosi da esso in misura tanto maggiore quanto maggiore è la distanza temporale dall'ultimo dato rilevato. Lo scarto effettivo potrà naturalmente variare anche sulla base sia di eventuali nuove leggi in merito al ridimensionamento e alla riqualificazione di alcune scuole, che potrebbe spostare flussi consistenti da una scuola all'altra. In ogni caso quel che risulta è una lieve ripresa a cui seguirà un netto calo degli iscritti.

2.3 Infrastrutture e trasporti

Ora si passa ad analizzare la collocazione di Vimercate all'interno della rete viaria provinciale, in modo da valutare la facilità di raggiungimento del polo scolastico sia da parte delle auto private sia da parte del trasporto pubblico. Dai risultati dei questionari online risulta che ben il 44% dell'utenza scolastica utilizza i mezzi pubblici (ovvero i bus), il 42% utilizza veicoli privati e il restante 12% va a piedi o in bici. Di conseguenza risulta interessante capire com'è strutturata la rete viaria per le prime due modalità.

2.3.1 Viabilità pubblica

La prima analisi consiste nel quantificare le linee del bus che passano per il polo scolastico (Figura 2.3), determinandone la frequenza e il tragitto percorso, ovvero le aree che servono. Si scopre quindi che esistono tre fermate utilizzate dagli studenti per raggiungere le scuole: la fermata davanti all'ingresso dell'omnicomprensivo, la fermata nella vicina via Galbussera (distante 400 m) e l'autostazione in piazza Marconi (distante 1200 m). La frequenza per ciascuna linea varia da mezzora a un'ora a seconda degli orari di punta. Da notare che, secondo quanto detto prima, su un totale di 4000 utenti circa 1700 utilizzano i mezzi pubblici, per cui nei momenti di ingresso e di uscita si generano dei flussi importanti che necessitano di essere gestiti al meglio.

TRASPORTO PUBBLICO

- Linee autobus extraurbane con fermata al Centro Scolastico Omnicomprensivo
- Linee autobus extraurbane con fermata all'autostazione

RETE STRADALE

- Autostrade e strade di interesse regionale R1 esistenti o di nuova previsione
- Strade di interesse regionale R2 esistenti o di nuova previsione
- Strade di interesse provinciale P1 esistenti o di nuova previsione

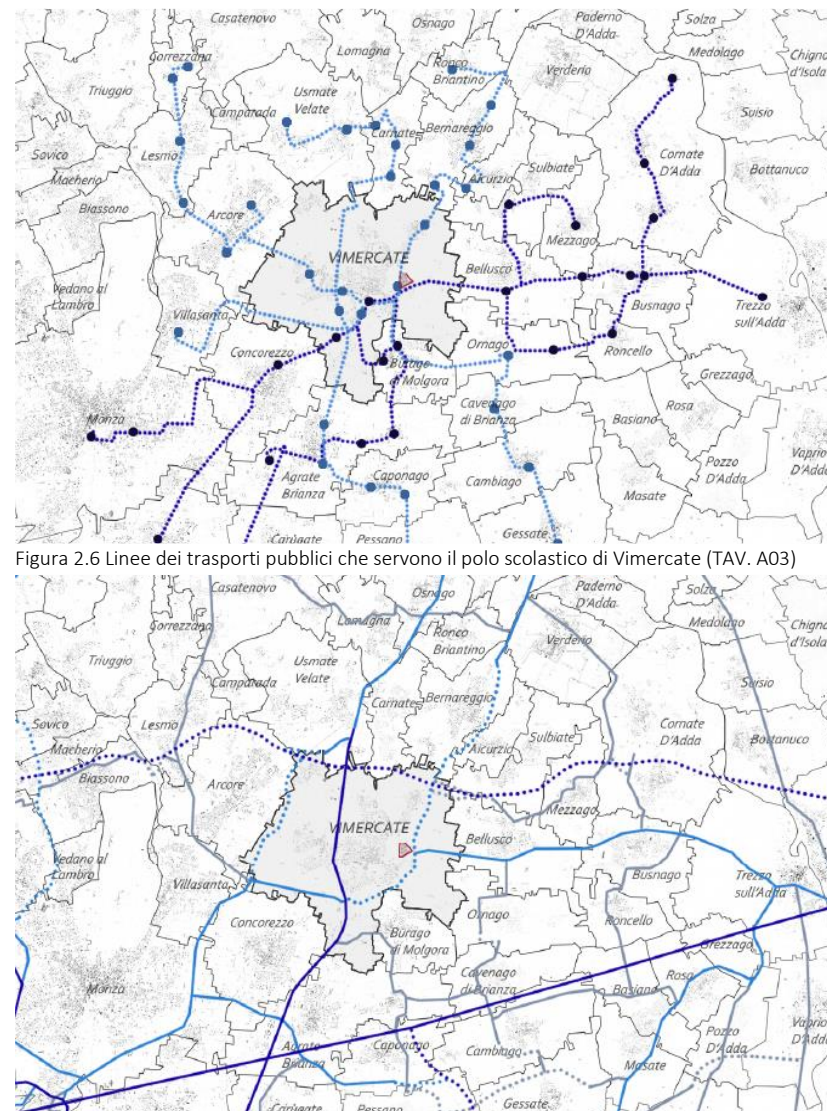


Figura 2.6 Linee dei trasporti pubblici che servono il polo scolastico di Vimercate (TAV. A03)

Fig. 2.7 Strade principali e secondarie esistenti e previste per la mobilità privata (TAV. A03)

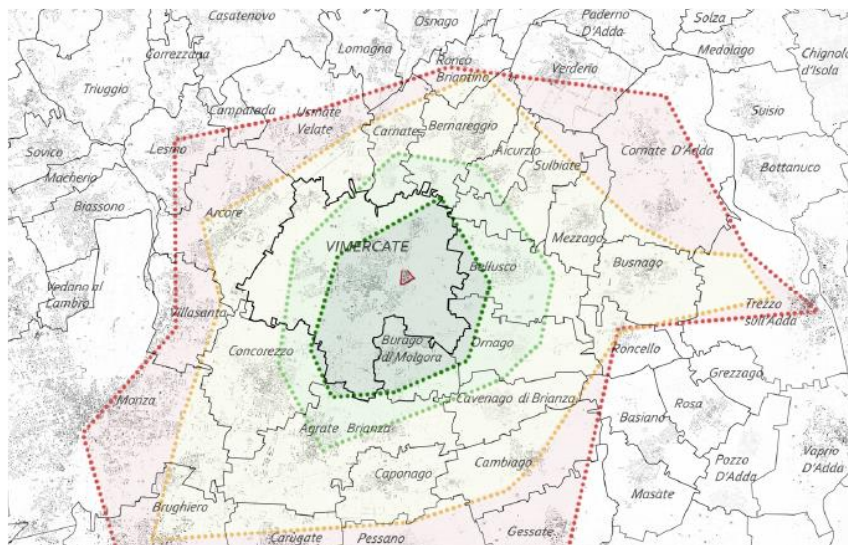


Fig. 2.8 Isochrone temporali dei trasporti pubblici dal polo scolastico di Vercelli (TAV. A03)

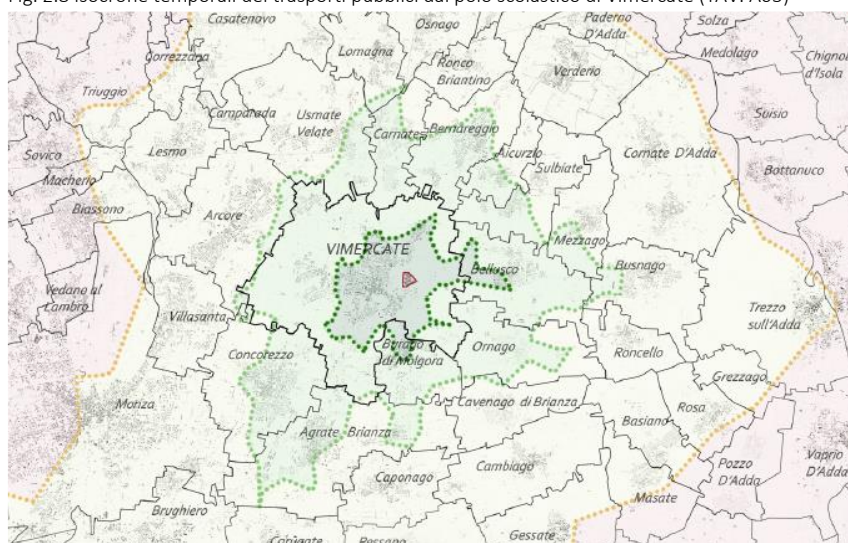


Fig. 2.9 Isochrone temporali dei trasporti privati dal polo scolastico di Vercelli (TAV. A03)


2.3.2 Viabilità privata

La viabilità privata risulta molto più complessa da analizzare, proprio per il fatto che possono essere utilizzate tutte le strade e quindi i percorsi di avvicinamento si moltiplicano. Per questo si rende necessaria un'accurata analisi di tutte le strade principali e secondarie come rilevato nella figura 2.4. In particolare si evidenziano le categorie autostrade (R1), strade regionali semplici (R2) e strade provinciali (P1). Essendo Vercelli al centro di importanti potenziamenti previsti per le infrastrutture, oltre alla già realizzata autostrada A51 che l'attraversa, si segnalano di seguito le opere che influenzeranno maggiormente l'area attorno al polo scolastico: la tangenziale di Vercelli, già realizzata nella parte Sud fino all'innesto su via Trezzo; l'autostrada Pedemontana a nord a cui si innesterà la nuova tangenziale. Questi interventi porteranno presumibilmente a una dilatazione delle isocrone temporali e quindi a un aumento dell'attrattività del centro scolastico.

2.3.3 Isochrone temporali

L'ultimo passaggio consiste nel trasformare i tragitti pubblici e privati in isocrone temporali, per vedere quanto tempo la gente è disposta a viaggiare per raggiungere le scuole. Per far questo sono tornate utili le tabelle di marcia dei bus, google maps e alcune formule della normativa italiana sui trasporti. La sovrapposizione dei grafici delle isocrone (Fig. 2.5 e 2.6) con i comuni di provenienza degli utenti e il mezzo utilizzato dimostra che la gente non è disposta a viaggiare per oltre 30 minuti. Essendo il bus più lento delle auto, si nota come le persone distanti più di 8 km preferiscano usare l'automobile.

ISOCRONE TEMPORALI

-  Isochrone temporale di 5 minuti di percorrenza per il mezzo di trasporto considerato
-  Isochrone temporale di 10 minuti di percorrenza per il mezzo di trasporto considerato
-  Isochrone temporale di 20 minuti di percorrenza per il mezzo di trasporto considerato
-  Isochrone temporale di 30 minuti di percorrenza per il mezzo di trasporto considerato

2.4 Il comune di Vimercate

Ora che il contesto territoriale più ampio è sufficientemente analizzato, si passa a studiare la storia e le caratteristiche del comune in cui si trova l'oggetto di studio. Vimercate è una cittadina di circa 26.000 abitanti situata nella parte orientale della provincia di Monza e della Brianza. Nonostante la densità abitativa elevata che caratterizza tutta l'area suburbana a nord di Milano, il territorio vimercatese conserva ancora un carattere fortemente rurale grazie alla presenza diffusa di campi, boschi e corsi d'acqua. Il fiume Molgora in particolare attraversa la cittadina costeggiando aree a verde e numerosi parchi. Appena a nord della cittadina la pianura inizia a cedere il posto a colline moreniche, sempre più elevate, fino ad arrivare alle vicine prealpi lecchesi. L'altitudine media si aggira attorno ai 200 metri, per cui il clima è tipicamente temperato e umido come nel resto della media e bassa pianura padana.

2.4.1 Storia e sviluppo urbano della città

Il nucleo più antico di Vimercate, di fondazione romana, risale al II secolo a.c. Infatti nella maglia urbana è ben riconoscibile il castrum originario con la presenza di un cardo e decumano ortogonali. Il nome deriva probabilmente da Vicus Mercati; ciò conferma l'importanza commerciale della cittadina a partire dal III secolo d.c., quando la capitale dell'impero romano si è spostata a Milano. A questo periodo fiorente infatti risalgono le prime opere importanti quali l'ampliamento del vicus, la fondazione del santuario della Beata Vergine del Rosario, il ponte di San Rocco e un paio di necropoli romane. Un altro periodo significativo è il X-XI secolo, durante il quale viene eretta una seconda cinta muraria, fortificato il ponte romano e costruita la chiesa romanica di Santo Stefano, sede della vasta pieve di Vimercate. Il ponte e la chiesa rimangono tutt'oggi testimoni di questo fiorente periodo medievale nel centro città. Nell'800 invece trovano posto le eleganti ville di delizia della nobiltà sia locale che milanese, compresi grandi e numerosi giardini ora parchi della città (parco Gussi, Trotti e Sottocasa). La rivoluzione industriale porta fabbriche, filande e la linea del treno a vapore alle porte della città, mentre con il boom economico degli anni '60 si ha una forte crescita dei quartieri residenziali.



Fig. 2.10 Diversi tessuti urbani di Vimercate: centro storico, nuovi quartieri, ville e giardini, campi



Fig. 2.11 Evoluzione storica dell'edificato di Vimercate (TAV. A07)

2.4.1.1 Il decentramento delle aree funzionali

Il forte sviluppo urbano degli anni '70 porta con sé delle criticità legate all'aumento del traffico e quindi alla congestione del centro. Allo stesso tempo lo stile di vita della popolazione si fa più complesso e si rendono necessari quindi nuovi spazi per il consumo, lo svago e l'istruzione. Questo porta come risultato alla creazione di quartieri specializzati e delocalizzati rispetto al centro città. È proprio in questo processo che nasce il polo scolastico oggetto di studio, inserito tra i campi a Est di Vimercate, così come alcuni supermercati, asili, scuole primarie, scuole medie e il centro sportivo che comprende anche le piscine comunali (nella periferia Sud). Da non trascurare anche la creazione di nuove strade esterne che deviano il traffico dal centro passando per tali poli.

2.4.1.2 Le ultime trasformazioni urbane

Gli ultimi decenni sono densi di trasformazioni che danno alla città l'aspetto attuale. Innanzitutto a partire dagli anni '80 si ha un graduale decadimento delle zone industriali della città per lasciar posto al settore terziario e al potenziamento dei trasporti come la A51 secante il comune e annessa alla tangenziale Est di Milano. La chiusura di linee ferroviarie, cave, fabbriche e filande a ridosso del centro lascia una cintura di aree dismesse all'interno dell'area urbana. Al momento si è riqualificata solo la porzione Sud nell'anno 2003 con la costruzione di piazza Marconi, importante luogo commerciale e nodo strategico dei trasporti pubblici, e di grandi condomini d'alto prestigio. Da quanto risulta dal Documento di Piano del PGT comunale anche le altre aree dismesse verranno convertite a funzione residenziale e commerciale. Dall'altro lato si enfatizza il decentramento di specifiche funzioni che completano la città senza però compromettere l'identità del centro storico. Tali nuovi fulcri sono: il quartiere direzionale Torribianche, costruito a cavallo del 2000, che ospita vari Hotel e un cinema multisala con centro commerciale; l'ospedale nuovo di Vimercate (2010) che rimpiazza quello civile degli anni '70 nei pressi del centro; Energy Park per l'innovazione delle telecomunicazioni a ridosso delle Torribianche, appena ultimato; il nuovo supermercato Esselunga, ancora in costruzione, allontanato dal centro fino alla nuova tangenziale Sud.

2.4.2 Servizi comunali e PGT

Analizziamo ora nel dettaglio come è strutturato il comune, quali servizi offre e quali progetti sono previsti che potrebbero beneficiare o penalizzare il polo scolastico oggetto di studio. Si premette che tale polo, trovandosi in posizione isolata nell'estrema periferia est della cittadina, non beneficia di particolari servizi nel raggio di 300 m, per cui i servizi di collegamento sono fondamentali. Nella città dunque vengono offerti i seguenti servizi: in pieno centro si trovano il comune (palazzo Trotti), tre chiese (la collegiata romanica di Santo Stefano, il santuario barocco della Beata Vergine del Rosario e l'oratorio di S. Antonio), tre parchi, una biblioteca pubblica, l'ospedale vecchio e il nuovo museo del territorio MUST situato a Villa Sottocasa; in prossimità del centro si trovano un asilo nido, due asili, una scuola elementare, una scuola media, una scuola superiore, una scuola di musica, polizia, servizi commerciali e per lo svago (Piazza Marconi e centro commerciale Mega), un archivio, un oratorio, un cimitero e un campo sportivo; arrivando alle zone più periferiche si trovano infine quattro chiese, due asili nido, quattro asili, quattro scuole elementari, una scuola media, quattro parchi, vigili del fuoco, carabinieri, la biblioteca di Ruginello, il teatro Oreno con oratorio, il cimitero di Oreno, le Piscine, il nuovo ospedale, l'omnicomprensivo oggetto di studio, un grande supermercato e il centro direzionale Torribianche con cinema e centro commerciale.

2.4.2.1 Progetti previsti nel documento di piano

Come ultimo passo è interessante capire quali sviluppi stia pianificando il comune per migliorare la vivibilità della cittadina. I progetti più interessanti e degni di nota sono principalmente due: il recupero della cintura di aree industriali dismesse che contornano il centro storico e il potenziamento della viabilità dolce. In particolare quest'ultimo si rivela un'ottima opportunità per il polo scolastico di Vimercate. Infatti la creazione di nuove piste ciclopedonali permette di collegare più facilmente le scuole con il centro storico e i parchi, offrendo itinerari ottimali volti a far conoscere meglio il territorio e riducendo così la pressione del traffico; inoltre il parco del Molgora, situato tra il polo e il centro, viene valorizzato ed attrezzato con funzioni di pubblica utilità.



Fig. 2.12 Progetti del PGT per la mobilità dolce e la connessione dei parchi cittadini (Tav. 09)

- 3.1 Evoluzione storica del polo scolastico
- 3.2 La composizione e distribuzione attuale
- 3.3 Le scuole e l'offerta formativa
- 3.4 Verifiche normative
- 3.5 Questionari online
- 3.6 Conclusioni

3 ANALISI DELLO STATO DI FATTO

Il presente capitolo mira ad approfondire ogni aspetto che riguarda il polo scolastico oggetto di studio: dalle metrature degli edifici allo schema distributivo, dal rilievo materico alla sezione tecnologica, dalla verifica degli indici da normativa alla percezione di studenti e insegnanti sugli ambienti didattici. Tutto questo contribuisce ad avere un quadro complessivo della realtà attuale che costituirà le fondamenta dalle quali prenderà forma il progetto di riqualificazione. Come prima analisi si parte ovviamente dall'evoluzione storica del complesso scolastico, in quanto è indispensabile capire il senso del progetto originario e come si sono modificati gli edifici in funzione delle quattro scuole superiori che ora occupano tali strutture.

3.1.2 Il progetto originario

Nel leggere gli elaborati grafici di progetto rinvenuti in provincia si sono scoperte tante informazioni interessanti sulle funzioni che erano state previste nel progetto originario e che ora non esistono più, per cui alla luce di queste conoscenze è possibile interpretare il senso delle strutture esistenti. Oltre al lato funzionale si descrive anche la tecnologia costruttiva utilizzata per la realizzazione del centro scolastico, a quei tempi in piena sperimentazione.

3.1.2.1 La logica costruttiva e le funzioni originarie

Il polo scolastico, data la posizione strategica nella viabilità urbana, era stato concepito come nuovo fulcro esterno alla città che potesse non solo offrire strutture didattiche agli studenti ma anche servizi di valore per i cittadini, creando così un'area multifunzionale, permeabile e viva ad ogni ora del giorno. Tali servizi pubblici complementari alle scuole erano in particolare l'auditorium (edificio B, l'unico attualmente operativo), le sale conferenze (sulle due ali), il centro medico, il bar e la biblioteca cittadina (negli uffici nell'edificio A), di seguito ricollocata nel centro storico; queste funzioni, assieme alla direzione delle scuole e il palazzetto sportivo (edificio E), trovavano posto lungo un'asse principale direttamente comunicante con il piazzale d'ingresso, dal quale si diramano ortogonalmente pensiline coperte che collegano tutto il complesso. Data la maggiore rappresentatività pubblica, la pensilina principale ha una larghezza maggiore ed è punteggiata di aiuole verdi poste sotto a dei lucernari. Per quanto riguarda il polo scolastico vero e proprio gli edifici erano organizzati per ospitare solo due scuole (inizialmente l'I.I.S. Vanoni e il Liceo Banfi) con un totale di circa 1500 studenti, ripartiti negli edifici Biennio (edificio D, l'attuale I.T.I.S. Einstein) e Triennio; l'edificio Biennio era perfettamente simmetrico e identico per entrambe le scuole, mentre l'edificio Triennio era organizzato in sei moduli tematici di specializzazione, con gli uffici dei professori collocati nella sezione centrale; la particolare attenzione verso l'architettura scolastica ha portato alla progettazione di ampi atri scenografici nei quali gli alunni potessero ritrovarsi negli intervalli per socializzare. A Nord un edificio speciale conteneva una grande mensa e un locale studio con a lato la casa del custode.

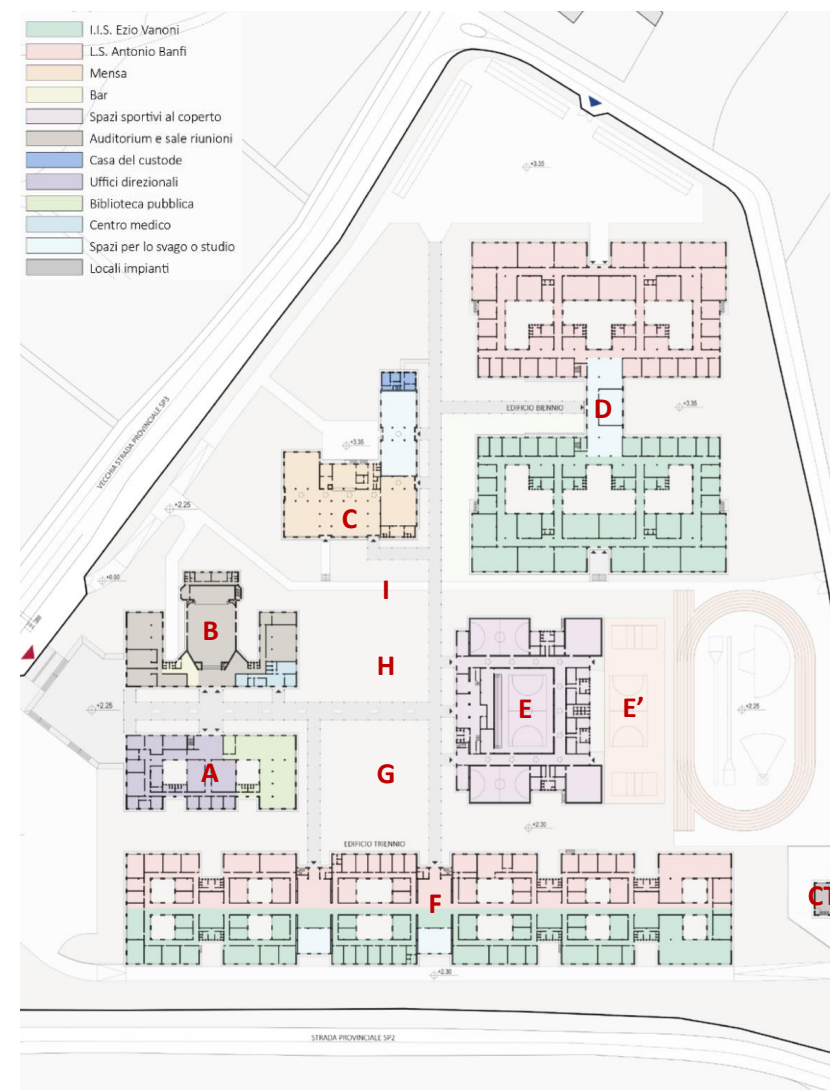


Fig. 3.3 Distributivo originario (TAV. B03)



Fig. 3.4 Elementi distintivi del progetto originario: pensilina principale, auditorium e mensa

Infine gli ingressi e i due parcheggi conservano la configurazione originaria. L'attenzione alla sostenibilità era già evidente: i numerosi posteggi coperti per biciclette tutt'ora presenti incoraggiavano infatti la mobilità dolce, mentre l'area sportiva all'aperto retrostante il palazzetto era provvista di ogni genere di attrezzature sportive. Anche il contatto con il verde è valorizzato al massimo: l'ampia superficie alberata, i percorsi delle pensiline all'aperto, lo sviluppo su un piano solo di tutti gli edifici e la ricorrenza di corti verdi interne sono tutti elementi che valorizzano la presenza della natura e creano così una continuità con il parco del Molgora e i campi circostanti, nascondendo gli edifici nel verde.

3.1.2.2 La tecnologia costruttiva

Grazie agli elaborati grafici trovati nell'archivio provinciale e al sopralluogo si è potuto ricostruire il sistema costruttivo adottato e i materiali impiegati negli elementi tecnici. In generale l'intera struttura presenta un linguaggio coerente organizzato in moduli rigorosi che scandiscono ogni geometria degli edifici (luce base = 4,8 m). In aggiunta ci sono volumi particolari, come la sagoma dell'auditorium, le coperture a crociera della mensa, i vani a capanna del triennio e le palestre, che identificano ciascun edificio. La tecnologia costruttiva adottata è principalmente in cemento armato prefabbricato con controparete interna in laterizio e tre tipologie di finiture: cemento a vista, cappotto cementizio con perlite isolante oppure intonaco marrone (palestre, auditorium, mensa e capanne triennio). Al solaio in laterocemento del piano terra è stato applicato un isolante al di sotto delle piastrelle, mentre i tetti erano quasi tutti a falde rivestite di amianto con capriate in legno appoggiate sul solaio del soffitto, lasciando così una cavità ventilata nel sottotetto; per le coperture rimanenti si è applicato sopra la soletta in c.a. l'isolante con dei listelli in legno per la ventilazione e quindi il rivestimento. Questi sistemi testimoniano un primo approccio al risparmio energetico. La scossalina metallica rossa che contorna i cornicioni degli edifici e i bordi delle pensiline connota tutto il complesso. Anche i serramenti a vetro doppio hanno il telaio metallico rosso, si aprono con un particolare meccanismo verso l'esterno e la struttura bipartita permette l'innesto di partizioni anche a metà modulo.

3.1.2.3 Sistemi impiantistici

Oltre all'impianto elettrico integrato nel controsoffitto e le tubazioni idriche, è presente in ogni edificio un sistema di riscaldamento a caloriferi posti sotto alle finestre, ad eccezione del palazzetto sportivo che presenta una serie di termoconvettori posti lungo le pareti delle palestre. Tutte le tubazioni degli impianti idrici, termici e di drenaggio penetrano al di sotto del solaio fino ad uno spazioso piano interrato per poi correre lungo il soffitto. L'intero polo scolastico infatti è stato costruito sopra un enorme piano interrato, alto circa due metri, che copre interamente la pianta di tutti gli edifici, comprese le pensiline coperte. Il pavimento è in terra battuta, le travi rovesce di fondazione pare che siano rafforzate con palificazioni e sui bordi sono presenti delle bocche di lupo per l'areazione. Da ogni edificio è possibile accedere, sia internamente che esternamente, a delle scale che conducono a questo regno sotterraneo. Tale sistema infatti permette non solo di effettuare facilmente manutenzioni, modifiche e potenziamenti agli impianti, ma anche di convogliare tutti i vettori termici all'impianto centralizzato posto a Sud-Est dell'area che serve tutti gli edifici. La centrale termica, tutt'ora in funzione, è alimentata a metano e ha una potenza di 6086 kW; esternamente tale centrale pare svilupparsi sul piano terra e ha una ciminiera vistosa ed esteticamente poco gradevole; all'interno in realtà presenta una doppia altezza proprio perché affonda nell'interrato e si connette alla rete sotterranea. I parcheggi e le strade di servizio sono pressochè invariati da allora; essendo molto estesi e completamente rivestiti d'asfalto presentano un sistema di drenaggio delle acque meteoriche al posto delle rimanenti aree verdi permeanti.

3.1.2.4 Il rapporto tra strade, ingressi e recinzioni

L'ingresso su via Adda dava sulla vecchia SP3, per cui necessitava di essere protetto: si erano infatti ricavate delle corsie laterali per permettere alle auto di accostare e sopra tale slargo passava un ponte pedonale per evitare l'attraversamento pericoloso. L'attuale via P. Ravasi era in origine una semplice stradina che aggirava il polo scolastico passando per i vari accessi secondari. Le recinzioni sono alte appena 1,25 m e alternano setti in cls con ringhiere.



Fig 3.5 Soluzione tecniche del progetto originario: moduli in cls, interrato e centrale termica



Fig. 3.6 Blocco aule provvisorio costruito nel 1982



Fig. 3.7 Pallone tensostatico montato tra le palestre e il campo sportivo nel 1996

3.1.3 Trasformazioni del polo fino ad oggi

L'organizzazione del progetto originario è decisamente differente da quella attuale, in quanto non si era quantificata bene l'entità cambiamenti che stavano avvenendo su larga scala in quel fatidico decennio. Infatti l'imprevista crescita della popolazione scolastica già dai primi anni di attività del polo scolastico ha portato subito ad un cambiamento repentino delle funzioni.

3.1.3.1 La crisi del sovraffollamento dagli anni '80

Tra il 1977 e il 1980 hanno trovato posto nel nuovo polo gli istituti Vanoni e Banfi, dividendosi come previsto gli edifici biennio (edificio D) e triennio (edificio F). Anche l'I.T.I.S. Albert Einstein in centro città però necessitava di maggiori spazi, per cui vi si è trasferito gradualmente dal 1980. Per poter far fronte a questo aumento inaspettato dell'utenza, le tre scuole hanno dovuto suddividersi gli spazi in un modo completamente diverso: l'Einstein ha occupato interamente l'edificio biennio, il Vanoni è rimasto solo nell'edificio triennio e il Liceo Banfi ha dovuto occupare e adattare l'edificio degli uffici e della biblioteca (edificio A), mettendo fine alle funzioni precedenti; non bastando però lo spazio a causa delle piccole dimensioni dell'edificio ha dovuto comunque mantenere delle aule nell'edificio triennio, iniziando una perenne contesa con il Vanoni. Data questa scomoda situazione vennero costruiti due blocchi aule temporanei (edifici H, I) nel 1982 che poi rimasero fino ad oggi. L'utenza scolastica continuò a crescere per tutto il resto del decennio e così le tre scuole dovettero appropriarsi di ulteriori ambienti comuni per ricavare nuove aule: l'Einstein cominciò ad inserire nuovi laboratori nella mensa che cessò di funzionare, il centro medico e il bar furono dismessi e gli istituti Banfi e Vanoni si presero le due ali laterali dell'auditorium. A questo punto l'area era diventata esclusivamente ad uso scolastico, via Adda venne chiusa per inserire nuovi parcheggi e si spostò la SP3 all'esterno. Anche le palestre soffrivano del sovraffollamento ma mancavano i fondi per costruire nuovi edifici, così nel 1996 venne montato un pallone tensostatico (edificio E') senza spogliatoi. Per il resto la scarsa frequenza di manutenzioni portò a un graduale deterioramento delle strutture e ad una ipersemplicificazione dei servizi offerti.

3.1.3.2 I lavori del nuovo millennio

Al volgere del millennio arrivarono alcune novità in ambito normativo, come le disposizioni di rimozione dell'amianto e la riforma Moratti sulla didattica. Si rese quindi necessaria un'operazione massiccia sulle strutture. Nel 2001 partirono i lavori di rifacimento dei tetti: l'amianto e le strutture in legno vennero completamente rimosse per essere sostituite da capriate in acciaio rivestite da una lamiera metallica bianca con strato isolante. Subito dopo nel 2004 si costruirono nuovi elementi che cambiarono molto l'assetto del polo: il piazzale d'ingresso venne sostituito da un porticato curvo in mattoni che dà accesso a una seconda pensilina coperta, facendo così perdere importanza all'asse principale; agli ex-uffici si aggiunse una nuova ala di aule per il Liceo Banfi (edificio G), cercando di imitarne il linguaggio architettonico. Nello stesso anno arrivò una quarta scuola: l'IPSCT Olivetti di Arcore. Tale istituto di piccole dimensioni si era dovuto accorpate all'I.I.S. Floriani e la sede storica non era più in grado di ospitare tale funzione, per cui dovette insediarsi anche lui nel polo di Vimercate. Gli spazi già ristretti vennero ulteriormente frazionati per fare spazio al nuovo arrivato: nel 2005 si ricavarono due palestre nella ex mensa e tutti gli spazi rimanenti furono controsoffittati e adibiti ad aule per il Floriani e il Vanoni; solo la cucina e la casa del custode rimasero inutilizzati; L'Einstein diede una porzione di edificio e venne eretta una pensilina posticcia per creare un ingresso separato; anche alcune stanze del palazzetto vennero date al Floriani. Nel 2010 si passò invece ad una verifica sismica degli edifici e al relativo consolidamento, puntellando alcuni solai dal piano sotterraneo. nel 2012 l'auditorium venne risistemato con nuove sedute, sistemi acustici e un moderno sistema di areazione e climatizzazione, il cui gigantesco macchinario trovò posto sul retro dell'edificio. Negli ultimi anni la velocità di degrado degli edifici più vecchi e l'incuria del verde è accelerata e la manutenzione fa fatica a tamponare danni quali tetti che perdono, finestre spaccate fuori norma, tende difettose o pareti divisorie modulari che si flettono. Nel 2016 una delle due palestre nella ex mensa venne gravemente danneggiata da pesanti atti di vandalismo, per cui è stata risistemata durante l'anno scolastico successivo.



Fig. 3.8 Ampliamento del Liceo Banfi realizzato nel 2004



Fig. 3.9 Nuovo ingresso con porticato e pensiline realizzato nel 2004



Fig. 3.10 Planivolumetrico allo stato di fatto (TAV. B01)

3.2 La composizione e distribuzione attuale

Ora che le dinamiche storiche sono ben chiare, si passa ad analizzare il polo per come appare allo stato attuale, dagli accessi e alla descrizione di ciascun edificio, comprese le funzioni e lo stato di conservazione.

3.2.1 Caratteristiche dell'area

Il lotto del polo scolastico è una porzione di terreno di circa 100.000 m², quasi perfettamente pianeggiante, situato nella periferia Est di Vimercate a stretto contatto con i campi e il parco del Molgora. Lungo i lati dell'area passano le seguenti strade: via Adda, ex strada provinciale ed ora via chiusa, che separa l'ingresso Ovest principale dal parco del Molgora; via Trezzo (SP2) che costeggia il lato Sud-Est; via P. Ravasi (SP3) che dal lato Nord-Est si innesta con via Trezzo alla tangenziale Sud di Vimercate tramite una grande rotonda e prosegue verso la frazione di Ruginello. La superficie interna al lotto è costituita per il 36,4% da aree verdi permeabili, per il 33,4% da pavimentazioni esterne impermeabili e per il restante 30,2% è occupata da costruzioni, ovvero 30200 m² di superficie riscaldata distribuita su un totale di 10 edifici.

3.2.2 Gli accessi alle scuole

Gli ingressi totali nell'area scolastica sono sette. L'ingresso principale con guardiana si trova nel punto di chiusura di via Adda, a ovest dell'area, e comprende un accesso pedonale e due passi carrai (di cui uno non usato). Esiste poi un passo carraio all'angolo Sud-Ovest utilizzato per accedere ad un parcheggio comune. Un altro ingresso a Nord fa accedere direttamente al secondo parcheggio, riservato esclusivamente ai docenti; essendo però chiuso per problemi di sorveglianza si utilizza il cancello di fianco all'ingresso pedonale con annessa la strada interna di collegamento al parcheggio Nord. Infine ci sono due ingressi carrabili d'emergenza/manutenzione posti sul lato Nord-Est.

3.2.2.1 Viabilità interna

Una volta superato l'ingresso principale o i parcheggi, percorsi pedonali sono ben separati dai percorsi auto grazie alla presenza di comode pensiline coperte che collegano tutti gli edifici, rendendo però l'ambiente assai dispersivo.

3.2.2.2 Viabilità esterna

La viabilità esterna invece risulta assai complessa ed è ricorrente un'intensa congestione del traffico durante le ore di ingresso e di uscita dalle scuole. Consideriamo dunque le cause di questa situazione. Innanzitutto si è accennato prima che il traffico è stato interamente veicolato in corrispondenza dell'ingresso Ovest principale, per cui tutti i flussi di pedoni, ciclisti, bus e auto dei genitori e degli insegnanti si interferiscono a vicenda. Perdi più essendo stata chiusa pure via Adda i percorsi raddoppiano di lunghezza, rendendo ancora più difficoltoso il deflusso del traffico. Un problema simile si ha anche allo snodo tra via Adda e la SP3, nel quale le auto uscenti sono obbligate a girare a destra andando a sovraccaricare la già impegnata rotonda all'angolo. I bus che arrivano fino all'ingresso del polo scolastico sono tenuti ad entrare a Sud di via Adda, accostare all'isola pedonale dell'ingresso e poi fare inversione. Infine sull'altra metà di via Adda è presente, sempre in corrispondenza dell'ingresso, un parcheggio pubblico che è però inserito nel mezzo della strada. Una sovrapposizione del genere che prevede parecchie auto in manovra per prendere posto nelle piazzole ostacola non solo il normale flusso del traffico nella corsia a senso unico ma anche la fuoriuscita delle auto dal parcheggio dei docenti dal cancello accanto all'ingresso di cui si parlava prima.

3.2.2.3 Parcheggi

Già da una rapida occhiata si nota la scarsa disponibilità dei posti auto nei parcheggi interni e su strada. Infatti molti utenti sono costretti a parcheggiare in posti inadeguati come lungo le banchine, nelle aiuole o a ridosso degli edifici. Anche i genitori non hanno un posto per accostare in attesa dei figli. Si rende quindi necessario un adeguamento dei posti auto secondo la legge N°122/89 e allo stesso tempo incoraggiare la mobilità dolce da parte dei Vimercatesi.

3.2.2.4 Viabilità dolce

Le piste ciclopedonali sono presenti anche se passano lungo strade trafficate. Il sentiero che unisce il polo scolastico al centro città attraversando il parco del Molgora è poco curato e potrebbe quindi diventare un ottimo collegamento.



Fig. 3.11 Viabilità interna ed esterna (TAV. B05)

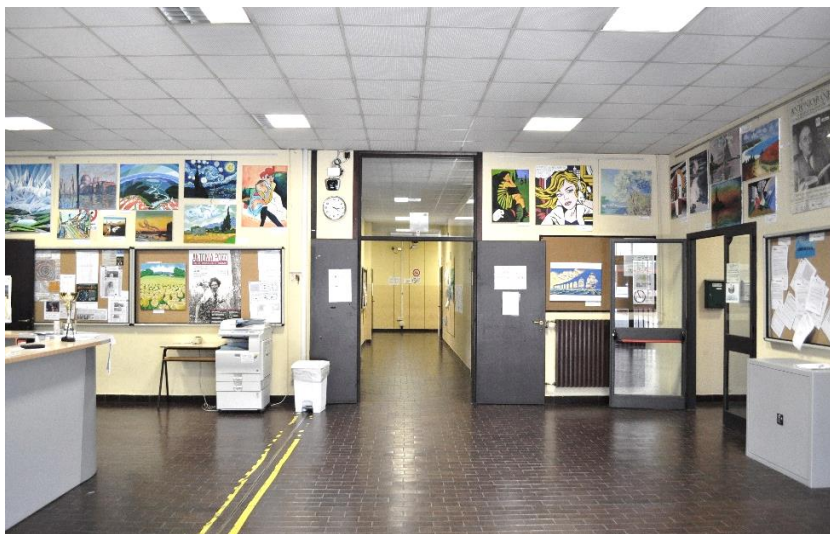


Fig. 3.12 Ingresso dell'edificio ex-uffici, ora Liceo A. Banfi



Fig. 3.13 Vista dell'auditorium dal fondo della sala

3.2.3 Gli edifici allo stato attuale

Si riporta qui la descrizione dello stato attuale degli edifici secondo quanto emerso dal sopralluogo, dagli spazi presenti allo stato di conservazione, dalla modalità di utilizzo agli interventi recenti di manutenzione straordinaria.

3.2.3.1 Ex uffici (edificio A)

Tale edificio si trova subito sulla destra appena entrati nella pensilina principale ed in passato serviva a contenere la direzione di tutto il complesso scolastico e la biblioteca. Ora è pienamente utilizzato dal Liceo Banfi e si articola nel seguente modo: all'ingresso si trova l'atrio con la portineria; la segreteria e la direzione si trovano all'angolo Nord-Est dell'edificio; gli ambienti rimanenti sono tutti adibiti ad aule e laboratori. Uno spazio interessante per la vita scolastica è la cosiddetta "aula sosta": si tratta di un ambiente accogliente, provvisto di divanetti, tavoli e macchinette, nel quale gli studenti si possono ritrovare negli intervalli tra le lezioni. La struttura non presenta degradi problematici e non sono stati fatti lavori recenti di manutenzione straordinaria.

3.2.3.2 Auditorium (edificio B)

Contrapposto agli ex-uffici si trova l'ingresso dell'auditorium comune del polo. Esso comprende un atrio con accesso ai bagni, una sala principale con circa 360 posti a sedere, la regia, il palco con torre scenica e camerini retrostanti. Le due ali dell'edificio, un tempo adibite a centro medico e sale conferenze, sono state convertite ad aule e laboratori ad uso degli istituti Banfi e Vanoni. Anche il servizio bar, un tempo presente a sinistra dell'atrio, non è più attivo. La sala ha una lieve pendenza scandita da gradonate regolari, per cui dal livello del terreno dell'ingresso si sale una rampa con gradini che raggiunge la sommità della sala a +0,5 m, per poi scendere fino a -1,0 m alla base del palco; il piano del palco e dei camerini si trova di nuovo alla quota del terreno. La struttura è stata riqualificata nel 2006, per cui l'auditorium è ancora in buone condizioni e presenta un buon impianto di trattamento aria. L'unico punto debole è l'impatto per nulla estetico che causa il macchinario posto sul retro, uno spazio già di per sé trascurato e poco utilizzabile dall'utenza scolastica.

3.2.3.3 Ex mensa (edificio C)

Altra situazione interessante è quella della ex-mensa, fortemente trasformata rispetto alla configurazione iniziale. Innanzitutto la mensa non esiste più, per cui il grande spazio vuoto per il refettorio e ritrovi è stato interamente saturato da aule da due palestre. Nelle palestre sono stati lasciati liberi i volumi a doppia altezza con i lucernari, mentre gli altri sono stati controsoffittati. La parte della cucina, così come il deposito interrato e la casa del custode, sono inutilizzati. L'accesso alle aule risulta in alcuni punti poco adeguato, in quanto è necessario uscire dalla protezione delle pensiline: per raggiungere le aule a Ovest infatti bisogna aggirare l'edificio con il rischio di esporsi all'apertura improvvisa delle finestre. Le aule a Nord invece comunicano direttamente con l'esterno tramite nuove porte ricavate nei muri. Nel modulo che contiene i due laboratori di informatica sono state applicate delle inferriate alle finestre per proteggere i computer dagli atti di furto e vandalismo. Una delle due palestre è stata gravemente danneggiata nel 2017 da atti di vandalismo, per cui sono stati effettuati subito dei lavori di rifacimento completo ed ora è in ottimo stato.

3.2.3.4 Ex biennio (edificio D)

L'edificio a Nord del complesso è quasi interamente occupato dall'I.T.I.S. Einstein e, data la sua passata funzione di scuola, preserva gran parte della sua articolazione originaria. Anche qui però certi ambienti come l'atrio e gli spogliatoi sono stati saturati da nuove aule e molti locali sono stati smezzati. La segreteria si trova appena di fronte all'ingresso, mentre la dirigenza è dislocata verso l'angolo Nord-Ovest dell'edificio. La struttura anche se estesa è ben circoscritta e controllabile. Un buon punto di forza sono le spaziose corti verdi interne nelle quali trovano posto aree coltivate con piante e fiori e, nei mesi estivi, zone gioco e patii in cui svolgere lezioni all'aperto. Altri spazi di valore sono la spaziosa aula polifunzionale, la biblioteca ben fornita dell'istituto e la particolarissima aula 2.0, arredata in modo alternativo per sperimentare un nuovo tipo di didattica come consigliato dal MIUR. Infine per quanto riguarda le condizioni dell'edificio si segnalano alcune perdite dal tetto e l'inflessione dei pannelli prefabbricati di partizione in molti tratti di parete.



Fig. 3.14 Palestra appena ristrutturata nella ex-mensa



Fig. 3.15 Corte interna dell'ex-biennio con parti coltivate e zona gioco



Fig. 3.16 Palestra principale del palazzetto con le tribune



Fig. 3.17 Atrio a capanna dell'ex-triennio, ora parte del Liceo Banfi

3.2.3.5 Palestre (edifici E-E')

L'edificio delle palestre è l'unica struttura che non ha subito modifiche di funzioni e distribuzione interna, ad eccezione di alcune stanze che vengono utilizzate dalle scuole per mancanza di spazio. dall'ingresso centrale si accede a due scalinate contrapposte che portano alla sommità delle tribune del palazzetto principale. Ai lati invece si accede al corridoio ad anello che conduce agli spogliatoi e a tutte e cinque le palestre. Essendo il numero di palestre sottodimensionato, si sono ricavate in più le due palestre poco adeguate nell'edificio mensa e il pallone tensostatico accanto al palazzetto, molto caldo d'estate e privo di spogliatoi. Anche due delle cinque palestre contenute nell'edificio risultano troppo piccole, in quanto progettate come sale attrezzi. La struttura soffre di un marcato degrado e alcune parti rimangono spesso inaccessibili per perdite dal tetto. Anche i rivestimenti usurati di pareti e pavimentazioni delle palestre necessitano di essere sostituiti. Il sistema di riscaldamento ad aria esiste ma è ormai obsoleto e assai energivoro.

3.2.3.6 Ex triennio (edificio F)

La ex struttura dedicata al triennio ora è divisa tra il Vanoni e il Banfi, che possiedono rispettivamente quattro e due dei sei moduli del corpo edilizio. Tutti i moduli sono collegati tra loro da un largo corridoio e ciascun modulo contiene due piccole corti che però non possono essere utilizzate per il numero insufficiente di uscite d'emergenza. Tra i vari moduli vengono a crearsi degli spazi speciali a capanna, due dei quali sono più grandi e contengono gli atri delle due scuole. Tali spazi sono stati in parte occupati da aule prive di finestre verso l'esterno e i lucernari alla sommità faticano ad illuminare in profondità questi grandi spazi. Dall'atrio del Vanoni è possibile raggiungere la vicepresidenza e la segreteria nell'angolo Nord-Ovest del primo modulo a sinistra, mentre la presidenza è la stessa del Banfi negli ex-uffici. Qui i laboratori e le aule speciali sono insufficienti e c'è una continua contesa delle due scuole sull'elemento separatore per avere più aule. Il degrado è moderato ma diffuso e si cerca di abbellire le finiture con opere d'arte fatte dagli studenti. Come nelle altre scuole le finestre sono fuori norma e le tende sono difettose.

3.2.3.7 Ampliamento Banfi (edificio G)

L'ampliamento del Banfi, ovvero il corpo che si addiziona agli ex-uffici, si presenta simile alle altre scuole. In particolare si sviluppa su un solo piano, presenta una corte interna, contiene aule ordinarie e bagni, possiede finestre simili a quelle originarie e presenta lo stesso cornicione con fascia metallica rossa che accomuna tutti gli edifici del polo scolastico. A differenza delle altre strutture però, essendo molto più recente, presenta le seguenti differenze: esternamente ha un cappotto con intonaco bianco uniforme e un tetto piano, mentre all'interno presenta una pavimentazione e delle finiture più chiare che combinate a finestre leggermente più grandi permettono un'ottima illuminazione naturale. Pur essendo la struttura e gli impianti trent'anni più moderni rispetto alle costruzioni originarie, anche questo edificio inizia a risentire dei primi degradi, specialmente nei rivestimenti esterni, per cui necessita di maggiori manutenzioni ordinarie. Nel percorrere il corridoio tra l'edificio vecchio e quello nuovo è interessante notare il cambio della pavimentazione dalle tipiche mattonelle marrone scuro di tutto il complesso al linoleum verde della ex biblioteca al gres chiaro dell'ala nuova.

3.2.3.8 Blocchi aule (edifici H - I)

I blocchi aule posti su basamenti posticci in cls all'inizio degli anni '80 erano stati concepiti come strutture provvisorie per l'improvviso incremento degli studenti, per cui oggi sono ancor meno adeguate a contenere delle aule. In primo luogo le due strutture hanno un linguaggio architettonico diverso e molto più povero rispetto agli edifici originari. Gli spazi interni sono ristretti e bui a causa delle piccole finestre e non presentano luoghi di ritrovo; studenti e insegnanti infatti sono costretti a sostare alle macchinette lungo corridoi senza slarghi né finestre o uscire all'aperto per prendere un po' di aria fresca. Anche la sicurezza è a rischio, in quanto oltre all'ingresso esiste una sola piccola uscita di emergenza che tramite una ripida rampetta conduce contro il pendio dello scavo del basamento, per cui un'uscita frettolosa può causare facilmente cadute e scivolamenti sul pendio. La qualità di bagni, serramenti e finiture ovviamente non è elevata in quanto dovuto alla loro natura provvisoria.



Fig. 3.18 Corridoio dell'ampliamento del Liceo Banfi annesso agli ex uffici

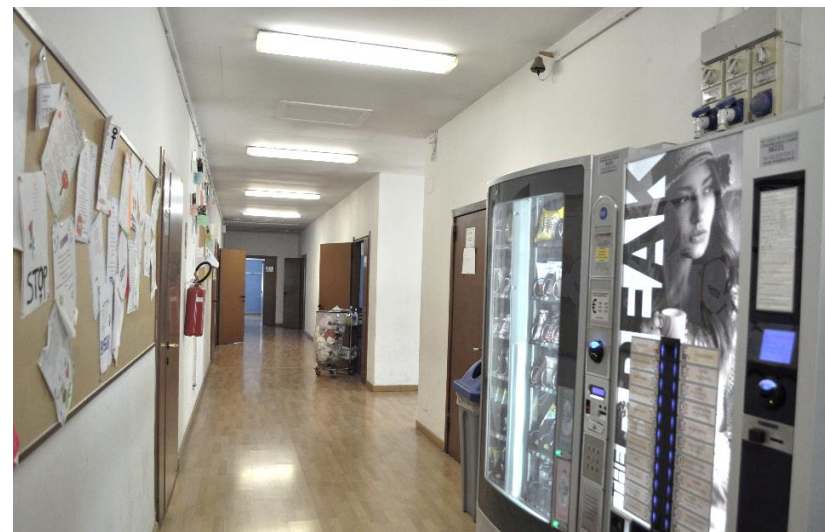


Fig. 3.19 Interno dei blocchi aule provvisori

3.3 Le scuole e l'offerta formativa

Di seguito si analizza in modo più approfondito, per ciascuna scuola che occupa il complesso di via Adda, la sua storia e gli spazi e i corsi che offre attualmente.

3.3.1 Istituto di Istruzione Superiore Ezio Vanoni

L'Istituto nasce nel 1971 come sede distaccata del "Mosè Bianchi" di Monza. La fondazione dell'I.I.S. "Ezio Vanoni" risale al 1973, in cui il Preside propone d'intitolare l'Istituto vimercatese all'insigne economista e politico italiano Ezio Vanoni (Morbegno 1903 – Roma 1956). Egli fu Ministro delle Finanze e del Bilancio dello Stato e nel 1951 fu uno dei principali fautori della riforma tributaria italiana che porta il suo nome, introducendo anche l'obbligo della dichiarazione dei redditi. L'Istituto viene inizialmente ospitato nell'oratorio maschile di Vimercate ed in seguito nel vecchio ospedale. Nel 1977 è il primo istituto a trasferirsi al nuovo Centro Scolastico di via Adda, ancora in fase di ultimazione, dando spazio a due numerose sezioni di geometri e ragionieri. Da qui si adatta col passare del tempo, in termini di spazi scolastici, per accogliere dapprima il Liceo "A. Banfi" nel 1978, poi il l'ITIS "A. Einstein" nel 1982 ed infine la sezione "Olivetti" dell'Istituto Professionale "V. Floriani" nel 2004.

OFFERTA FORMATIVA
Costruzione, Ambiente e Territorio
Amministrazione, Finanza e Marketing
Turismo
Liceo Linguistico

Tab. 3.1 Offerta formativa I.I.S. Ezio Vanoni

AULE SPECIALI	NUMERO
Laboratorio Informatica	3
Laboratorio di Topografia/Costruzioni	1
Laboratorio di Fisica/Chimica	1
Laboratorio Linguistico	1
Aula Audiovisiva	1

Tab. 3.2 Aule speciali disponibili per I.I.S. Ezio Vanoni

UTENZA A.S. 2016/2017	NUMERO
Classi	57
Alunni	1180
Professori	127
Amministratori	8
Tecnici	4
Collaboratori	22

Tab. 3.3 Utenza scolastica I.I.S. Ezio Vanoni nell'anno scolastico 2016/2017

3.3.2 Liceo Statale Antonio Banfi

Nel 1976 la sezione distaccata del Liceo Scientifico Statale "Paolo Frisi" di Monza ottiene l'autonomia organizzativa. Nasce il Liceo Scientifico Statale di Vimercate, che nei primi due anni utilizza la scuola media di Oreno, l'Oratorio di Via Dozio, e anche spazi dell'Ospedale vecchio. Dal 1978 il Liceo ha sede nel Centro Scolastico Omnicomprensivo di Via Adda assieme all'I.I.S. Ezio Vanoni. Per quattro anni l'Istituto è diretto da Augusto Vegezzi, allievo di Antonio Banfi, il quale decide di intitolare la scuola a questo illustre cittadino vimercatese. Filosofo, antifascista, senatore della Repubblica, Antonio Banfi fu sempre, nel corso della sua intensa attività culturale e politica, particolarmente attento ai problemi della scuola e dell'educazione. Divenuto autonomo in un periodo di forte crescita della scolarizzazione, il Liceo ha conosciuto un costante incremento dell'utenza e ciò ha comportato un assiduo impegno nel reperimento di aule da parte dei molti presidi che si sono succeduti nella direzione dell'Istituto. Nel 1989 viene introdotto l'insegnamento della matematica secondo i programmi sperimentali del Piano Nazionale di Informatica (P.N.I.) per rispondere alle esigenze di un'utenza che proviene da un tessuto socio-economico tecnologicamente avanzato. Per motivi analoghi, viene avviata dall'anno scolastico 1990/91 una sperimentazione linguistica. Nel 1994 arriva il preside Gerardo Taglia, il quale dirige il Liceo sino al 2002/2003. Nello stesso anno la sezione staccata del Liceo Classico "Bartolomeo Zucchi" di Monza chiede ed ottiene di essere aggregata al Banfi. Essa rimane inizialmente dislocata presso la sede di Oreno, a causa della mancanza di aule. Nel 1999 una ulteriore redistribuzione degli spazi del Centro

Scolastico consente di unificare presso la sede centrale le sezioni del Liceo Classico e Scientifico. Con il primo settembre 2003, assume la Dirigenza del Liceo Banfi il Prof. Rodolfo Denti, mentre dal primo settembre 2007 il Dirigente Scolastico è il prof. Giancarlo Sala, che implementa anche la dirigenza del Vanoni. Nell'a.s. 2010/11 si è attuata la riforma per il Liceo Classico e il Liceo scientifico. Dall'a.s. 2011/12 è stata attivata anche l'opzione Scienze Applicate.

OFFERTA FORMATIVA
Liceo Classico
Liceo Scientifico

Tab. 3.4 Offerta formativa Liceo Antonio Banfi

AULE SPECIALI	NUMERO
Laboratorio Multimediale	1
Laboratorio Informatica	2
Laboratorio Linguistico	1
Laboratorio Autocad	1
Laboratorio Disegno	1
Laboratorio di Fisica/Chimica	1
Biblioteca	1

Tab. 3.5 Aule speciali disponibili per il Liceo Antonio Banfi

UTENZA A.S. 2016/2017	NUMERO
Classi	45
Alunni	1000
Professori	88
Amministratori	6
Tecnici	3
Collaboratori	13

Tab. 3.6 Utenza scolastica del Liceo Antonio Banfi nell'anno scolastico 2016/2017

3.3.3 Istituto Tecnico Industriale Statale Albert Einstein

L'Istituto nasce nell'anno scolastico 1969/70, con sede provvisoria nella Scuola Media "A. Manzoni", come sezione staccata dell'I.T.I.S. "Henseberger" di Monza per periti elettronici; le prime classi vengono instaurate nella nuova sede di Via Bice Cremagnani in centro Vimercate. Nell'anno scolastico

1973/74, l'I.T.I.S. di Vimercate diventa autonomo, aggregando anche l'altra sezione distaccata dell'Henseberger a Concorezzo. A partire dal 1978/79 vengono progressivamente trasferite tutte le classi nel polo scolastico di via Adda, nell'edificio che ospitava dapprima il biennio delle scuole Banfi e Vanoni. Lo spostamento è completato nel 1982/83 e l'anno successivo la scuola prende il nome di I.T.I.S. "A. Einstein". Nell'anno scolastico 1985/86 nasce il progetto sperimentale "Ambra 2", per periti in Elettronica e Telecomunicazione. Nell'anno scolastico 1993/94 l'Istituto ha aderito al Progetto Brocca attivando il Liceo Scientifico Tecnologico, affidato dal Ministero della Pubblica Istruzione agli Istituti Tecnici dotati di strutture idonee. Nell'anno scolastico 2004/05 è attivato il Liceo Scientifico-Biologico "Brocca", coordinato dal Ministero, che risponde sia alle esigenze di rinnovamento della scuola che alle richieste di nuovi percorsi formativi da parte del mondo del lavoro e della ricerca. Dall'anno scolastico 2005/06 l'Istituto ha aderito al progetto Sirio con un corso serale per Periti Industriali per l'Elettronica e le Telecomunicazioni. Questo intervento intende essere sia uno strumento volto a contenere la dispersione scolastica sia una risposta ai bisogni di formazione espressa dal mondo imprenditoriale, tenendo in considerazione che l'educazione permanente rappresenta uno specifico settore di intervento per l'Unione Europea. Dall'anno scolastico 2008/09 ha attivato l'indirizzo Periti Industriali per l'Informatica Progetto Abacus. Dall'anno scolastico 2010/11, in adeguamento al Riordino della Scuola Secondaria Superiore, l'istituto ha confermato la sua vocazione di Polo Tecnologico e Scientifico, attivando 5 corsi di studio per l'istituto tecnico (settore tecnologico) e un corso di liceo scientifico (opzione scienze applicate), e si avanzano proposte circa l'apertura di una sezione di Liceo Artistico per completare l'offerta formativa all'interno del polo.

OFFERTA FORMATIVA
Elettronica ed Elettrotecnica
Informatica e Telecomunicazioni
Liceo Scientifico, Scienze Applicate

Tab. 3.7 Offerta formativa I.T.I.S. Albert Einstein

AULE SPECIALI	NUMERO
Laboratorio di Informatica e Sistemi Elettronici	2
Laboratorio di T.D.P.	1
Laboratorio di Telecomunicazioni	1
Laboratorio di Reti Informatiche (Cisco)	1
Laboratorio di Disegno	2
Laboratorio di Elettronica ed Elettrotecnica	1
Laboratorio di Informatica	1
Laboratorio di Fisica	2
Laboratorio di Chimica/Fisica	4
Laboratorio di Matematica	1
Laboratorio di Biologia	2
Aula Video	1
Aula in Rete	1
Laboratorio Linguistico	1
Biblioteca	1
Aula Polifunzionale	1

Tab. 3.8 Aule speciali disponibili per I.T.I.S. Albert Einstein

UTENZA A.S. 2016/2017	NUMERO
Classi	44
Alunni	977
Professori	115
Amministratori	10
Tecnici	9
Collaboratori	13

Tab. 3.9 Utenza scolastica I.T.I.S. Albert Einstein nell'anno scolastico 2016/2017

3.3.4 Istituto di Istruzione Superiore Virgilio Floriani - Olivetti

L'Istituto è nato nell'a.s. 1979/80 con una seconda classe del corso elettrico con sede in via Valcamonica a Vimercate, per volontà del preside dell'IPSIA di Monza. Nel maggio 1980 furono poi gettate le ulteriori basi per la presenza di un istituto professionale nel territorio del Vimercatese; con l'aiuto del comune

di Vimercate furono aperti anche gli indirizzi di radio riparatore e meccanico, diventando da sede staccata a sezione coordinata dell'IPSIA di Monza con 12 classi. Dall'a.s. 1984/85 l'Istituto occupa la sede attuale di via Cremagnani, dapprima occupata dall'ITIS A. Einstein. Nell'a.s. 1986/87 l'Istituto raggiunge l'autonomia. Dall'a.s. 1989/90 viene accorpata la sezione di Melzo. Nell'a.s. 2000/01 viene scorporata la sezione di Melzo e si associa invece l'IPSCT "Olivetti" di Arcore con gli indirizzi aziendale, turistico e sociale. Nello stesso anno scolastico l'istituto è stato intitolato a Virgilio Floriani, fondatore della Telettra, per anni prima industria elettronica nel territorio. Dall'a.s. 2004/05 l'IPSCT "Olivetti" è stato trasferito in Via Adda, Vimercate, presso il Centro Scolastico Provinciale. Dall'a.s. 2016/17 l'IPSCT "Olivetti" apre anche l'indirizzo di Liceo Scienze Umane e si prepara ad attivare un paio di classi per corsi serali.

OFFERTA FORMATIVA
Sociosanitario
Aziendale Commerciale
Aziendale Grafico
Liceo Scienze Umane

Tab. 3.10 Offerta formativa I.I.S. Virgilio Floriani (sezione Olivetti)

AULE SPECIALI	NUMERO
Laboratorio Informatica	3
Laboratorio Metodologia	1
Aula Audiovisiva	1

Tab. 3.11 Aule speciali disponibili per I.I.S. Virgilio Floriani (sezione Olivetti)

UTENZA A.S. 2016/2017	NUMERO
Classi	14 + 5 in via Cremagnani
Alunni	325 + 123 in via Cremagnani
Professori	60
Amministratori	9
Tecnici	1
Collaboratori	6

Tab. 3.12 Utenza scolastica I.I.S. Virgilio Floriani (Olivetti) nell'anno scolastico 2016/2017

3.4 Verifiche normative

Una volta note le condizioni attuali degli edifici e le aree gestite da ciascuna scuola è possibile fare un controllo a livello normativo per vedere se e quanto gli spazi attuali siano conformi ad uno svolgimento ottimale della didattica. Essendo la normativa di riferimento alquanto datata in termini di superfici minime, i risultati calcolati con una certa criticità verranno poi incrociati con le percezioni di studenti e insegnanti ricavate dagli appositi questionari online.

3.4.1 Verifica delle superfici minime

Per poter calcolare i valori precisi delle superfici di ciascun edificio si è dovuta disegnare innanzitutto una planimetria aggiornata su Autocad, combinando i disegni originari di progetto con le piante attuali trovate appese all'interno di ogni scuola. Conteggiando quindi le aree di pertinenza di ciascuna scuola è possibile ricavare gli indici di rapporto espressi da normativa. Il testo utilizzato è il D.M. 18/12/1975 e l'utenza conteggiata reperita dalle segreterie dei quattro istituti è quella riportata nelle tabelle del paragrafo precedente. Si precisa che le tipologie di scuole citate nel decreto sono alquanto datate, per cui i risultati ottenuti vanno opportunamente interpretati in base alle moderne esigenze didattiche. La superficie coperta disponibile in tutto il polo scolastico è pari a 29.805 m² e sono utilizzati nella quasi totalità, ad eccezione appunto della cucina e della casa del custode. Le superfici degli spazi comuni come le palestre e l'auditorium sono state ripartite in modo proporzionale al numero di studenti delle scuole. I valori così calcolati per ciascuna scuola sono quindi:

I.I.S. EZIO VANONI - A.S. 2016/2017	NUMERO
Superficie lorda occupata dalla scuola (m ²)	8720
m ² / classe	159 << 219
m ² / alunno	7,33 << 8,79
LICEO ANTONIO BANFI - A.S. 2016/2017	NUMERO
Superficie lorda occupata dalla scuola (m ²)	7829
m ² / classe	174 < 215
m ² / alunno	7,86 < 8,11



Fig. 3.20 Distributivo attuale (TAV. B04)

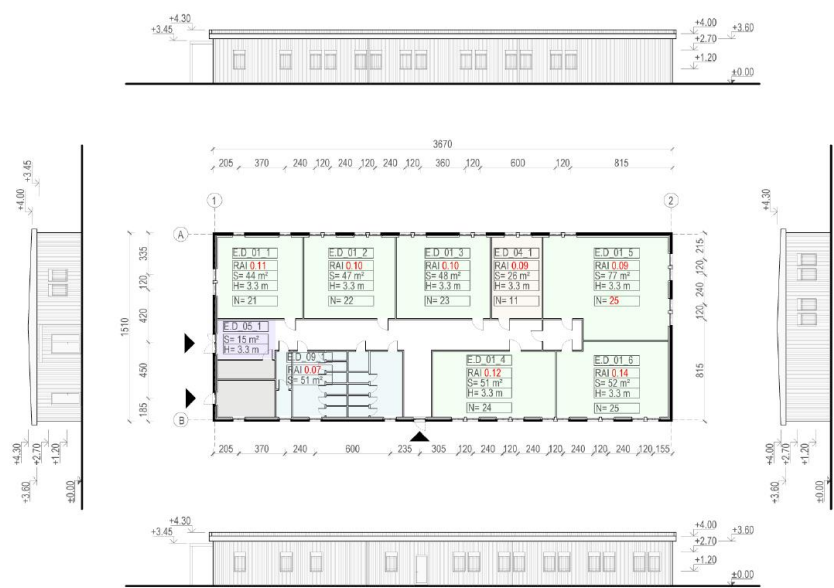


Fig. 3.21 Analisi e verifica dei singoli ambienti per il blocco aule (TAV. B08)

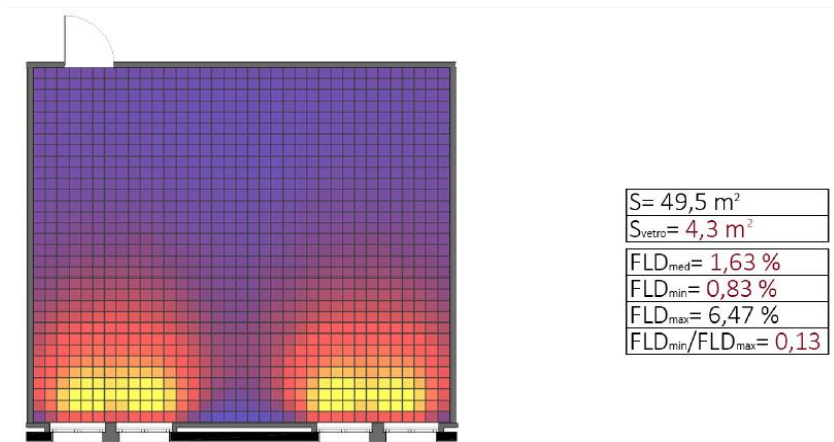


Fig. 3.22 Analisi illuminotecnica con Ecotect di un'aula nel blocco aule (TAV. B18)

I.T.I.S. ALBERT EINSTEIN - A.S. 2016/2017	NUMERO
Superficie lorda occupata dalla scuola (m²)	10099
m² / classe	230 < 242
m² / alunno	10,24 > 9,67
I.I.S. VIRGILIO FLORIANI - A.S. 2016/2017	NUMERO
Superficie lorda occupata dalla scuola (m²)	2798
m² / classe	165 << 262
m² / alunno	7,16 << 10,50

Tab. 3.13 Verifica dimensionale dei quattro istituti nell'anno scolastico 2016/2017

Si conferma quindi che tutte le scuole, date le dinamiche di sovraccollamento analizzate prima, non rispettano gli indici minimi richiesti. In particolare gli istituti Vanoni e Floriani sono quelli messi peggio in quanto molto sottodimensionati e frammentati in differenti strutture del polo scolastico, mentre l'Einstein è ben circoscritto e presenta un indice accettabile.

3.4.2 Verifica degli spazi didattici

Dopo aver analizzato le scuole a livello quantitativo generico si passa quindi all'analisi dettagliata di ciascuna. Da un lato si rappresenta la scuola nella sua interezza mostrando una pianta dettagliata dello stato attuale e i relativi prospetti quotati; dall'altra si analizzano i singoli ambienti calcolandone i valori tecnici ed evidenziandone la collocazione nell'edificio in base al tipo di utilizzo (aule, laboratori, segreteria ecc...). I dati tecnici calcolati per ciascuna stanza sono l'area, la superficie, l'altezza, il RAI e gli utenti massimi (Fig. 3.21).

3.4.3 Verifica illuminotecnica

Essendo l'indice RAI piuttosto generico, si vuole controllare nel dettaglio la qualità di illuminazione delle aule. Si scelgono dei modelli tipo e se ne fa l'analisi FLD con "Ecotect". Si scopre che le aule profonde 7 metri hanno un buon livello di illuminazione e una buona omogeneità, mentre quelle profonde 9,4 metri non rispettano il rapporto altezza vetrata/profondità e sono buie in fondo. In genere le stanze hanno dei valori sufficienti ad eccezione dei blocchi aule (Fig. 3.22), che a causa delle piccole finestre non soddisfano mai il RAI, e di alcune aule strette e profonde che si affacciano sulle corti interne.

4

PROGETTO ARCHITETTONICO

Lo scopo del presente capitolo è quello di illustrare, sulla base delle conclusioni fatte sulle condizioni attuali dell'oggetto di studio, gli obiettivi di progetto ed i relativi elaborati grafici. Da un lato si analizza il polo scolastico nel suo complesso a livello di concept e di masterplan, evidenziando la nuova relazione tra i volumi e la logica distributiva che possa risolvere le questioni attuali; dall'altro lato, essendo il complesso particolarmente grande, si va ad approfondire un'area specifica considerata la più interessante dal punto di vista accademico. In particolare, il focus viene incentrato su un nuovo edificio che ospiterà interamente la sezione Olivetti dell'I.I.S. Floriani, nella quale si sperimenta una distribuzione interna assai innovativa atta ad ospitare un nuovo tipo di didattica.

- 4.1 Obiettivi di progetto
- 4.2 Masterplan generale
- 4.3 L'area polifunzionale
- 4.4 La nuova scuola I.I.S Floriani – Olivetti
- 4.5 Verifiche normative

4.1 Obiettivi di progetto

La premessa fondamentale alla progettazione del manufatto architettonico è la definizione precisa delle funzioni da espletare attraverso l'intervento e la determinazione dei fruitori. Seguendo l'iter progettuale, a partire dalle analisi preliminari si definisce un programma di progettazione scorporandolo nel seguente modo per dare chiarezza ed organicità: visione, obiettivi, strategie.

4.1.1 Visione: verso una Community School

L'intento principale del progetto è appunto quello di attuare le linee guida del MIUR per trasformare questo semplice centro di educazione di massa in un polo all'avanguardia nel campo della didattica e delle relazioni sociali. La scuola non sarà più solo uno strumento di trasmissione passiva della conoscenza ma anche un ambiente flessibile e stimolante che possa favorire molteplici canali di apprendimento e maggiore interazione sociale, anche esternamente alla scuola, proprio come si era pensato in origine.

4.1.2 Obiettivi

Per poter concretizzare questa visione, l'obiettivo principale consiste nel riorganizzare spazialmente gli istituti scolastici per ottenere i seguenti benefici: superare le carenze e le discontinuità spaziali di ogni scuola in modo da garantire maggiore unitarietà e sicurezza; ripristinare gli ambienti condivisi e allestire aule speciali per poter sperimentare una nuova didattica; connettere meglio l'area alla città incoraggiando così la "Community School"; migliorare la viabilità e favorire la mobilità dolce; educare all'insegna della sostenibilità.

4.1.3 Strategie

In particolare gli interventi specifici da attuare sono: erigere una nuova scuola per l'I.I.S. V. Floriani - Olivetti al posto dei blocchi aule temporanei degli anni '80; sopraelevare gli ex-uffici per poter raccogliere tutte le aule del Liceo Banfi; riqualificare le scuole esistenti; ampliare le palestre per colmare il deficit di spazi sportivi; delimitare un'area speciale polivalente con una serie di ambienti e servizi speciali aperti anche alla cittadinanza (teatro all'aperto, biblioteca

digitale, laboratori comuni, spazi espositivi ecc...); riaprire via Adda e migliorare il sistema del verde urbano, dei parcheggi e delle piste ciclopedonali; isolare gli edifici e sostituire la centrale termica con impianti più efficienti e delocalizzati per le singole scuole e le aree funzionali (direzione, mensa ecc...).

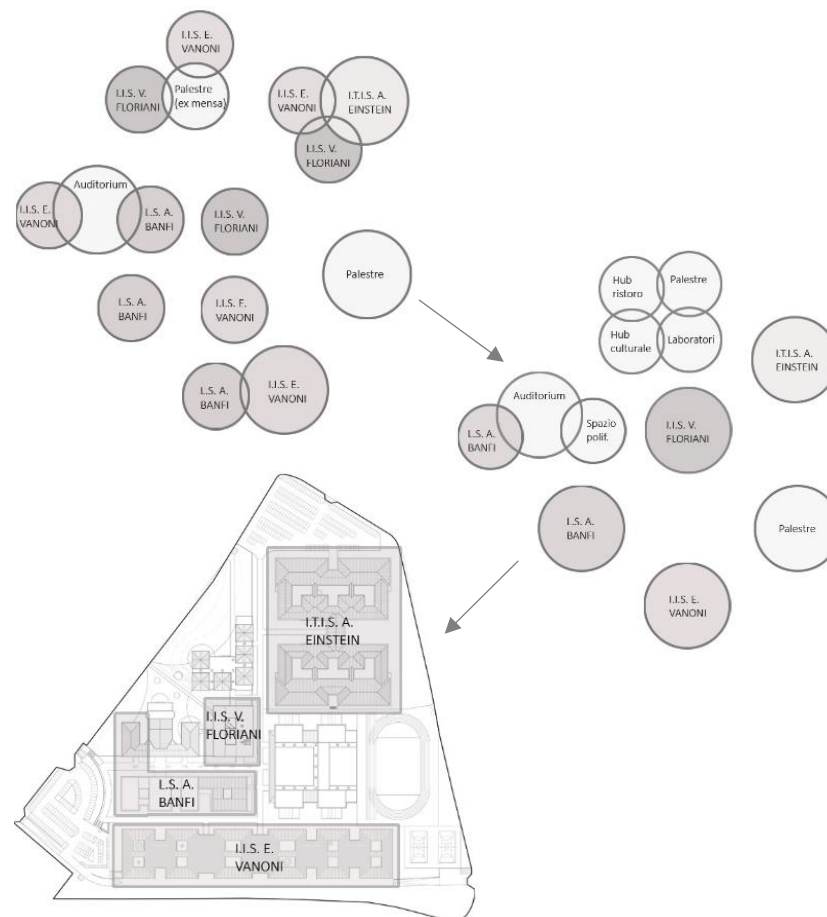


Fig. 4.1 Ottimizzazione degli spazi funzionali (prima, dopo, scuole riunificate)

4.2 Masterplan generale

Il criterio con cui si costruisce il masterplan è garantire la totalità dei benefici proposti con il minimo intervento, ottimizzando così le spese in termini di fondi, di tempo e di invadenza dei cantieri per non ostacolare la didattica.

4.2.1 Caratteristiche dell'area

Il lotto di progetto presenta delle nuove recinzioni più sicure e perde circa 3.000 m², dovuto ad un allargamento di via Adda per riorganizzare la viabilità e i parcheggi. La superficie riscaldata disponibile aumenta di ben 5460 m² ma perlopiù in altezza, dato che la superficie costruita tra demolizioni e ricostruzioni rimane pressochè invariata. L'area verde permeabile diminuisce di circa 1400 m², dovuti alla creazione di nuove piazze e campetti sportivi, pur rimanendo un buon 36% dell'area totale (su 68% di area esterna attrezzata). Gli edifici infine si riducono da 10 a 7, diventando più capienti e su più piani.

4.2.2 I nuovi volumi

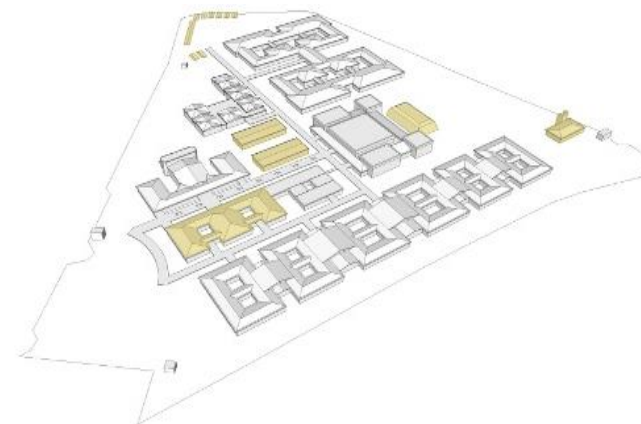
Come accennato prima si precisano le seguenti operazioni volumetriche fatte: i due blocchi aule prefabbricati temporanei, il tendone della palestra esterna, i portabiciclette a Nord e la centrale termica vengono demoliti; la palestra viene ampliata trasformando le sale attrezzi a palestre di media dimensione, inserendo due nuovi spogliatoi e aggiungendo una nuova palestra grande quanto quella principale ma senza le tribune; gli ex-uffici vengono sopraelevati di un piano per ospitare ulteriori aule del Banfi; al posto dei due prefabbricati infine viene eretta una nuova scuola per il Floriani che chiude come una valvola il perimetro dell'area polifunzionale assieme all'auditorium e alla ex mensa.

4.2.3 Gli accessi alle scuole

Gli ingressi totali nell'area scolastica aumentano da 7 a 9. In particolare, si inserisce a Ovest un secondo ingresso principale, poco distante da quello preesistente, che costituisce l'accesso ad un'area polifunzionale inscritta nel polo scolastico; tale ingresso intercetta l'asse viario valorizzato da una nuova pista ciclopeditone che arriva dal centro città attraversando il parco del

Molgora ed è affiancato da un passo carraio di servizio per le forniture della nuova mensa. Appena entrati nell'area polifunzionale, una piazzetta accoglie i visitatori e conduce ai vari ambienti condivisi accessibili da questo luogo.

DEMOLIZIONI



AMPLIAMENTI E NUOVE COSTRUZIONI

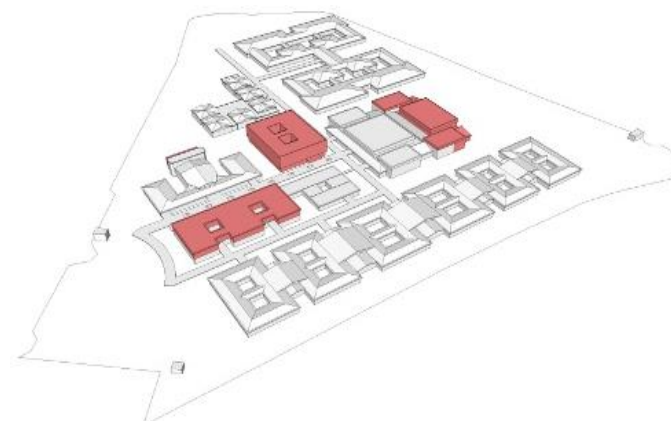


Fig. 4.2 Concept di composizione volumetrica con sottrazioni e addizioni (TAV. C03)

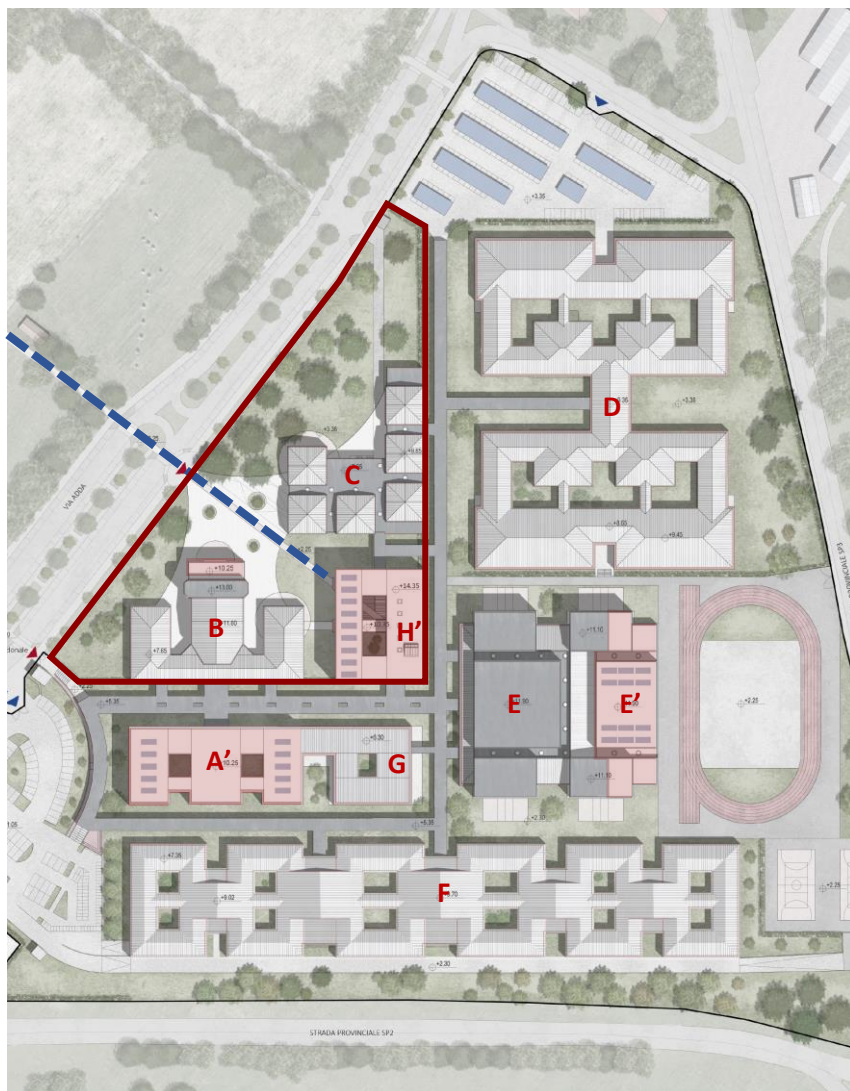


Fig. 4.3 Planivolumetrico allo stato di progetto con evidenziati gli interventi principali (TAV. C03)

4.2.3.1 Viabilità interna

La novità principale della distribuzione interna di progetto consiste proprio nella creazione di un nuovo ingresso per l'area polifunzionale, posto lungo l'asse ciclopeditonale che proviene dal parco del Molgora e quindi dal centro città. Entrati da questo secondo ingresso ci si ritrova in un ampio spazio pavimentato, la piazza fulcro dell'area, dalla quale è possibile accedere ai tre edifici che la delimitano: l'auditorium, la ex mensa e la nuova scuola dell'I.I.S. Virgilio Floriani. Tale spazio, a differenza della rigidità ortogonale delle pensiline coperte, è libero di espandersi in ogni direzione con curve, rampe, vialetti e aiuole tonde che si contrappongono alla rigidità delle strutture esistenti. In questo modo la diversa geometria della piazza simboleggia il cambio di funzione dell'area verso un approccio più dinamico, flessibile e aperto alla comunità, rispecchiando quindi le intenzioni e gli obiettivi del progetto di riqualificazione ed innovazione. Per il resto i percorsi delle pensiline rimangono quasi identici a prima, diminuendo gli accessi principali per ciascun edificio in modo da avere maggiore controllabilità.

4.2.3.2 Viabilità esterna

In configurazione di progetto la via Adda risulta profondamente trasformata. Innanzitutto, la strada viene riaperta, per cui ora è possibile attraversarla interamente senza dover fare una inversione in corrispondenza dell'ingresso. Il conseguente transito di mezzi e persone viene allo stesso tempo controllato grazie ad una serie di elementi di sicurezza: larghi dossi per il passaggio ciclopeditonale, isole, spartitraffico a verde, rientranze specifiche per i bus e percorsi dedicati a chi necessita di fare inversione all'inizio o in fondo alla via. Il cancello del parcheggio Nord viene riaperto, eliminando la strada interna di collegamento, e si riapre lo sbocco sulla SP3 per facilitare il deflusso del traffico. In questo modo l'incrocio delle tre strade dà origine ad una rotonda.

4.2.3.3 Parcheggi

I parcheggi interni rimangono invariati come superficie e in particolare quello Nord si ottimizza con piazzole coperture più numerose e ben allineate. Lungo

via Adda invece, essendo stata di nuovo riaperta come in passato ma senza la stessa importanza di arteria stradale principale, si riorganizzano dei parcheggi in linea per non ostacolare con le manovre il flusso del traffico. I posti auto totali aumentano così di 60 unità, arrivando a coprire il numero minimo imposto dalla legge N°122/89. Ciò non esclude la promozione della mobilità dolce: dove la nuova pista ciclabile raggiunge i due ingressi principali si predispongono infine dei posteggi in linea per le bici ombreggiati da alberi.

4.2.4 Gli edifici allo stato di progetto

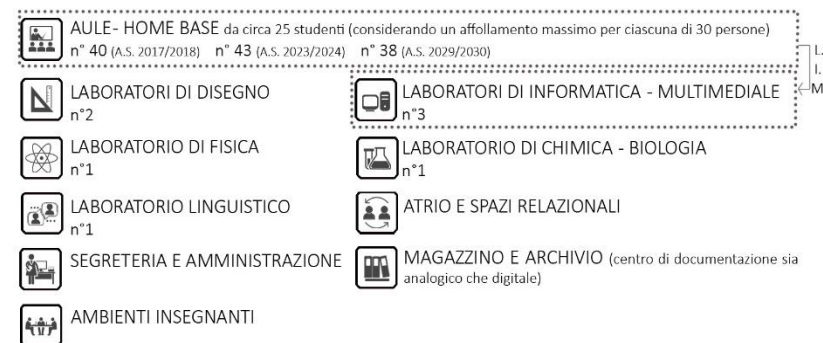
Ora per ciascun edificio si riportano le modifiche principali apportate per arrivare alla configurazione riqualificata di progetto, sia per quanto riguarda le opere di manutenzione straordinaria sia per il cambio di funzione degli ambienti. Si dà per scontato che sugli edifici preesistenti vengano rinnovate le finiture e le partizioni interne per una maggiore prestazione acustica, installati nuovi impianti di climatizzazione centralizzati (al momento ci sono degli impianti singoli solo per alcune aule) e apportati interventi di efficientamento energetico, quali nuovi serramenti con apertura a vasistas, schermature a tenda arrotolabile e l'applicazione del cappotto isolante.

4.2.4.1 Ex uffici (edificio A')

Il liceo Banfi ora può godere di un piano superiore per le aule, per cui poco oltre l'ingresso si apre un'atrio spazioso a doppia altezza nel quale si sviluppa in bella vista la scala principale. Le aule vengono regolarizzate e i bagni compattati in un unico punto. Le aperture sulle corti vengono ingrandite eliminando i parapetti prefabbricati per ricevere più luce e a Sud si liberano dei larghi corridoi per permettere l'innesto di scale esterne di emergenza.

4.2.4.2 Ampliamento L.S Banfi (edificio G)

Essendo l'edificio più recente, per l'ampliamento del Banfi non sono previsti interventi particolari. Nell'arco di un decennio, quando è previsto un netto calo dell'utenza, si propone di demolirlo in modo da ripristinare il prato che costituiva il cuore verde del progetto originario, diminuendo la densità edilizia.



Integrare questi spazi con "1+4 spazi di apprendimento innovativi" e rivitalizzare le corti verdi interne.

Fig. 4.4 Locali/ambienti previsti nell'edificio A'+G

4.2.4.3 Ex biennio (edificio D)

L'Einstein si riappropria di tutto l'edificio, cedendo maggiore spazio all'atrio. Le aule vengono ingrandite e così anche le finestre verso le corti interne. Nei corridoi bui si inseriscono cannoni di luce e parti vetrate tra aula e corridoio.

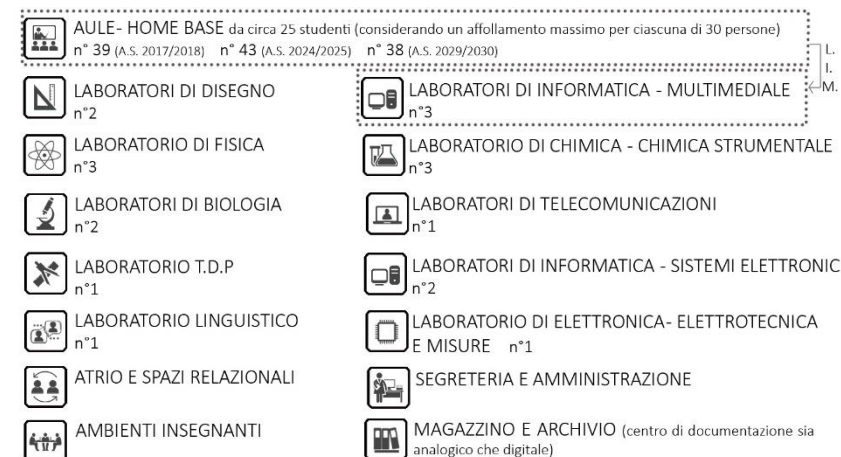


Fig. 4.5 Locali/ambienti previsti nell'edificio D



Fig. 4.6 Distributivo di progetto (TAV. C04)

4.2.4.4 Auditorium (edificio B)

La sala principale rimane invariata, essendo stata riqualificata di recente, e così anche l'ala Ovest che continua ad ospitare i laboratori del Banfi. L'atrio viene svuotato creando uno spazioso foyer provvisto di nuovo del bar e si rifanno i bagni. L'ala Est fa proseguire il corridoio espositivo con aule polifunzionali. Alcune finestre presso gli ingressi vengono convertite in grandi vetrate. Il retro infine viene ampliato e abbellito per ospitare il teatro all'aperto verso la piazza.

4.2.4.5 Ex mensa (edificio C)

Le due piccole palestre attualmente presenti vengono spostate sul lato Est dell'edificio in modo da accedere direttamente alla pensilina principale. L'accesso Sud è dotato di cancello in quanto interno all'area polifunzionale e conduce a due corridoi ortogonali che attraversano l'edificio. Le lanterne vengono svuotate interamente per poter godere di nuovo della doppia altezza e dei lucernari e vi si collocano la mensa e i laboratori speciali condivisi.

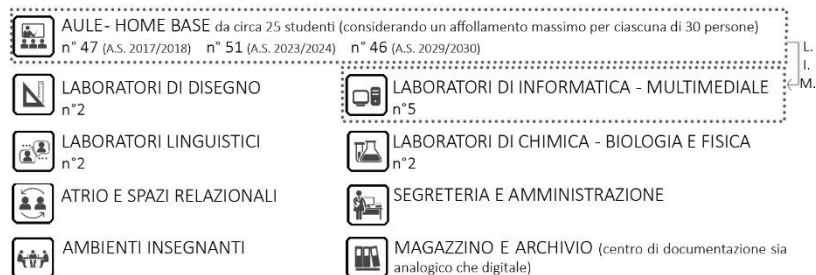
4.2.4.6 Palestre (edificio E - E')

Anche il palazzetto recupera tutte le stanze senza più cederle alle scuole. Le sale attrezzi vengono ingrandite quanto le palestre medie in quanto l'orditura strutturale delle travi della copertura rendono possibile tale allungamento. Ciascuna palestra media viene messa in comunicazione con il verde esterno grazie ad una parete scorrevole che porta ad un campetto all'aperto. A ridosso della chiusura est si erige una nuova palestra grande affiancata da altri due spogliatoi; anch'essa comunica all'esterno col campo sportivo grazie ad una parete vetrata scorrevole. A sud dell'area sportiva, dove prima si trovava la centrale termica, si ricava spazio per altri due campi da basket e pallavolo.

4.2.4.7 Ex triennio (edificio F)

La struttura ora è interamente a disposizione dell'I.I.S. Ezio Vanoni, per cui anche qui è possibile svuotare gli spaziosi atri a capanna e ingrandire le aule. Per rendere gli atri dei piacevoli punti di ritrovo si opta per l'apertura di ulteriori luvernari lungo le falde inclinate del soffitto. La pensilina secondaria

di ingresso nell'estremità Ovest, usata dapprima dal Liceo Banfi, viene rimossa per ottimizzare gli spazi e ridurre gli accessi da tre a due.



- Integrarli con "1+4 spazi di apprendimento innovativi" facendo sì che il corridoio, attualmente utilizzato come spazio accessorio di passaggio, diventi una learning street.

- Rivitalizzare le corti verdi interne come: estensioni dell'aula-home base e luoghi di ricreazione e socializzazione.

Fig. 4.7 Locali/ambienti previsti nell'edificio F

4.2.4.8 Nuova scuola Floriani - Olivetti (edificio H')

Questo è l'unico edificio totalmente di nuova costruzione che va a sostituire i due blocchi aule prefabbricati posticci degli anni '80. Esso si sviluppa su tre piani fuori terra ed è il volume più alto e centrale del polo scolastico, lasciando però una certa permeabilità al piano terra. I suoi moduli strutturali riprendono quelli degli edifici circostanti, ma l'organizzazione interna degli spazi è completamente diversa e innovativa e gioca con i vuoti e la flessibilità degli spazi. Tale scuola è dimensionata per accogliere interamente la sezione Olivetti del floriani, dal momento che allo stato di fatto cinque classi sono in via Bice Cremagnani, complicando così la logistica specialmente per gli insegnanti.

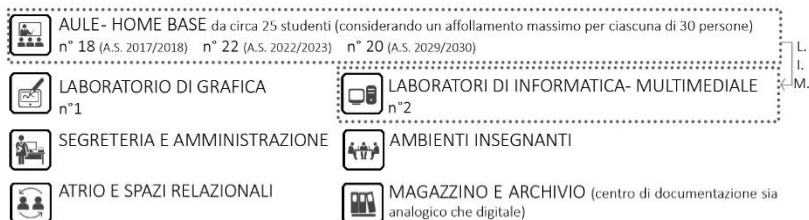


Fig. 4.8 Locali/ambienti previsti nella nuova scuola per il funzionamento diurno

- I.I.S. V. FLORIANI, Istruzione professionale con indirizzo servizi socio-sanitari



- I.T.I.S A. EINSTEIN, Istituto tecnico tecnologico con indirizzo elettronica



Fig. 4.9 Locali/ambienti previsti nella nuova scuola per il funzionamento serale

4.3 L'area polifunzionale

Essendo l'area oggetto di studio particolarmente grande, si va ad approfondire gradualmente una porzione sempre più piccola del masterplan generale. Il primo focus quindi si incentra sull'area polifunzionale che costituisce l'elemento di trasformazione più evidente ed interessante del polo scolastico.

4.3.1 Il concetto di "Community School"

Il recupero di quest'area trasandata sul retro dell'auditorium è pensato per integrare un gran numero di attività e servizi aperti a tutta la cittadinanza, nella quale studenti e genitori possano essere protagonisti. Il principio base della cosiddetta "Community School" consiste quindi nel combinare servizi e attività complementari alla didattica basilare in un unico edificio condiviso: dalle attività laboratoriali pomeridiane alle attività produttive (come la mensa) o culturali (come la biblioteca). In questo modo è possibile creare un progetto formativo complesso e diversificato, fondato su pratiche esperienziali e sulla valorizzazione dei talenti di ciascuno. Inoltre, la compresenza di servizi diversi incoraggia una sinergia costruttiva tra la comunità scolastica e gli utenti esterni, permettendo così ad enti ed associazioni locali di essere ospitati in un ambiente stimolante e permettendo anche alle famiglie degli studenti di essere più presenti nella vita didattica della scuola. In sintesi la Community School combina in modo costruttivo due ambienti collettivi assai importanti:

COMUNITÀ ↔ COMUNITÀ SCOLASTICA

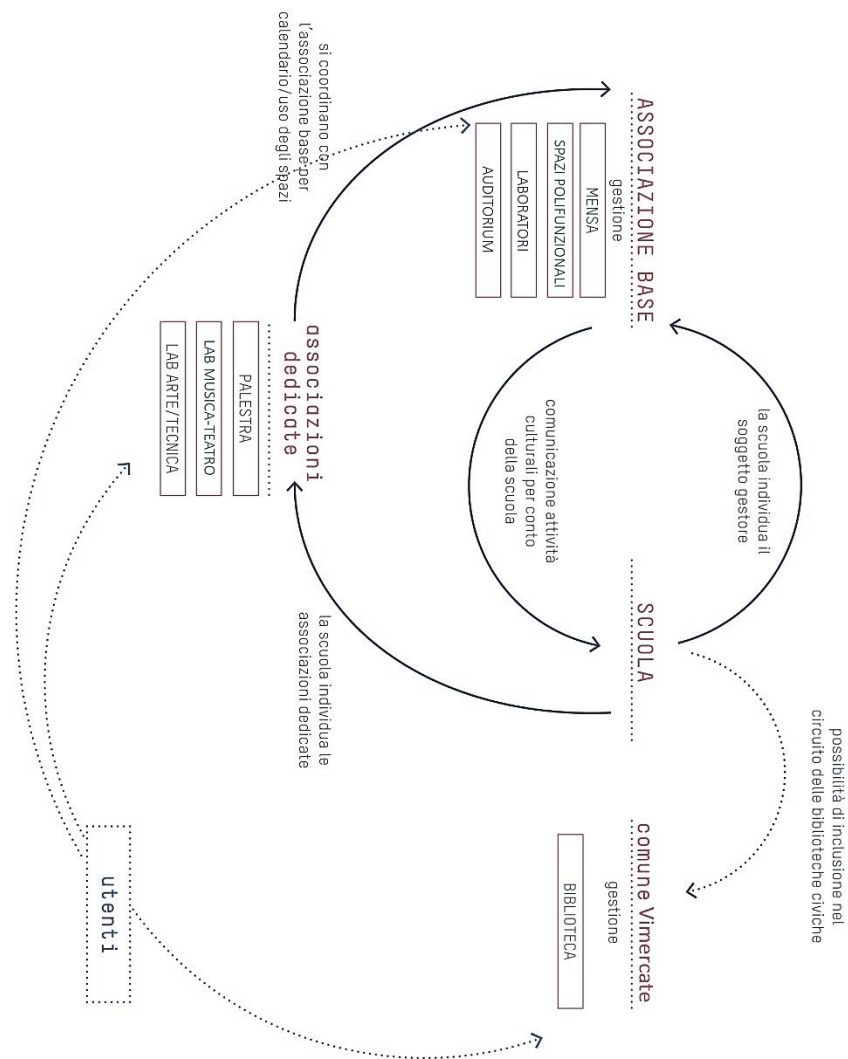


Fig. 4.10 Schema piano di gestione

4.3.1.1 Funzionamento e gestione

Un progetto di community school richiede un piano di gestione, che va di pari passo con la progettazione architettonica e che arricchisce l'offerta didattica, fondandosi su un'alleanza innovativa tra scuola, settore privato, amministrazione comunale e terzo settore.

A partire da alcune esperienze nazionali ed internazionali di community center, si propone di identificare, tramite avviso pubblico, un unico soggetto gestore, responsabile dell'accesso e del calendario di utilizzo degli spazi pubblici aperti anche in orario extra-scolastico: mensa, l'auditorium, i laboratori, le sale polivalenti e la biblioteca digitale (quest'ultima, potrebbe inoltre essere inclusa nel circuito delle biblioteche civiche). Tale soggetto non profit (associazione di promozione sociale, cooperativa, ecc..) verrà identificato per fornire due servizi principali: occuparsi della mensa scolastica e controllare e coordinare l'uso pubblico degli spazi aperti al quartiere e alle altre associazioni.

L'apertura della mensa come spazio di ristoro anche al di fuori dell'orario scolastico, permette inoltre di garantire la sostenibilità economica dell'attività di gestione, coordinamento e comunicazione svolti dal soggetto non profit incaricato. Inoltre, agli utenti verrà data la possibilità di affittare gli spazi gestiti dalla cooperativa (come mensa, sale polivalenti, laboratori) per eventi temporanei (feste, assemblee, etc).

Gli spazi laboratoriali che custodiscono attrezzature (i laboratori di musica/teatro ed i laboratori di arte/tecnica) potranno essere messi a disposizione ad altre singole associazioni, per attività di didattica complementare, ma anche per attività culturali e formative aperte ad altri utenti. Le modalità di assegnazione (durata, contratto, ecc...) verranno stabilite in accordo con il consiglio di istituto.

L'attività di comunicazione, in particolare, potrà avvalersi anche di strumenti media (sito web, applicazioni, ecc...) in cui comunicare gli orari di accesso, le disponibilità degli spazi e le iniziative che avranno luogo nei locali messi a disposizione del quartiere.

4.3.2 Distribuzione degli spazi

Una volta entrati dall'ingresso principale nell'area polifunzionale, ci si ritrova in una spaziosa piazza dalla quale è possibile accedere a tutti i servizi, smistati in tre edifici differenti (auditorium, mensa e nuova scuola I.I.S Floriani). Nell'edificio mensa sono presenti una serie di spazi definiti "HUB" che hanno delle funzioni specifiche molto eterogenee e vengono definiti dai padiglioni che compongono l'edificio:

- l'HUB RISTORO contiene i tavoli della mensa, molto più contenuta di quella originaria, con una zona allestibile all'aperto e una piccola cucina a lato con una scala che scende al magazzino sottostante ed ai locali accessori del personale di servizio;
- l'HUB CULTURALE è il sistema interconnesso costituito da biblioteca, sala polivalente e sala riunioni/studio di gruppo (spazio "cerniera"). La sala polivalente può essere utilizzata come spazio per corsi di formazione permanente, per colloqui insegnanti-genitori oppure come area per lo studio e la lettura, annettendola alla biblioteca scolastica.
- I LABORATORI: nell'edificio mensa sono articolati in laboratori di arte/tecnica e laboratorio di sperimentazione "ScuolaMuseo". Quest'ultimo è volto allo sviluppo di un progetto d'arte che si integri con le attività scolastiche quotidiane e che sostenga e rafforzi le materie educative già affrontate in classe, attraverso la creazione di relazioni con musei ed artisti locali.



Fig. 4.11 Fotografie School01, la scuola museo a Monteverde

I laboratori sono stati volutamente posizionati con affaccio sul percorso coperto affinché tale asse, direttamente collegato alla nuova scuola I.I.S Floriani, acquisisca una valenza di percorso formativo, creativo e di sperimentazione tale da creare delle forti relazioni dirette tra gli studenti, insegnanti e gli utenti del quartiere. Inoltre, è stata posta particolare attenzione sull'evoluzione futura degli spazi strettamente necessari alla didattica. Infatti, i servizi igienici comuni dei laboratori (aperti anche alla comunità) sono stati collocati tra il laboratorio di arte/tecnica e lo spazio, momentaneamente adoperato per i prossimi anni, come palestra di tipo A1.

Questa decisione è nata in virtù delle analisi demografiche elaborate inizialmente e quindi dal più che probabile calo delle iscrizioni di alunni nei prossimi anni, agli istituti scolastici del centro scolastico Omnicomprensivo di Vimercate. Pertanto, gli spazi così posizionati permetteranno una loro facile ritrasformazione in altri usi; ad esempio lo spazio della palestra di tipo A1 potrebbe ospitare un ulteriore ambiente laboratoriale o polifunzionale senza dover attuare delle grandi trasformazioni o prevedere la creazione di appositi servizi igienici.

Il percorso coperto dell'edificio a padiglioni, inoltre, termina da un lato nell'agorà esterna della nuova scuola I.I.S Floriani (a sua volta connessa all'agorà interna), si tratta di uno spazio coperto, aperto e direttamente collegato alla comunità vimercatese volto ad ospitare eventuali iniziative culturali territoriali. Con affaccio diretto sull'agorà esterna vi è inoltre il locale volto ad ospitare la sede dell'Associazione Base che andrà a gestire ed organizzare l'utilizzo di tutti gli spazi pubblici.

- LE PALESTRE: in due dei padiglioni dell'edificio mensa sono state riposizionate due palestre di tipo A1 con deposito attrezzi e spogliatoi condivisi; come appena detto, queste risultano essere facilmente trasformabili in futuro al fine di ospitare altri usi.

Infine, l'auditorium con il nuovo accesso, si apre alla comunità, con un'ala dedicata ad ospitare una sala polifunzionale, mutevole a seconda delle esigenze (in atrio, spazio espositivo, sala per seminari e in aule didattiche).

Il suo nuovo fronte, prospiciente la piazza, ospita il laboratorio di musica/teatro il quale grazie all'uso di pareti scorrevoli è trasformabile in un piccolo teatro all'aperto, enfatizzato anche dal punto di vista architettonico da un portale aggettante di facciata. Questo nuovo fronte ha rimosso l'antiestetico apparato impiantistico che vi era prima andandolo a riposizionare all'interno del suo nuovo volume.

4.3.3 Meccanismi di controllo dei flussi

L'intero sistema sopra descritto è in grado di adattarsi al cambio di funzioni che avvengono nell'arco della giornata, grazie alla recinzione completa che chiude l'area e al controllo degli accessi con aperture/chiusure programmate.

- MATTINA: il cancello su via Adda rimane chiuso, in quanto generalmente è presumibile che l'area polifunzionale non sia attiva ad eccezione della biblioteca che potrà essere aperta alla comunità una volta che lezioni mattutine siano iniziate. Gli studenti del I.I.S Floriani pertanto, potranno accedere alla nuova scuola solo attraverso la pensilina principale condivisa con le altre scuole superiori. L'accesso all'edificio polifunzionale (ex mensa) rimarrà controllato da un cancello, che sbarra la pensilina coperta prima del suo ingresso, ed il suo accesso sarà consentito solo alle classi che programmeranno di utilizzare i laboratori speciali.

- POMERIGGIO: al termine delle lezioni sia la parte polifunzionale sia la scuola sono aperte. Gli studenti saranno liberi di fuoriuscire dall'ingresso che preferiscono oppure se ne avranno bisogno potranno fermarsi presso i nuovi spazi dell'edificio ex mensa o negli spazi studio-comuni della nuova scuola I.I.S Floriani.

- SERA: l'intera area che ospita gli altri istituti scolastici, ad eccezione del I.I.S Floriani rimarrà interamente chiusa, mentre l'ingresso all'area polifunzionale resterà aperto. Da questo ingresso sarà possibile accedere agli spazi attivi

nell'edificio a padiglioni, all'auditorium ed alle aule della nuova scuola, per chi debba frequentare i corsi serali previsti. In tal modo, tenendo aperta solo questa porzione d'area si garantisce la sicurezza degli altri edifici scolastici e non, nelle ore serali e notturne.

4.4 La nuova scuola I.I.S Floriani - Olivetti

Tra i vari edifici che compongono il polo e l'area polifunzionale, la nuova scuola Floriani costituisce senza dubbio l'elemento caratterizzante dell'intero progetto, per cui da ora in poi ci si focalizza su di esso sia per quanto riguarda la particolare distribuzione interna, sia per quanto riguarda la soluzione costruttiva innovativa.

4.4.1 Linguaggio architettonico e prospetti

Il nuovo edificio ha una forma regolare a parallelepipedo che si incastra alla perfezione nella maglia rigorosa degli edifici preesistenti e si sviluppa su tre piani fuori terra senza la presenza del piano interrato; tale geometria risulta ottimale sia per le funzioni che vi contiene sia per semplificare e velocizzare il processo costruttivo. Esso si presenta come un volume opaco sollevato e aggettante rispetto al piano terra completamente vetrato; questo stratagemma non solo offre una resa estetica interessante ma permette anche di smorzare l'imponenza dell'edificio grazie al piano terra traslucido e permeabile alla vista. Nel volume opaco superiore, il quale contiene le aule e i laboratori della scuola, si aprono delle finestre a nastro che forniscono un'ottima illuminazione di tali ambienti; ciò è reso possibile grazie all'aggetto che separa i pilastri strutturali dal pacchetto della facciata. I moduli strutturali e i profili squadriati con le corti interne sono identici a quelli con cui è stato progettato l'intero polo scolastico; osservando più da vicino però si possono notare delle variazioni interessanti sulla struttura, come il ponte di collegamento al primo piano, il rapporto aula/corridoio e i vuoti verticali interni. Le poche finiture opache del piano terra riprendono l'intonaco grigio chiaro delle scuole preesistenti cappottate, mentre il volume superiore cambia completamente materiale e si riveste di sottili listelli in ceramica;

ciò nonostante rimane una continuità di linguaggio grazie al colore avorio dei pannelli ceramici e a due strisce rosse che ricordano le scossaline metalliche comuni a tutti gli edifici. La continuità del linguaggio con gli altri edifici riqualificati del complesso si crea anche grazie alla presenza di altri elementi rossi assai vistosi quali lucernari, portali, cornici, frangisole e porzioni di muro colorate. Le corti interne invece, essendo isolate dal contesto, presentano un linguaggio proprio più luminoso e leggero, grazie a superfici completamente vetrate e a sottili frangisole bianchi incastonati irregolarmente tra i montanti.



Fig. 4.12 Prospetti architettonici della nuova scuola

4.4.2 Pianta e distribuzione interna

La scuola è pensata per insediarsi prevalentemente ai piani superiori, lasciando più libero possibile il piano terra come spazio permeabile e condiviso.

4.4.2.1 Piano terra

L'attacco al suolo dell'edificio è particolarmente interessante per la sua multifunzionalità. Esso costituisce infatti una valvola fondamentale per la corretta sinergia tra l'area polifunzionale e la rimanente parte scolastica e si compone principalmente di una piazza interna e di una piazza esterna. La piazza interna costituisce l'atrio dell'I.I.S. Virgilio Floriani - Olivetti dal quale è

possibile accedere all'area direzionale della scuola e, tramite una larga scala, alle aule dei piani superiori; tale atrio si presenta come un vero e proprio punto di aggregazione chiamato "Agorà" ed è usufruibile per mostre o altri eventi anche da parte delle altre scuole e dell'area polifunzionale. Inoltre sono a disposizione un paio di laboratori comuni nell'ottica di dover utilizzare l'area polifunzionale per i corsi serali senza dover aprire per forza l'area scolastica. La piazza esterna invece è di pertinenza dell'area polifunzionale, anch'essa allestibile per eventi, ed è dotata di uno spazio apposito per le associazioni che gestiscono o usufruiscono di questi spazi; la superficie è quasi tutta coperta e pavimentata ad eccezione di due quadrati in corrispondenza delle corti. Uno di questi è un'aiuola verde che smorza la convergenza dei tre assi provenienti dall'auditorium, dall'ingresso e dalla mensa, evidenziati da pilastri e portali.

4.4.2.2 Piano primo e secondo

Le scale principali girano a "L" attorno a un vuoto che collega tutti i piani, creando così uno spazio aperto e suggestivo che fa pure circolare meglio l'aria verso il lucernario sommitale inclinato verso Nord-Ovest. Dal primo piano è possibile accedere alla scuola vera e propria, distribuita su due livelli quasi identici. Ciascun piano presenta un corridoio ad anello di larghezza variabile, due bagni, due scale chiuse antincendio, un laboratorio di informatica e un numero di classi, in parte flessibili, che può variare da 7 a 11 per un totale di 14-22 classi. Le aule flessibili in particolare si trovano per entrambi i piani sul lato Sud-Ovest dell'edificio. Al piano Primo esistono due spazi speciali in più: l'area studio individuale e lo spazio informale. L'area studio individuale è formata da postazioni singole rivolte verso la vetrata della corte interna e sopra di queste si apre un vuoto a doppia altezza fino al secondo piano; lo spazio informale invece occupa il ponte che divide le due corti ed è un ambiente molto gradevole, luminoso e ben definito. Al secondo piano quindi si avranno lungo il corridoio degli affacci suggestivi verso il piano inferiore e sulla copertura del ponte abbellita con verde intensivo, proprio come la copertura sommitale. Infine lungo le pareti a ridosso delle aule si possono trovare delle sedute alternate a tavolini e scaffalature che vivacizzano il tutto.

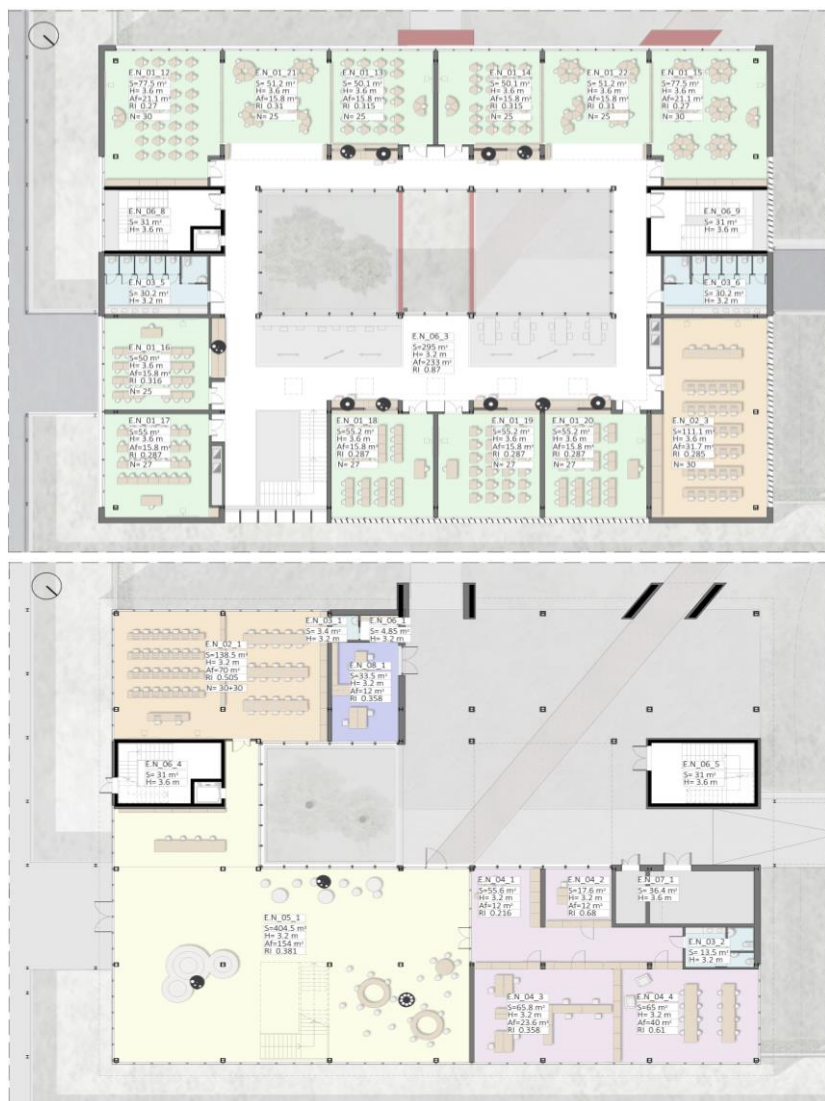


Figura 4.13 Ambienti didattici innovativi piano terra e primo nella nuova scuola Floriani (TAV. C10)

4.4.2.3 I nuovi ambienti della didattica

Come si accennava prima, l'edificio nuovo rappresenta un'ottima occasione per poter sperimentare una serie di ambienti innovativi proposti dal MIUR per una didattica moderna. Tali ambienti si integrano alla tradizionale aula in cui avviene la lezione frontale e sfruttano altri canali di apprendimento da parte degli studenti. Nella nuova scuola Floriani quindi sono presenti:

SPAZI DI GRUPPO: si intende l'aula tradizionale nella quale gli studenti si raccolgono per costruire la propria identità. E' possibile potenziare però questo ambiente in molteplici modi che si vedranno paragrafo successivo.

AGORÀ: la piazza è il luogo d'incontro di tutta la comunità scolastica e della grande assemblea per condividere i temi che coinvolgono potenzialmente tutti gli studenti, il personale della scuola e le famiglie. Ospiterà pertanto assemblee, riunioni collettive, feste ed altri eventi a partecipazione plenaria.

SPAZIO DI ESPLORAZIONE: è lo spazio della scoperta dell'ambiente educativo e del mondo, nel quale si impara con la pratica. Può trattarsi quindi di un atelier per attività di manipolazione, di un laboratorio disciplinare, di un maker place o un ambiente immersivo, potenziato da supporti elettronici o digitali.

SPAZIO INDIVIDUALE: si tratta di zone riparate, ambienti raccolti e spazi dedicati dove ognuno può ritirarsi per leggere o studiare. Lo studente quindi struttura autonomamente il proprio tempo e organizza in modo responsabile le proprie attività, sfruttando anche le risorse tecnologiche note.

SPAZIO INFORMALE: per vivere appieno la scuola, percorrerla e farsela propria si arredano gli spazi comuni con soffici sedute e tavolini per il tempo libero.



Figura 4.14 Ambienti didattici innovativi (TAV. C10)

4.4.2.4 Aule flessibili

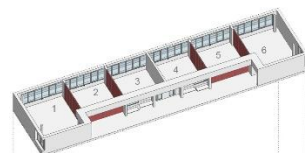
Come detto prima le aule tradizionali stesse possono essere potenziate come veri e propri spazi di gruppo che si possano adattare alle attività svolte, anche al di fuori della semplice lezione frontale. Per poter far questo occorrono:

ARREDI INNOVATIVI: Gli arredi come le sedie, i banchi e la cattedra devono poter essere combinabili tra loro con incastri e curvature particolari in modo che possano generare non solo file ma anche geometrie ed isole variabili per i lavori sia di gruppo che individuali.

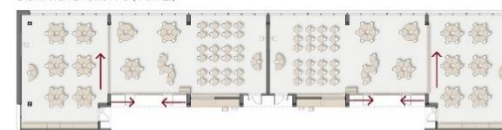
PARETI SCORREVOLI: Lo spazio stesso dell'aula può essere trasformato. La presenza di guide e pannelli scorrevoli e impacchettabili possono creare molteplici combinazioni di spazi didattici. In particolare si evidenziano due aree con queste caratteristiche:

- L'ala Nord-Est dell'auditorium è progettata in modo che le due aule accessorie all'interno possano trasformarsi in un'unica grande aula in occasione dei concerti di musica oppure in uno spazio espositivo continuo in continuità con il foyer che passando di fianco raggiunge l'auditorium.
- L'altra zona interessante è la sequenza di aule della nuova scuola Floriani lungo il lato Sud-Ovest dell'edificio, le quali possono assumere parecchie configurazioni diverse in termini di numero e dimensione grazie a ben quattro pareti scorrevoli, come si può vedere dalla figura a destra. Quando è tutto chiuso si possono avere sei aule standard per la didattica frontale, nel caso in cui occorra il maggior numero possibile di aule; in alternativa se si impacchettano due pareti si ottengono quattro aule spaziose per i lavori di gruppo, o addirittura togliendone quattro si possono creare due spazi continui; infine è possibile aprirsi verso il corridoio e offrire così spazi comuni di qualità.

DIDATTICA DIRETTA (6 SPAZI)



DIDATTICA DI GRUPPO (4 SPAZI)



EVENTI INTERCLASSE (2 SPAZI)



ADATTABILITA' DELLE PARETI DIVISORIE (4 SPAZI + 2 COMUNI)

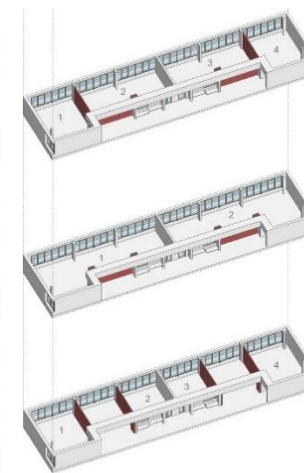


Fig. 4.15 Configurazioni possibili per le aule flessibili della nuova scuola Floriani (TAV. C09)

PIANTA PIANO PRIMO: EDIFICIO SCOLASTICO

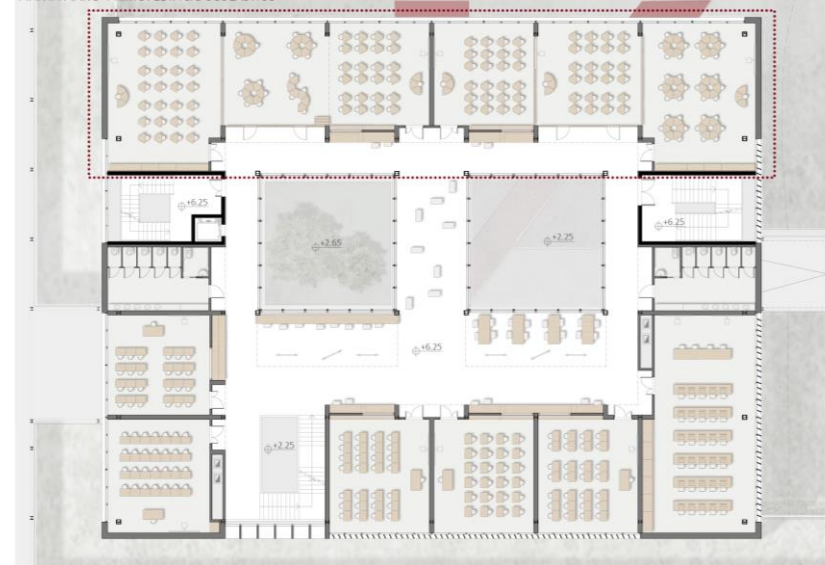


Fig. 4.16 Distribuzione in pianta delle aule fisse e flessibili (TAV. C09)

4.5 Verifiche normative

Le seguenti verifiche riguardano sia il polo scolastico complessivo in termini di superfici minime, sia la nuova scuola Floriani per il controllo della qualità illuminotecnica generale, le uscite di emergenza e l'accessibilità per i disabili.

4.5.1 Verifica degli spazi didattici

Data la planimetria dello stato di progetto (Figura 4.3) si ricalcolano gli indici secondo il D.M. 18/12/1975, mantenendo fissa l'utenza conteggiata per l'A.S.2016/2017. La superficie coperta disponibile in tutto il polo scolastico è ora pari a 35.265 m² ed è totalmente utilizzata. Anche qui i nuovi spazi comuni come le palestre ampliate e gli spazi speciali dell'area polifunzionale vengono ripartiti in modo proporzionale al numero di studenti di ciascuna scuola:

I.I.S. EZIO VANONI - A.S. 2016/2017	NUMERO
Superficie lorda occupata dalla scuola (m ²)	11000
m ² / classe	200 < 219
m ² / alunno	9,25 > 8,79
LICEO ANTONIO BANFI - A.S. 2016/2017	NUMERO
Superficie lorda occupata dalla scuola (m ²)	8165
m ² / classe	181 < 215
m ² / alunno	8,20 > 8,11
I.T.I.S. ALBERT EINSTEIN - A.S. 2016/2017	NUMERO
Superficie lorda occupata dalla scuola (m ²)	11000
m ² / classe	250 > 242
m ² / alunno	11,16 > 9,67
I.I.S. VIRGILIO FLORIANI - A.S. 2016/2017	NUMERO
Superficie lorda occupata dalla scuola (m ²)	5100
m ² / classe	268 > 262
m ² / alunno	11,38 > 10,50

Tab. 4.1 Verifica dimensionale dei quattro istituti nell'anno scolastico 2016/2017

Si precisa che ora la sezione I.P.S.C.T Olivetti - Floriani ospita interamente tutte le sue 19 classi e 448 alunni nel nuovo edificio al centro del polo scolastico. Di conseguenza il numero di alunni totali cresce da 3562 a 3685 (+123 alunni).

4.5.2 Verifica illuminotecnica

Data la peculiarità architettonica della nuova scuola, la quale presenta aperture di vario tipo, spazi comunicanti tra loro e partizioni parzialmente trasparenti tra aule e corridoi, è emersa la necessità di verificare tutti i parametri minimi e massimi limite illuminotecnici previsti dall'attuale normativa vigente. Già in fase di composizione architettonica l'edificio è stato modellato in Sketchup ed analizzato con il software "Sefaira" per sperimentare i primi sistemi efficaci di lucernari e schermature. Successivamente si è sviluppato il capitolo cinque specificatamente per il progetto illuminotecnico. Si ricorda che all'interno delle tavole progettuali si è verificato anche il rapporto illuminante (R.I), ovvero il rapporto fra la superficie illuminante e la superficie pavimentata del locale, verificando che fosse superiore ad 1/8.

4.5.3 Verifica accessibilità per disabili

Per quanto riguarda l'accessibilità della nuova scuola da parte dei disabili si fa riferimento al D.M. N°236 del 14/06/1989 e del D.P.R. N°503 del 24/07/1996 che forniscono istruzioni per l'eliminazione delle barriere architettoniche. In particolare i requisiti che vengono rispettati nel nuovo edificio sono i seguenti: porte larghe più di 80 cm, percorsi orizzontali e rampe, ascensore 1,4x1,1 m con pianerottolo spazioso di sbarco, servizi igienici dedicati e arredamento.

4.5.4 Verifica antincendio

Il quadro normativo attinge da numerosi decreti, elencati nella tavola C15, che guidano alla progettazione consapevole dell'edificio in termini di sicurezza antincendio grazie alla verifica dei seguenti parametri. L'accessibilità all'area da parte dei mezzi di soccorso è garantita dal largo cancello dell'area polifunzionale e dalla possibilità di avvicinamento grazie al piazzale. La resistenza al fuoco dei materiali di finitura e della struttura portante è rispettata con il REI 60. La compartimentazione non è necessaria per un edificio così piccolo ma sono presenti comunque due vani scale di sicurezza a prova di fumo con pianerottolo di sosta per i disabili e ovviamente una rete adeguata di idranti ed estintori.

5 PROGETTO ILLUMINOTECNICO

- 5.1 Premessa
- 5.2 Requisiti quantitativi
- 5.3 Dati di input
- 5.4 Edificio di riferimento
- 5.5 Definizione delle chiusure trasparenti
- 5.6 La schermatura di facciata
- 5.7 Integrazione visiva delle aule con gli altri ambienti
- 5.8 Progetto illuminotecnico della luce artificiale
- 5.9 Indice prestazionale relativo al fabbisogno per illuminazione
- 5.10 Conclusioni

L'intento di questo capitolo risulta essere quello di definire le caratteristiche della nuova scuola I.I.S. Floriani, relativamente alle soluzioni per l'uso attivo e adeguato della luce naturale ed artificiale, attraverso la costruzione di un modello di analisi e valutazione che tenga conto di una molteplicità di fattori che risultano essere influenzati dalla scelta di una precisa schermatura solare o di una chiusura tecnica trasparente. Tra i principali parametri, valutati di volta in volta, vi sono: il fabbisogno termico invernale ed estivo, indicatori di involucro per edifici nZEB (H_T e $A_{solest}/A_{suputile}$) e del comfort termico (temperatura operante), ed infine i parametri prettamente illuminotecnici (illuminamento, FLDm, UGR e uniformità). La progettazione e le scelte sono guidate inizialmente dai risultati ottenibili dalle analisi effettuati su un edificio di riferimento, analogo dal punto di vista architettonico a quello di progetto, e in grado di evidenziare gli elementi deboli di involucro, nei mesi estivi e nei mesi invernali. Infine, viene trattato il tema e il dimensionamento dei gruppi d'illuminazione artificiale, valutandone la disposizione e il Light Energy Numeric Indicator nei locali scolastici destinati all'insegnamento.

5.1 Premessa

Il progetto illuminotecnico non è solo una risposta tecnica ad una norma ma anche uno strumento per il progetto architettonico, specie nell'edilizia scolastica dove lo spazio viene interpretato, raccontato e modellato attraverso il progetto luce. L'attuale Miur ci guida all'interno di uno spazio per la scuola molto differente: aule-home base, spazi di gruppo, atelier-spazi laboratoriali, spazi connettivi-relazionali ed il progressivo superamento dell'impostazione frontale della didattica sovverte l'ordine delle cose e mette in discussione la gerarchizzazione degli spazi. È richiesto, quindi, un progetto illuminotecnico integrato con la luce artificiale, con l'arredo e in grado di rispondere adeguatamente ai bisogni dell'utente per garantirne un ottimo comfort visivo.

5.2 Requisiti quantitativi

I requisiti illuminotecnici vengono determinati dalla soddisfazione di tre esigenze fondamentali: comfort visivo dato dalla sensazione di benessere percepita da chi staziona all'interno del locale; prestazione visiva che permette agli individui di svolgere i loro compiti visivi anche in circostanze difficili e per lunghi periodi di tempo; sicurezza. Queste esigenze sono verificabili anche grazie alla valutazione di alcuni parametri quantitativi, di cui i principali sono elencati di seguito.

5.2.1 Illuminamento

L'illuminamento misura la quantità di energia luminosa che investe una determinata superficie ed è dato dal rapporto tra il flusso luminoso misurato in lumen [lm] incidente su una superficie e l'area della stessa, valutato in lux [lx]. È una grandezza fondamentale nel calcolo illuminotecnico per sorgenti di luce sia naturale che artificiale. I principali riferimenti normativi per i valori minimi dei livelli di illuminamento per i locali di edifici ad uso scolastico sono: la UNI EN 12464-1, "Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro", e il DM 12/8/1975, "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica".

UNI EN 12464-1:2004		
ZONA O ATTIVITÀ	ILLUMINAMENTO MEDIO MANTENUTO E_m [lx]	NOTE
Zona di circolazione e corridoi	100	
Scale	150	
Aule scolastiche	300	Preferibilmente regolabile
Aule per corsi serali e per adulti	500	Preferibilmente regolabile
Lavagna	500	Evitare riflessioni speculari
Laboratorio di insegnamento	500	
Laboratorio di informatica	300	
Ingressi, sale comuni per gli studenti	200	
Sale professori, uffici	300	

Tab. 5.1 Limiti di E_m sui piani di lavoro in edifici scolastici secondo la UNI-EN 12464

DM 18/12/1975	
PIANO DI LAVORO	ILLUMINAMENTO MEDIO MANTENUTO E_m [lx]
Sulle lavagne	300
Sul piano di lavoro negli spazi per lezione, studio, lettura, laboratori, negli uffici	200
Nei corridoi, scale, servizi igienici, misurati su un piano ideale posto a 1 m dal pavimento	100

Tab. 5.2 Limiti di E_m sui piani di lavoro in edifici scolastici secondo il DM 18/12/1975

I valori di illuminamento medio mantenuti stabiliti dalla UNI EN 12464-1 e dal DM 12/8/1975 sono pressoché i medesimi, anche se nel decreto ministeriale si prevedono dei valori di $E_{m,limite}$ tendenzialmente inferiori rispetto a quelli riportati nella normativa UNI EN 12464-1. I valori limite indicati si riferiscono all'illuminamento medio mantenuto, ovvero al livello di luce che nella zona del compito visivo non si deve mai ridurre e si ottiene moltiplicando il livello di illuminamento ad impianto nuovo per il fattore di manutenzione. Quest'ultimo tiene conto del calo di flusso luminoso dovuto all'invecchiamento e all'usura delle lampade, apparecchi e superfici perimetrali.

I valori $E_{m,limite}$ si riferiscono, in generale, alla superficie di lavoro orizzontale posta ad un'altezza di 0,85 m dal pavimento del locale/spazio considerato.

L'illuminamento nelle zone immediatamente circostanti a quella della mansione visiva può essere leggermente abbassato, ma non deve essere minore dei valori indicati di seguito.

ILLUMINAMENTO MEDIO MANTENUTO E_m PIANO DEL COMPITO VISIVO [lx]	ILLUMINAMENTO MEDIO MANTENUTO E_m ZONE CIRCOSTANTI [lx]
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	= E_m sul piano del compito visivo

Tab. 5.3 Limiti di E_m sul piano del compito visivo e sulle zone circostanti

I valori riportati nel prospetto fanno sì che sia verificato implicitamente il livello di uniformità di illuminamento, U_o .

$$U_o = E_{min}/E_m \geq 0,7$$

5.2.2 Fattore di luce diurna

La disponibilità di luce naturale varia con il passare delle ore, delle stagioni o delle condizioni climatiche e per questo motivo l'illuminanza interna da sola non fornisce informazioni sufficienti per una corretta progettazione. Il fattore di luce diurna esprime il rapporto fra l'illuminamento che si ha in un punto interno di un edificio in un dato momento e l'illuminamento naturale che si ha simultaneamente su un piano esterno, calcolati con cielo coperto. La situazione di cielo coperto, oltre a considerare le peggiori condizioni possibili, trascura il contributo dell'irraggiamento diretto e non è influenzato dall'orientamento dell'edificio.

Per non limitare il calcolo su un unico punto viene utilizzato il fattore medio di luce diurna (FLDm), dove per medio si intende mediato su più punti di misura dell'ambiente interno in rapporto con l'esterno: in questo modo è possibile valutare meglio l'illuminazione globale nel locale confinato. Il calcolo del FLDm è obbligatorio per valutare l'abitabilità di un edificio.

I principali riferimenti normativi per i valori minimi del fattore di luce diurna medio, per i locali di edifici ad uso scolastico, sono: la UNI 10840:2007, "Luce e illuminazione - Locali scolastici - Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale", e il DM 12/8/1975.

UNI 10840:2007	
ZONA O ATTIVITÀ	FLDm [%]
Zona di circolazione, corridoi, ingressi, scale e bagni	≥ 1
Aule in scuole medie superiori	≥ 3
Aule in scuole serali e per adulti	-
Laboratori di insegnamento e di informatica	≥ 3
Sale comuni per gli studenti	≥ 2
Sale professori, uffici	≥ 2

Tab. 5.4 Limiti di FLDm nei diversi locali scolastici secondo la UNI 10840:2007

DM 18/12/1975	
ZONA O ATTIVITÀ	FLDm [%]
Ambienti ad uso didattico (aule per lezioni, studio, lettura, laboratori ecc.)	≥ 3
Uffici, spazi per la distribuzione, scale, servizi igienici	≥ 1

Tab. 5.5 Limiti di FLDm nei diversi locali scolastici secondo il DM 18/12/1975

I valori di FLDm indicati dalla UNI 10840 e dal DM 12/8/1975 sono i medesimi ad eccezione di quelli richiesti per gli uffici e la sala professori. Anche per il FLDm la analisi si riferiscono alla superficie di lavoro orizzontale posta ad un'altezza di 0,85 m dal pavimento del locale/spazio considerato.

L'uniformità dell'ambiente luminoso è verificabile come:

$$U_o = FLD_{min}/FLD_{max} \geq 0,16$$

5.2.3 Unified glare rating

L'UGR è una scala di valori usati per classificare l'abbagliamento prodotto dalle sorgenti luminose, usato nei progetti di ambienti interni. Non è un parametro attribuibile al corpo illuminante bensì deriva dal calcolo illuminotecnico del locale. Per misurare l'UGR è necessario che sia stabilito un punto preciso dove considerare l'abbagliamento, detto osservatore. Il calcolo considera diversi fattori come superficie luminosa delle sorgenti ed illuminamento circostante. La EN 12464-1 riporta i valori limite di UGR che non possono essere superati nelle differenti zone/attività in edifici scolastici.

UNI EN 12464-1:2004	
ZONA O ATTIVITÀ	UGR _L
Zona di circolazione, corridoi e scale	25
Aule scolastiche, aule per corsi serali e per adulti, lavagna, laboratori di insegnamento/informatica, sale professori	19
Ingressi, sale comuni per gli studenti	22

Tab. 5.6 Limiti di UGR in edifici scolastici secondo la UNI-EN 12464

5.2.4 Rapporto aeroilluminante

Il rapporto aeroilluminante è un indicatore geometrico per la misurazione della luce naturale dato dal rapporto tra la superficie della finestra o delle finestre di un locale e la superficie di pavimento del locale stesso. Per maggiori informazioni sulla verifica di questo requisito si rimanda al capitolo inerente al progetto architettonico.

5.3 Dati di input

La progettazione e la verifica illuminotecnica degli spazi/locali didattici è avvenuta avvalendosi del software DIALux, il quale consente, oltre allo studio della luce naturale anche l'importazione di lampade per la valutazione della luce artificiale. I dati di input inseriti nel software e nel modello 3D sono:

- il contesto climatico (uso del file climatico del comune di Milano) e l'orientamento dell'edificio rispetto ai punti cardinali;

- le caratteristiche dei materiali delle superfici interne ed esterne ai locali (coefficienti di riflessione);

- i parametri di prestazione luminosa dei vetri (trasmissione luminosa, coefficiente di riflessione e l'indice di rifrazione).

La definizione dei fattori di riflessione delle superfici opache, per il calcolo delle luminanze, è stata semplice e consequenziale alla progettazione architettonica-tecnologica del nuovo edificio scolastico. I valori attribuiti al modello edificio, coerentemente a quelle consigliati dalla UNI 12464-1:2011, sono riportati nella tabella sottostante.

ELEMENTO TECNICO	FATTORE DI RIFLESSIONE
Soffitto	0.7
Pareti	0.7
Pavimento	0.4

Tab. 5.7 Fattori di riflessione delle superfici opache

La scelta del tipo nonché dei parametri di prestazione luminosa delle superfici vetrate, invece, ha richiesto una più ampia valutazione trattata nel paragrafo 5.5 "Definizione delle chiusure trasparenti" ed a seguito delle considerazioni fatte sulle analisi svolte sull'edificio di riferimento. Le griglie di calcolo adoperate nei diversi scenari di analisi sono state rispettose dei criteri indicati dalla UNI EN 12193 ed hanno escluso una fascia di 0,5 m dalle pareti perimetrali. Le analisi sono state condotte nelle date che rappresentano gli estremi per le condizioni luminose di un luogo: 21 dicembre e 21 giugno, rispettivamente i solstizi d'inverno e d'estate.

5.4 Edificio di riferimento

Con edificio di riferimento si intende un edificio identico, a quello progettato per la nuova scuola I.I.S Floriani, in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno e avente caratteristiche termiche e parametri energetici

predeterminati conformemente ai corrispondenti valori minimi riportati dalla normativa attualmente vigente.

I valori adoperati per i principali parametri caratteristici del fabbricato di riferimento sono riportati nella tabella sottostante.

ELEMENTO TECNICO	U_k [W/m ² K]
Strutture opache verticali	0,26
Strutture opache orizzontali o inclinate di copertura	0,22
Strutture opache orizzontali di pavimento	0,26
Chiusure tecniche trasparenti	1,40
PARAMETRI PRESTAZIONALI DEGLI INFISSI E DELLE SCHERMATURE SOLARI MOBILI	
Telaio in alluminio con taglio termico	
Vetro doppio basso emissivo: $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2$ $g_{gl,n} = 0,67$ $T_L = 78 \%$	
Tenda avvolgibile interna, di colore bianco, mediamente traslucida o perforata:	
$g_{sh+gl,b/d} = 0,40$	

Tab. 5.8 Parametri caratteristici dell'edificio di riferimento

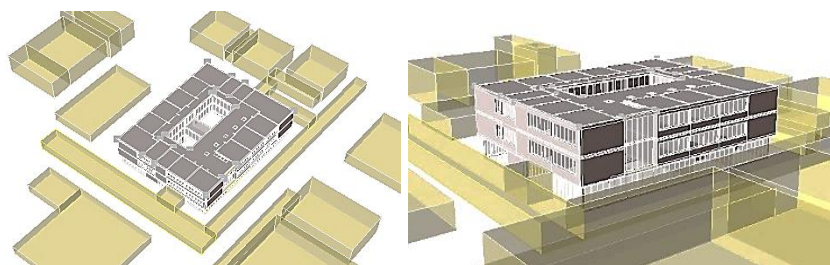


Fig.5.1 Viste del modello 3D dell'edificio di riferimento creato nel software TERMOLOG

La modellazione e l'analisi di un edificio target ci ha permesso non solo di avere una visione preliminare sui diversi contributi, in termini di carico termico, computabili ad ogni tipologia di elemento tecnico costituente l'involucro edilizio, ma anche preliminari informazioni sui requisiti H'_T e $A_{sol,est}/A_{sup \text{ utile}}$, per edifici NZEB, e sui parametri correlati al comfort termico, come ad esempio la temperatura operante. Evidentemente l'edificio di riferimento ed i risultati da esso ottenuti sono un valido strumento per guidare tutte le scelte tecnologiche

relative ai componenti di involucro, tuttavia in questo capitolo ci si limiterà a trattare quelli inerenti alle superfici vetrate.

Pertanto, le analisi sono state organizzate ed articolate nel seguente modo:

- uno studio preliminare sui parametri principali (illuminotecnici, energetici e sul comfort) dell'edificio di riferimento;
- la definizione delle caratteristiche tecniche delle chiusure trasparenti (combinazione di vetro + telaio);
- la progettazione delle schermature solari fisse ed all'eventuale integrazione con dei sistemi schermanti mobili, dei principali spazi/locali didattici;
- infine, il progetto illuminotecnico della luce artificiale.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate sull'edificio di riferimento e per maggiori informazioni sulle modalità di calcolo si rimanda ai capitoli inerenti al progetto tecnologico ed impiantistico.

5.4.1 Fabbisogno termico invernale e H'_T

I grafici sottostanti riportano l'incidenza percentuale del carico termico invernale, in ognuno dei locali scolastici individuati nella disarticolazione spaziale, a seconda se è dovuto per trasmissione, ventilazione o potenza di ripresa dell'impianto ed a seconda della tipologia di chiusura verticale.

LEGENDA:

- $\Phi_{t, cov}$ = carico termico per trasmissione chiusure opache verticali
- $\Phi_{t, coo}$ = carico termico per trasmissione chiusure opache orizzontali
- $\Phi_{t, ct}$ = carico termico per trasmissione chiusure trasparenti
- Φ_v = carico termico per ventilazione
- Φ_{rh} = carico termico dovuto alla potenza di ripresa dell'impianto

PIANO TERRENO

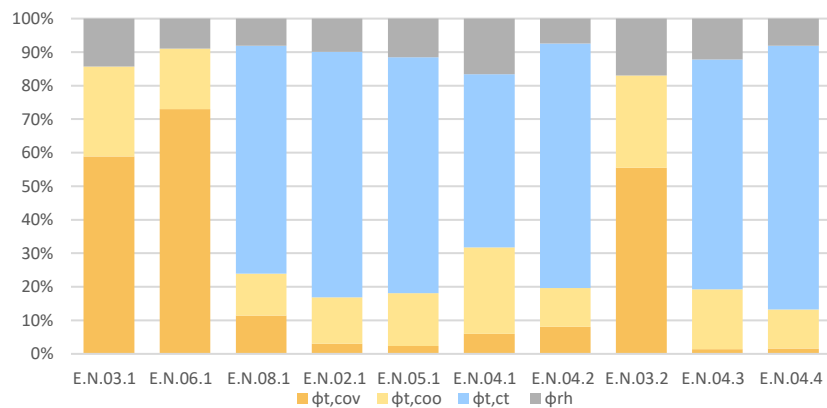
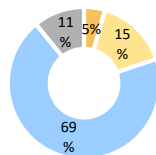


Fig.5.2 Grafico del fabbisogno termico invernale dell'edificio di riferimento, piano terreno



PIANO PRIMO

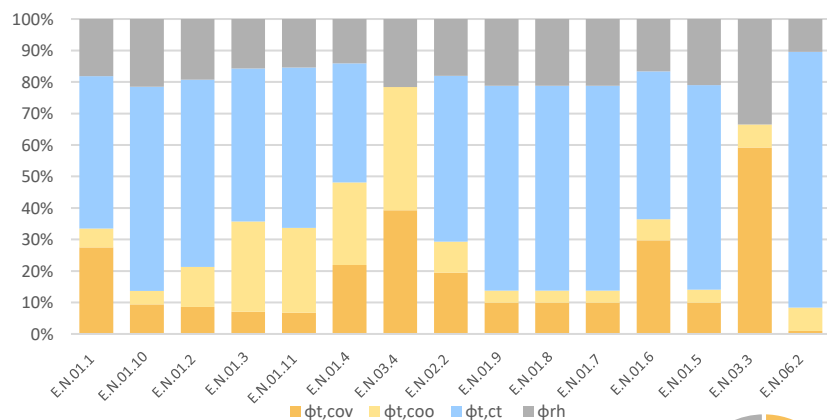
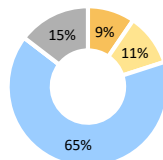


Fig.5.3 Grafico del fabbisogno termico invernale dell'edificio di riferimento, piano primo



PIANO SECONDO

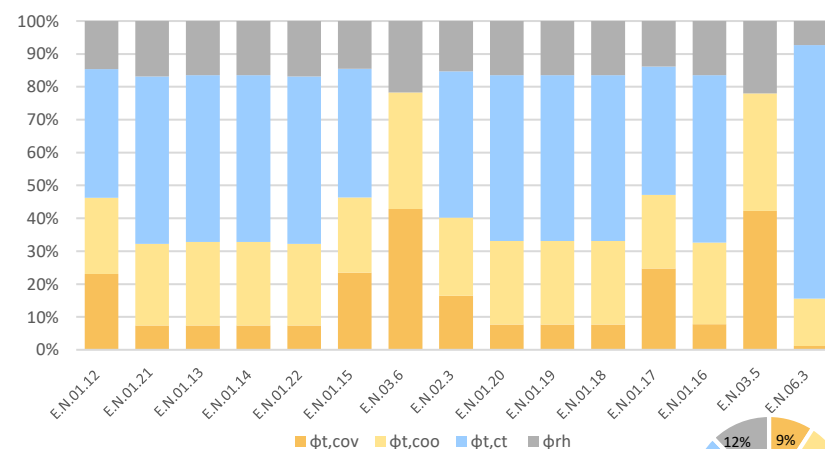
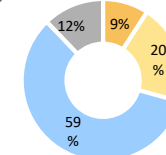


Fig.5.4 Grafico del fabbisogno termico invernale dell'edificio di riferimento, piano secondo



Dai grafici si osserva che in tutti e tre i piani dell'edificio scolastico il contributo più significativo di fabbisogno termico invernale è computabile alla trasmissione termica attraverso le superfici vetrate, con una percentuale, rispetto alla globalità del carico termico per piano, del: 69% al piano terreno, 65% al piano primo e 59% al piano secondo. Pertanto, risulta più che evidente la necessità di rivalutare le caratteristiche delle chiusure trasparenti, ipotizzate nel modello dell'edificio di riferimento, riducendo il valore di trasmittanza termica U_w , con la finalità sia di ridurre il più possibile il carico termico invernale e sia quella di non inficiare onerosamente, a causa dell'uso di vetri altamente isolanti, sulle sue altre caratteristiche prestazionali quali ad esempio la trasmittanza luminosa. Successivamente, l'altro valore che emerge dai grafici è quello dovuto per la trasmissione delle chiusure orizzontali di involucro (soffitto verso terreno, verso spazi aperti o di copertura); mentre il

contributo delle chiusure verticali opache risulta essere il più basso appunto a causa della limitata estensione delle sue superfici. Oltre al carico termico, un ulteriore indice di prestazione dell'involucro nel periodo invernale è dato dal parametro H'_T posto da verifica per i requisiti di edifici classificabili come NZEb. Per la descrizione di questo indice nonché per la sua modalità di calcolo si rimanda al capitolo del progetto tecnologico. Di seguito si riporta solo il valore ottenuto con l'edificio di riferimento e si può notare come esso risulti essere già verificato rispetto al limite superiore posto da normativa.

$$H'_T \text{ edificio di riferimento} = 0,55 < 0,75 \text{ W/m}^2\text{K} \quad \text{VERIFICATO}$$

5.4.2 Fabbisogno termico estivo

Il calcolo iniziale del fabbisogno termico estivo dell'edificio di riferimento è stato calcolato rispetto alle condizioni più critiche nel mese di giugno e considerando la presenza di una schermatura mobile (tenda avvolgibile interna mediamente translucida) solo al piano terreno; mentre per i piani superiori si è considerata inizialmente la sua assenza con il fine di progettare successivamente delle schermature solari fisse esterne, in funzione dei diversi orientamenti e delle destinazioni d'uso dei locali/spazi scolastici. Di seguito si riporta la modalità di calcolo con cui si è stimato il valore di trasmittanza di energia solare totale della finestra (vetro + schermatura solare interna) secondo i criteri indicati dalla norma UNI EN 13363-1.

$$g_{tot} = g_{gl,n} \times [1 - g_{gl,n} \times \rho_e - \alpha_e \times (G/G_2)] \quad G = [(1/U_g) + (1/G_2)]^{-1} \quad G_2 = 30 \text{ W/m}^2$$

in cui: ρ_e è la riflettanza solare della schermatura, pari a 0,6, essendo di color bianco e di media permeabilità alla trasmissione luminosa; α_e indica l'assorbimento solare della tenda, pari a 0,2, analogamente sempre per le caratteristiche della schermatura utilizzata. Sostituendo i dati si ottiene un g_{tot} di 0,40 che equivale ad una classe 1 (basso effetto di schermatura) tra quelle indicate nella UNI EN 14501: 2006.

CLASSE DI SCHERMATURA	0	1	2	3	4
EFFETTO	Very little effect	Little effect	Moderate effect	Good effect	Very good effect
g_{tot}	$g_{tot} \geq 0,50$	$0,35 \leq g_{tot} < 0,50$	$0,15 \leq g_{tot} < 0,35$	$0,10 \leq g_{tot} < 0,15$	$g_{tot} < 0,10$

Tab. 5.9 Classi di schermatura, g_{tot} , secondo la UNI EN 14501:2006

La scelta iniziale di una schermatura tale per cui si cade in una classe 1 è figlia del fatto che il piano terreno risulta essere soggetto già a diversi gradi di ombreggiatura generati dagli edifici/elementi architettonici limitrofi. Pertanto, si è deciso di non gravare ulteriormente sull'ingresso della luce naturale con schermature a più bassa permeabilità. Si sottolinea, infine, che si è considerato l'uso della schermatura mobile, nel calcolo del contributo ϕ_{rad} , di radiazione solare attraverso le superfici vetrate, solo per soglie di irraggiamento maggiori di 200 W/m^2 .

I grafici sottostanti riportano l'incidenza percentuale del carico termico estivo analogamente a quanto detto e visto per il caso invernale.

LEGENDA:

Φ_{rad} = effetto della radiazione solare attraverso le strutture vetrate

$\Phi_{trasm+rad}$ = effetto della trasmissione e della radiazione solare attraverso le superfici opache

Φ_{trasm} = effetto della trasmissione delle strutture vetrate e delle strutture opache verso zone non raffrescate

$\Phi_{sens,pers}$ = carico interno sensibile dovuto alla presenza di persone

$\Phi_{lat,pers}$ = carico interno latente dovuto alla presenza di persone

$\Phi_{sens,ill}$ = carico interno sensibile dovuto alla presenza della luce artificiale

$\Phi_{sens,mac}$ = carico interno sensibile alla presenza di apparecchiature elettriche

PIANO TERRENO

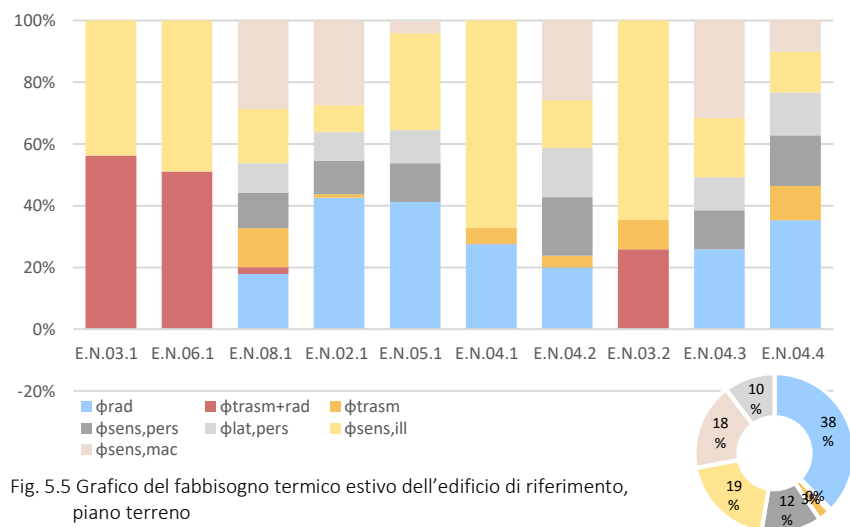


Fig. 5.5 Grafico del fabbisogno termico estivo dell'edificio di riferimento, piano terreno

PIANO PRIMO

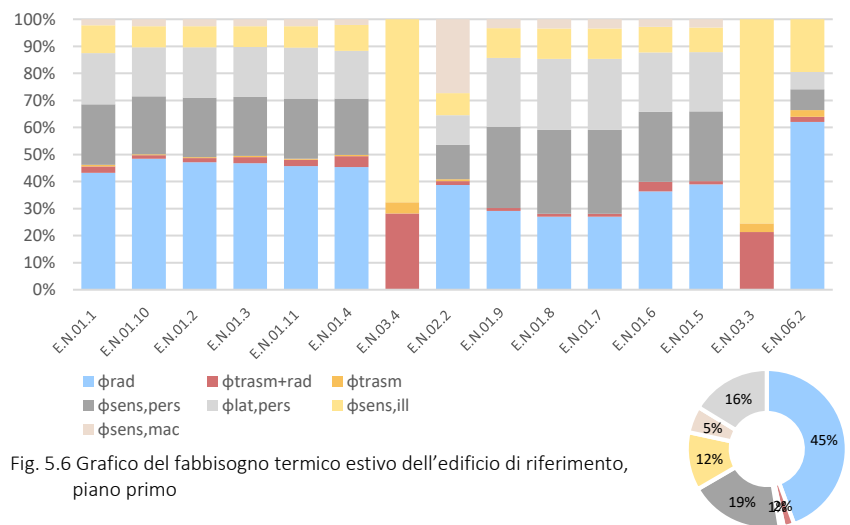


Fig. 5.6 Grafico del fabbisogno termico estivo dell'edificio di riferimento, piano primo

PIANO SECONDO

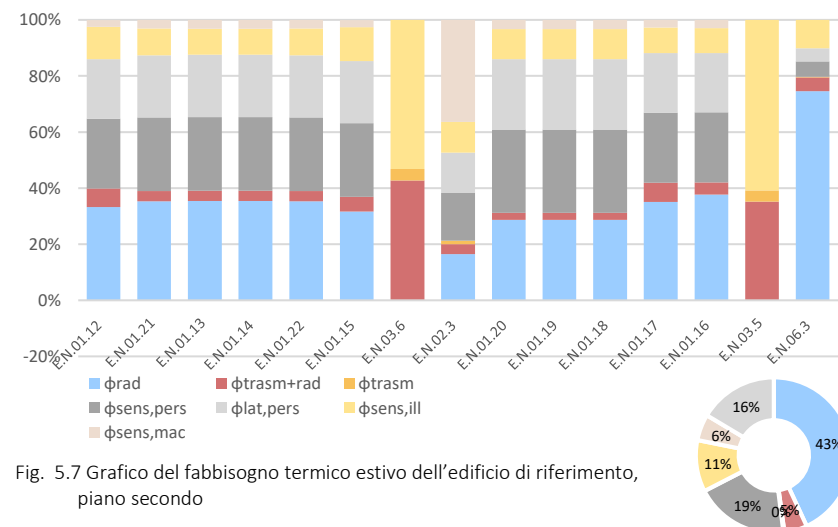


Fig. 5.7 Grafico del fabbisogno termico estivo dell'edificio di riferimento, piano secondo

Analogamente al caso invernale anche per il fabbisogno termico estivo l'elemento critico è dato dalle superfici vetrate, anche se questa volta non è dovuto all'effetto di trasmissione bensì a quello della radiazione solare. Naturalmente era un risultato prevedibile a causa non solo della presenza di ampie superfici trasparenti, ma soprattutto dell'ipotesi fatta di schermatura solare presente solo al piano terreno dell'edificio di riferimento. Tuttavia, in termini percentuali il loro contributo al carico termico totale estivo risulta essere inferiore rispetto a quello corrispondente al loro caso invernale: 38% al piano terreno, 45% al piano primo e 43% al piano secondo. Ciò è dato dalla presenza per nulla trascurabile dei carichi interni, i quali costituiscono più del 50% del fabbisogno termico globale estivo. Pertanto, una possibile strategia, al fine di ridurre il carico termico nei mesi estivi, sarà quella di intervenire con una buona progettazione delle schermature solari ed eventualmente ridurre il parametro g_{tot} del sistema vetro + schermatura, verificando sempre di non inficiare onerosamente sui livelli di illuminamento naturale.

5.4.3 Parametro $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$

Oltre al carico termico un ulteriore indice di prestazione dell'involucro nel periodo estivo è dato dal parametro $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$ posto da verifica per i requisiti di edifici classificabili come NZEb. Il rapporto tra l'area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e l'area della superficie utile, $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$, deve essere inferiore al valore limite evidenziato in tabella:

CATEGORIA EDIFICIO	$A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$
Categoria E.1 fatta eccezione per collegi, conventi, case di pensa, caserme nonché per la categoria E.1 (3)	$\leq 0,030$
Tutti gli altri edifici	$\leq 0,040$

Tab. 5.10 Valore massimo ammissibile del rapporto $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$

Il parametro $A_{sol,est}$ dell'edificio si calcola come sommatoria delle aree equivalenti estive di ogni componente vetrato k:

$$A_{sol,est} = \sum F_{sh,ob} \times g_{sh+gl,b} \times (1-F_f) \times A_{w,p} \times F_{sol,est} \quad [m^2]$$

in cui: $F_{sh,ob}$ è il fattore di riduzione per ombreggiatura da elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie vetrata k-esima, riferito al mese di luglio; $g_{sh+gl,b}$ è la trasmittanza di energia solare totale della finestra calcolata nel mese di luglio, quando la schermatura solare è utilizzata, secondo i criteri indicata dalla norma UNI EN 13363-1; F_f è la frazione di area relativa al telaio; $A_{w,p}$ è l'area proiettata totale del componente vetrato; $F_{sol,est}$ è il fattore di correzione per l'irraggiamento incidente, ricavato come rapporto tra l'irradianza media nel mese di luglio, nella località e sull'esposizione considerata, e l'irradianza media annuale di Roma, sul piano orizzontale.

IRRADIANZA SOLARE GLOBALE SU SUPERFICIE VERTICALE – MILANO – LUGLIO MJ/m ²	
S-E / S-O	N-E / N-O
14,0	12,8
IRRADIANZA SOLARE GLOBALE SU SUP. ORIZZONTALE – ROMA – MEDIA ANNUA MJ/m ²	
190,3	
$F_{sol,est}$ S-E / S-O	$F_{sol,est}$ N-E / N-O
0,0735	0,0673

Tab. 5.11 Fattori di correzione per l'irraggiamento incidente $F_{sol,est}$ (fonte dati UNI 10349)

Il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie k-esima è pari a:

$$F_{sh,ob} = F_{hor} \times F_{ov} \times F_{fin}$$

dove: F_{hor} è il fattore di ombreggiatura relativo ad ostruzioni esterne; F_{ov} è il fattore di ombreggiatura relativo ad aggetti orizzontali; F_{fin} è il fattore di ombreggiatura relativo ad aggetti verticali

ANGOLO	F_{hor} (45°N latitudine)	
	S-E/S-O	N-E/N-O
0°	1,00	1,00
10°	0,88	0,85
20°	0,77	0,67
30°	0,64	0,54
40°	0,52	0,40

Tab. 5.12 Fattore di ombreggiatura F_{hor} per ostruzioni esterne, mese di luglio

ANGOLO	F_{ov} (45°N latitudine)	
	S-E/S-O	N-E/N-O
0°	1,00	1,00
30°	0,71	0,80
45°	0,60	0,72
60°	0,53	0,64

Tab. 5.13 Fattore di ombreggiatura F_{ov} per aggetti orizzontali, mese di luglio

ANGOLO	F_{fin} (45°N latitudine)	
	S-E/S-O	N-E/N-O
0°	1,00	1,00
30°	0,90	0,88
45°	0,87	0,83
60°	0,84	0,80

Tab. 5.14 Fattore di ombreggiatura F_{fin} per aggetti verticali, mese di luglio

Attraverso la modalità di calcolo appena descritta si è ottenuto un valore, per l'edificio di riferimento, non conforme al limite superiore posto da normativa.

$$(A_{sol,est} / A_{sup\ utile})_{edificio\ riferimento} = 0,067 > 0,044 \text{ m}^2 \quad \text{NON VERIFICATO}$$

5.4.4 Indicatore del comfort termico: temperatura operante in una condizione di free floating

Lo studio in regime dinamico del comportamento dell'edificio di riferimento, mediante l'uso del software TERMOLOG, ha permesso di trarre dei risultati interessanti anche in merito al comfort termico, ovvero sul grado di benessere percepito dagli occupanti nello spazio considerato. In generale la temperatura assunta nei locali è quella dell'aria, come ribadisce il D.P.R. 412/93 al comma 1 dell'articolo 4, ma il reale effetto sull'uomo proviene dalla temperatura operante, intesa come media aritmetica fra la temperatura dell'aria misurata al centro dello spazio e la temperatura media radiante delle pareti che circondano lo spazio considerato. In questo capitolo, si potrà vedere come una buona progettazione delle schermature solari negli edifici, soprattutto quelli con ampie superfici trasparenti, risulti essere fondamentale per migliorare l'andamento annuale della T_o e quindi del comfort termico percepito.

Di seguito sono stati riportati i risultati principali estrapolati dalle analisi condotte sul solo comfort termico estivo, considerando un range ottimale per le T_o compreso tra i 20°C e i 26°C, e riferendosi all'edificio di riferimento in una situazione di free floating, ovvero in assenza di impianto di raffrescamento.

Si ipotizza l'uso dell'edificio scolastico al piano terreno fino al mese di luglio, mentre per gli altri piani fino al mese di giugno, con una chiusura globale della scuola nel mese di agosto. Pertanto, i valori di temperatura calcolati nei mesi estivi terrano presente di tale ipotesi.

PIANO TERRENO

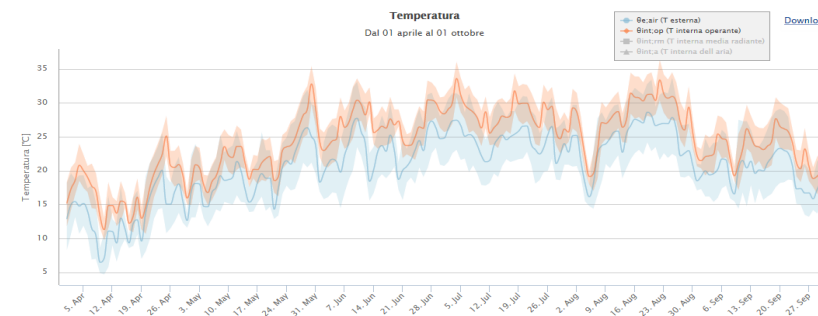


Fig.5.8 Grafico della temperatura esterna e della temperatura operante, al piano terreno dell'edificio di riferimento, nei mesi estivi, ottenuto con il software TERMOLOG

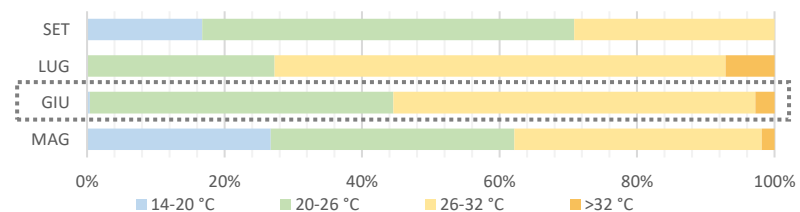


Fig. 5.9 Sintetizzazione dei risultati ottenuti sulle temperature operanti al piano terreno

PIANO PRIMO E SECONDO

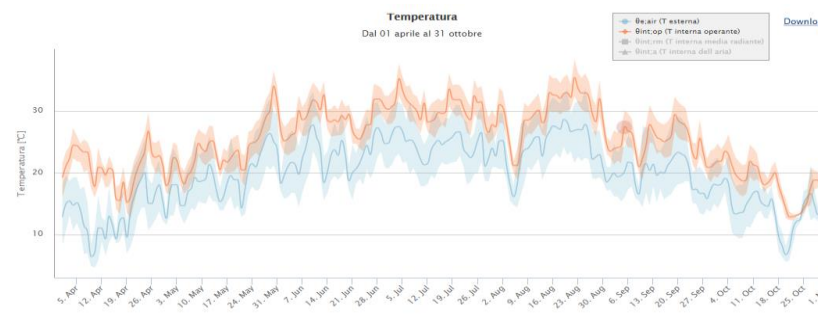


Fig. 5.10 Grafico della temperatura esterna e della temperatura operante, al piano primo e secondo dell'edificio di riferimento, nei mesi estivi, ottenuto con il software TERMOLOG

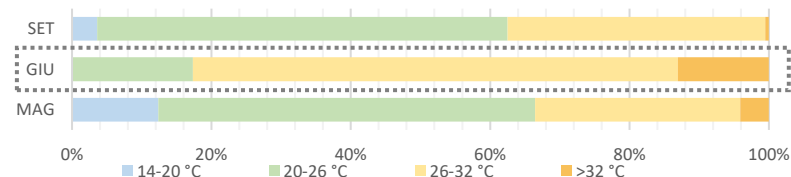


Fig. 5.11 Sintetizzazione dei risultati ottenuti sulle temperature operanti al piano primo più secondo

Uno dei risultati più evidenti, mettendo a confronto le temperature operanti ottenute nel mese di giugno, al piano terreno con quelle dei piani superiori, è il maggior discostamento dal range di comfort termico estivo ai piani superiori, causato principalmente dall'assenza di schermature solari.

5.4.5 Illuminamento naturale e fattore di luce diurna

Per una corretta progettazione illuminotecnica l'attenzione sui parametri di illuminamento e sul fattore di luce diurna è imprescindibile, soprattutto se riferiti inizialmente ad un edificio di riferimento, privo di schermature solari, al fine di valutarne poi il reale contributo dato dall'introduzione di schermature fisse e dall'utilizzo di una precisa tipologia di superficie vetrata.

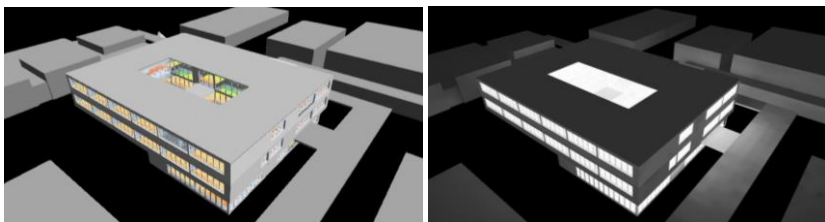


Fig. 5.12 Viste del modello 3D edificio di riferimento creato in DIALux

Il calcolo dei parametri quantitativi illuminotecnici è avvenuto attraverso l'uso del software DIALux, considerando il non utilizzo delle tende avvolgibili interne al piano terreno e in questa prima analisi riferendosi ad uno scenario con cielo coperto. Solo nello studio di dettaglio delle schermature nei diversi locali didattici verrà considerato anche il livello di illuminamento nello scenario più

critico con cielo sereno. Di seguito si riportano i principali risultati sia in forma tabellare che per via grafica.

PIANO TERRENO (cielo coperto)

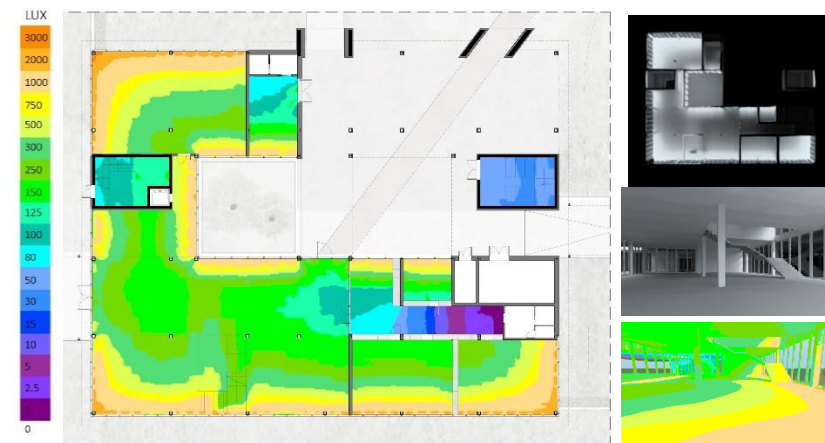


Fig. 5.13 Viste e pianta del piano terra dell'edificio di riferimento con i livelli di illuminamento nello scenario di cielo coperto

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	Em [lx]		FLDm [%]	
		limite	effettivo	limite	effettivo
E.N.08.1	Ufficio associazione	200	330	≥ 1	2,54
E.N.02.1	Laboratorio didattico	300	946	≥ 3	5,77
E.N.05.1	Agorà interna	200	510	≥ 2	3,53
E.N.04.1	Spazio comune	100	340	≥ 1	2,58
E.N.04.2	Ufficio	200	540	≥ 1	3,68
E.N.04.3	Spazio amministrativo	200	587	≥ 2	3,88
E.N.04.4	Sala insegnanti	200	985	≥ 2	6,12

Tab. 5.15 Parametri illuminotecnici, a cielo coperto, del piano terreno dell'edificio di riferimento

PIANO PRIMO (cielo coperto)

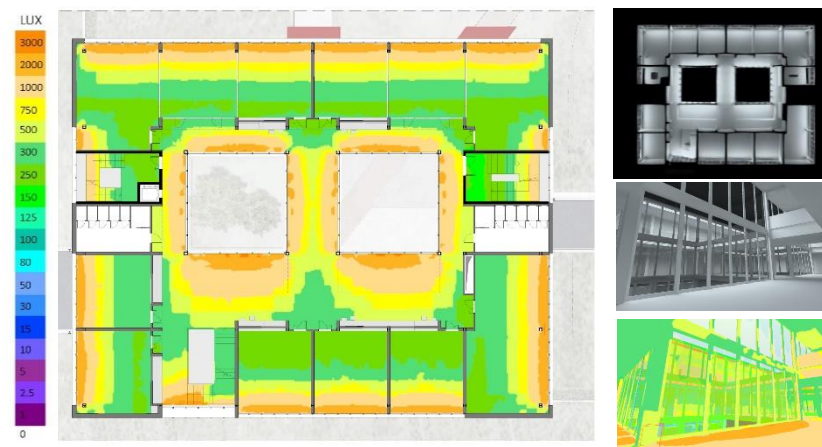


Fig. 5.14 Viste e pianta del piano primo dell'edificio di riferimento con i livelli di illuminamento nello scenario di cielo coperto

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	Em [lx]		FLDm [%]	
		limite	effettivo	limite	effettivo
E.N.01.1	Aula – home base	300	786	≥ 3	5,25
E.N.01.10	Aula – home base	300	880	≥ 3	5,85
E.N.01.2	Aula – home base	300	888	≥ 3	5,79
E.N.01.3	Aula – home base	300	894	≥ 3	5,78
E.N.01.11	Aula – home base	300	869	≥ 3	5,76
E.N.01.4	Aula – home base	300	773	≥ 3	5,17
E.N.02.2	Laboratorio di informatica	300	891	≥ 3	5,85
E.N.01.5	Aula – home base	300	885	≥ 3	5,72
E.N.01.6	Aula – home base	300	845	≥ 3	5,58
E.N.01.7	Aula – home base	300	755	≥ 3	5,18
E.N.01.8	Aula – home base	300	783	≥ 3	5,24
E.N.01.9	Aula – home base	300	758	≥ 3	5,13
E.N.06.2	Connettivo	100	994	≥ 2	6,05

Tab. 5.16 Parametri illuminotecnici, a cielo coperto, del piano primo dell'edificio di riferimento

PIANO SECONDO (cielo coperto)

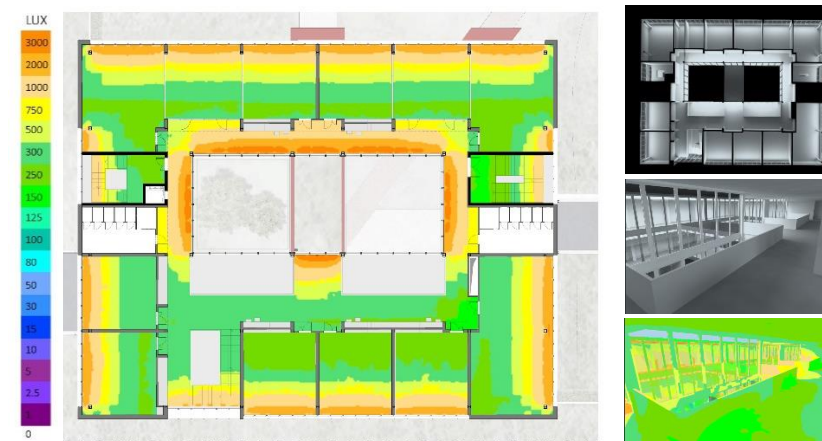


Fig. 5.15 Viste e pianta del piano secondo dell'edificio di riferimento con i livelli di illuminamento nello scenario di cielo coperto

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	Em [lx]		FLDm [%]	
		limite	effettivo	limite	effettivo
E.N.01.12	Aula – home base	300	808	≥ 3	5,29
E.N.01.21	Aula – home base	300	902	≥ 3	5,88
E.N.01.13	Aula – home base	300	905	≥ 3	5,84
E.N.01.14	Aula – home base	300	901	≥ 3	5,83
E.N.01.22	Aula – home base	300	897	≥ 3	5,81
E.N.01.15	Aula – home base	300	795	≥ 3	5,22
E.N.02.3	Laboratorio di informatica	300	919	≥ 3	5,90
E.N.01.16	Aula – home base	300	892	≥ 3	5,80
E.N.01.17	Aula – home base	300	870	≥ 3	5,63
E.N.01.18	Aula – home base	300	835	≥ 3	5,23
E.N.01.19	Aula – home base	300	825	≥ 3	5,30
E.N.01.20	Aula – home base	300	826	≥ 3	5,18
E.N.06.3	Connettivo	100	1112	≥ 2	5,74

Tab. 5.17 Parametri illuminotecnici, a cielo coperto, del piano secondo dell'edificio di riferimento

L'edificio di riferimento presenta dei dati illuminotecnici superiori a quelli richiesti, in particolare con valori di illuminamento medio eccessivamente elevati e con valori di FLDm tali da far percepire la maggior parte dei locali come ambienti luminosi e aperti verso l'esterno.

FLDm	< 1%	1 – 2%	2 – 3%	3 – 7%	7 – 12%	> 12%
Impressione di luminosità	Da buio a poco luminoso		Da poco luminoso a luminoso		Da luminoso a molto luminoso	
Atmosfera	L'ambiente sembra chiuso su se stesso			L'ambiente si apre verso l'esterno		

Tab. 5.18 Percezione dello spazio da parte dell'osservatore secondo i valori del FLDm

5.5 Definizione delle chiusure trasparenti

La prima strategia progettuale è stata quella di migliorare le prestazioni termiche dei telai e delle superfici vetrate, optando per un vetro con più basso valore di trasmittanza termica e di energia solare, senza comportare una riduzione eccessiva del fattore di trasmissione luminosa. Pertanto, si è optato per l'uso di un vetro triplo con trattamento basso emissivo su due lastre, tipo "FINESTRAL Super-Valor 4v-14-4F-14-4v". Per il telaio si è scelto l'uso di un infisso in pvc al posto di quello precedente in alluminio con taglio termico.

PARAMETRI PRESTAZIONALI DEL SOLO VETRO TRIPLA BASSO EMISSIVO	
Vetro tipo "FINESTRAL Super Valorv 4v-14-4F-14-4v" di spessore 40mm	
Trasmittanza termica vetro U_g in W/m^2K	0,6
Trasmittanza energia solare $g_{gl,n}$	0,5
Trasmittanza luminosa T_L	0,71
PARAMETRI PRESTAZIONALI DEI DISTANZIALI	
Ψ_g in W/mK	0,045
PARAMETRI PRESTAZIONALI DEL TELAIO IN PVC	
U_f in W/m^2K	1,2
PARAMETRI PRESTAZIONALI GLOBALI DEGLI INFISSI	
Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti U_w in W/m^2K	0,85
$g_{sh+gl,b/d}$ al piano terreno con tenda avvolgibile interna, di colore bianco, mediamente traslucida o perforata	0,35

Tab. 5.19 Parametri prestazionali delle chiusure trasparenti

Di seguito si riportano i risultati ottenuti confrontandoli con quelli iniziali dell'edificio di riferimento.

5.5.1 Fabbisogno termico invernale e H'_T

Il fabbisogno termico invernale ha subito una riduzione del carico per trasmissione attraverso le superfici vetrate ($\phi_{t,ct}$) del 40% comportando una riduzione globale del carico termico da 98840 W a 73940 W, ovvero del 25%.

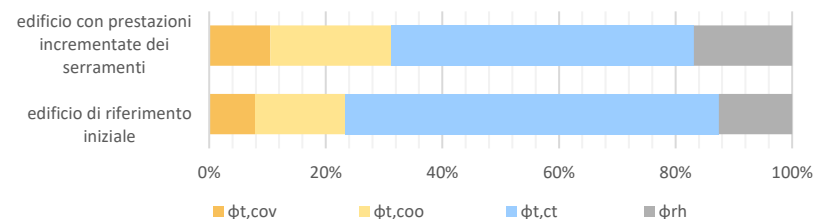


Fig. 5.16 Grafico del fabbisogno termico invernale dell'edificio di riferimento e dell'edificio con prestazioni incrementate dei serramenti

Il parametro H'_T , posto da verifica per edifici classificabili come NZEb, era risultato precedentemente già verificato. Naturalmente l'aver ridotto ulteriormente la trasmittanza globale delle chiusure trasparenti ha comportato anche una sua diminuzione.

$$H'_T = 0,40 < H'_T \text{ edificio di riferimento} = 0,55$$

5.5.2 Fabbisogno termico estivo e $A_{sol,est}/A_{sup \text{ utile}}$

Il fabbisogno termico estivo ha subito una riduzione del carico termico dovuto all'effetto della radiazione solare attraverso le strutture vetrate (ϕ_{rad}) del 25% e una riduzione del carico per effetto della trasmissione delle superfici trasparenti (ϕ_{trasm}) del 38%. Ottenendo complessivamente una diminuzione globale del carico termico sensibile da 250620 W a 218362 W, ovvero del 13%. Evidentemente rispetto al caso invernale si è ottenuto un miglioramento più contenuto a causa del fatto che si è, per il momento, intervenuti quasi esclusivamente sulla trasmittanza termica degli infissi U_w senza introdurre delle adeguate schermature solari.

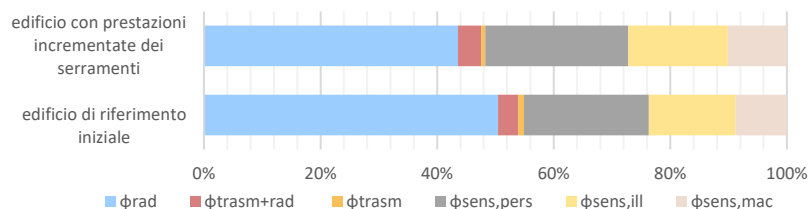


Fig. 5.17 Grafico del fabbisogno termico estivo dell'edificio di riferimento e dell'edificio con prestazioni incrementate dei serramenti

Il parametro $A_{sol,est}/A_{suputile}$, posto da verifica per edifici classificabili come NZEb, seppur ridotto risulta essere ancora non verificato.

$$(A_{sol,est} / A_{sup utile}) = 0,051 > 0,044 \text{ m}^2 \text{ NON VERIFICATO}$$

5.5.3 Illuminamento naturale e fattore di luce diurna

Il fattore di trasmissione luminosa del vetro triplo a doppio rivestimento basso emissivo ha subito una diminuzione del 9% rispetto a quello delle superfici vetrate utilizzate nell'edificio di riferimento. Pertanto, non ha portato a grandi variazioni sui livelli di illuminamento e sui valori di fattore di luce diurna, rispetto a quelli ottenuti precedentemente. Di seguito si riportano i risultati in forma tabellare.

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	Em [lx]		FLDm [%]	
		limite	effettivo	limite	effettivo
E.N.08.1	Ufficio associazione	200	300	≥ 1	2,31
E.N.02.1	Laboratorio didattico	300	861	≥ 3	5,26
E.N.05.1	Agorà interna	200	465	≥ 2	3,21
E.N.04.1	Spazio comune	100	310	≥ 1	2,35
E.N.04.2	Ufficio	200	492	≥ 1	3,35
E.N.04.3	Spazio amministrativo	200	535	≥ 2	3,53
E.N.04.4	Sala insegnanti	200	896	≥ 2	5,57

Tab. 5.20 Parametri illuminotecnici, nello scenario di cielo coperto, del piano terreno dell'edificio con prestazioni incrementate dei serramenti

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	Em [lx]		FLDm [%]	
		limite	effettivo	limite	effettivo
E.N.01.1	Aula – home base	300	715	≥ 3	4,78
E.N.01.10	Aula – home base	300	801	≥ 3	5,32
E.N.01.2	Aula – home base	300	808	≥ 3	5,27
E.N.01.3	Aula – home base	300	814	≥ 3	5,26
E.N.01.11	Aula – home base	300	791	≥ 3	5,25
E.N.01.4	Aula – home base	300	703	≥ 3	4,70
E.N.02.2	Laboratorio di informatica	300	811	≥ 3	5,33
E.N.01.5	Aula – home base	300	805	≥ 3	5,21
E.N.01.6	Aula – home base	300	769	≥ 3	5,08
E.N.01.7	Aula – home base	300	688	≥ 3	4,71
E.N.01.8	Aula – home base	300	713	≥ 3	4,80
E.N.01.9	Aula – home base	300	690	≥ 3	4,67
E.N.06.2	Connettivo	100	905	≥ 2	5,51

Tab. 5.21 Parametri illuminotecnici, nello scenario di cielo coperto, del piano primo dell'edificio con prestazioni incrementate dei serramenti

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	Em [lx]		FLDm [%]	
		limite	effettivo	limite	effettivo
E.N.01.12	Aula – home base	300	735	≥ 3	4,81
E.N.01.21	Aula – home base	300	821	≥ 3	5,35
E.N.01.13	Aula – home base	300	824	≥ 3	5,31
E.N.01.14	Aula – home base	300	820	≥ 3	5,30
E.N.01.22	Aula – home base	300	816	≥ 3	5,28
E.N.01.15	Aula – home base	300	724	≥ 3	4,75
E.N.02.3	Laboratorio di informatica	300	836	≥ 3	5,37
E.N.01.16	Aula – home base	300	812	≥ 3	5,28
E.N.01.17	Aula – home base	300	792	≥ 3	5,12
E.N.01.18	Aula – home base	300	760	≥ 3	4,76
E.N.01.19	Aula – home base	300	751	≥ 3	4,82
E.N.01.20	Aula – home base	300	751	≥ 3	4,71
E.N.06.3	Connettivo	100	1011	≥ 2	5,22

Tab. 5.22 Parametri illuminotecnici, nello scenario di cielo coperto, del piano secondo dell'edificio con prestazioni incrementate dei serramenti

5.6 La schermatura di facciata

L'edificio scolastico necessita di un sistema di schermatura in grado di rispondere a due esigenze: architettonica e illuminotecnica. A tal fine si è optato per l'uso di frangisoli, ovvero di strutture composte da lamelle parallele, nel nostro caso in ceramica, fissi ed orizzontali o verticali, a secondo dell'orientamento delle superfici vetrate. Questa tipologia di schermatura è stata scelta per la sua accentuata componente estetica tale da valorizzare il progetto architettonico della nuova scuola e tanto da diventarne l'elemento distintivo. A destra si riportano alcuni casi progettuali di edifici scolastici esistenti nei quali le schermature solari, con l'uso di colori vivaci, diventano elemento caratterizzante delle facciate. Tuttavia la scelta di un sistema fisso comporta alcuni svantaggi quale lo scarso sfruttamento dei guadagni solari e la ridotta disponibilità di luce naturale in inverno in condizioni di cielo coperto.

5.6.1 Le schermature solari a lamelle

Il sistema di daylighting costituito da lamelle è in grado di proteggere contro l'abbagliamento, andando a schermare gli ambienti dalla radiazione solare diretta proveniente dal sole in posizione sia alta che bassa sull'orizzontante, di riorientare la luce e di ostacolare, assorbire, riflettere e/o trasmettere la radiazione solare (diffusa e diretta) all'interno dell'edificio. I loro effetti dipendono dalla posizione del sole, dall'angolo delle stecche e dalle caratteristiche di riflettanza della loro superficie. Per questo, le proprietà termiche e ottiche di una finestra equipaggiata con lamelle sono altamente variabili. Questa tipologia di schermatura, inoltre, può aumentare la penetrazione della luce diurna proveniente dalla luce solare diretta, mentre quando il cielo è coperto ne promuove una distribuzione uniforme. In generale questo sistema consente una riduzione del carico termico estivo e un'elevata disponibilità di luce naturale con un conseguente risparmio energetico sull'illuminazione artificiale. I sistemi fissi sono generalmente progettati per schermare il sole, ovvero sono posizionati secondo un'angolazione studiata sulla base dei percorsi solari.



Fig. 5.18 Kindergarten Kekec, Slovenia



Fig. 5.19 Groupe Scolaire Pasteur, Francia



Fig. 5.20 Ørestad Gymnasium, Copenhagen



Fig. 5.21 Pontprennau Primary School in Cardiff, Regno Unito

5.6.2 Il progetto delle schermature solari fisse

Il progetto dei sistemi schermanti, in termini di dimensioni, inclinazione e interasse, ha fatto riferimento ai soli parametri illuminotecnici ed al fabbisogno termico estivo; dal momento che il calcolo del fabbisogno termico invernale, secondo la UNI EN 12831, non considera i carichi termici dovuti all'effetto della radiazione solare diretta e diffusa. L'influenza delle schermature solari sulle temperature operanti, quindi sul comfort termico percepito nei mesi estivi, è stato valutato e verificato globalmente sull'interno edificio solo successivamente alla progettazione di tutte le schermature. Come accennato precedentemente la schermatura proposta per gli spazi ed i locali scolastici, situati al piano primo e secondo, è stata quella di lamelle fisse (orizzontali o verticali) in piastrelle di ceramica (tipo Moeding), analoghe a quelle utilizzate per il rivestimento di facciata. Le lamelle hanno uno spessore massimo di 30 mm ed una lunghezza di 3600 mm, per quelle disposte orizzontalmente, e di 2200 mm, per quelle con andamento verticale. Esistono in commercio diversi profili: ovali, a sezione quadrata o rettangolare ed inclinati.



Fig. 5.22 Profili delle lamelle delle schermature solari, in ceramica, prodotte dalla azienda Moeding
 Nei modelli di studio proposti di seguito si studieranno i profili ovali per le aule/laboratori didattici ed i profili quadrati e rettangolari per gli spazi comuni/connettivi. Definiti gli elementi caratterizzanti il progetto si è affrontato il tema sul come disporre la schermatura prevista al fine di ottimizzare il comfort interno degli ambienti. Il primo aspetto considerato ha riguardato l'esposizione delle facciate. In generale, per aperture rivolte a sud, il sole batte sul serramento nelle ore centrali della giornata quando l'angolo zenitale è maggiore, sono quindi preferibili lamelle orizzontali; mentre per le aperture rivolte ad est ed ovest, dove i raggi solari hanno un'inclinazione inferiore e colpiscono il serramento la mattina e il pomeriggio, sono da preferirsi lamelle verticali.

Tuttavia, nel nostro caso progettuale si hanno facciate orientate a sud-est/ovest e nord-est/ovest quindi entrambe le soluzioni, inizialmente, sono state considerate plausibili e pertanto valuate singolarmente, verificando quale risultasse più efficiente.

5.6.2.1 Aule didattiche con affaccio a sud-ovest

Prima di eseguire le analisi con l'uso delle schermature solari sono state individuate le situazioni più critiche, per la radiazione solare diretta, al 21 giugno ed al 21 dicembre in una condizione di cielo sereno. Dalle simulazioni tali situazioni critiche sono risultate:

- al 21 giugno alle ore 17:00 con E_m di 7748 lx;



Fig. 5.23 Viste dall'alto dell'aula didattica orientata a sud-ovest al 21 giugno alle ore: 8:00, 14:00, 17:00 e 19:00

- al 21 dicembre alle ore 14:00 con E_m di 4441 lx.



Fig. 5.24 Viste dall'alto dell'aula didattica orientata a sud-ovest al 21 dicembre alle ore: 9:00, 12:00, 14:00 e 16:00

La verifica di abbagliamento nel caso studio 0 (assenza di schermatura solare) è risultato verificato con un valore inferiore a 10. Pertanto, non verrà più verificato negli altri casi studio. Il valore di UGR è stato valutato sulla superficie dei piani di lavoro dei banchi scolastici (con coefficiente di riflessione di 0,56) posti in prossimità alla superficie vetrata.

Nella seguente tabella si riportano le diverse soluzioni analizzate con sistema schermante orizzontale a profilo ovale, specificando per ognuna il numero e la larghezza delle lamelle, l'interasse e l'inclinazione rispetto alla superficie orizzontale (posto come positivo l'angolo antiorario).

CASI STUDIO		Em [lx]			FLDm [%]	
		Limite inferiore	Effettivo cielo coperto	Effettivo Ora critica	Limite inferiore	Effettivo
0	Assenza della schermatura solare (21 giugno)	300	801	7748	3	5,32
	Assenza della schermatura solare (21 dicembre)			4441		
1	Presenza della schermatura solare: n° 5 lamelle, larghezza di 25 cm, interasse di 20 cm, inclinazione di 0° (21 giugno)	300	465	3676	3	3,50
	Presenza della schermatura solare: n° 5 lamelle, larghezza di 25 cm, interasse di 20 cm, inclinazione di 0° (21 dicembre)			3354		
2	Presenza della schermatura solare: n° 3 lamelle, larghezza di 40 cm, interasse di 40 cm, inclinazione di 0° (21 giugno)	300	432	3057	3	3,42
	Presenza della schermatura solare: n° 3 lamelle, larghezza di 40 cm, interasse di 40 cm, inclinazione di 0° (21 dicembre)			3416		
3	Presenza della schermatura solare: n° 5 lamelle, larghezza di 25 cm, interasse di 20 cm, inclinazione di 20° (21 giugno)	300	399	3359	3	3,14
	Presenza della schermatura solare: n° 5 lamelle, larghezza di 25 cm, interasse di 20 cm, inclinazione di 20° (21 dicembre)			2446		
4	Presenza della schermatura solare: n° 3 lamelle, larghezza di 40 cm, interasse di 40 cm, inclinazione di 20° (21 giugno)	300	347	2622	3	3
	Presenza della schermatura solare: n° 3 lamelle, larghezza di 40 cm, interasse di 40 cm, inclinazione di 20° (21 dicembre)			2594		

Tab. 5.23 Parametri illuminotecnici dell'aula didattica orientata a sud-ovest nei casi studio 0, 1, 2, 3 e 4 al 21 giugno ed al 21 dicembre



Fig.5.25 Caso studio 1: viste e illuminamento dell'aula didattica a sud-ovest, al 21 dicembre/giugno



Fig.5.26 Caso studio 2: viste e illuminamento dell'aula didattica a sud-ovest, al 21 dicembre/giugno

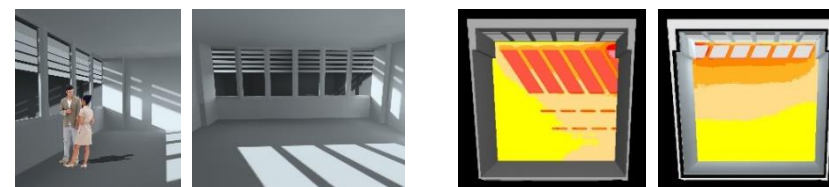


Fig.5.27 Caso studio 3: viste e illuminamento dell'aula didattica a sud-ovest, al 21 dicembre/giugno



Fig.5.28 Caso studio 4: viste e illuminamento dell'aula didattica a sud-ovest, al 21 dicembre/giugno

Dal confronto dei risultati numerici e grafici la soluzione migliore è risultata la 3 in quanto è quella che riesce a schermare maggiormente la radiazione solare diretta in ogni stagione ed al contempo soddisfare i requisiti minimi richiesti di illuminamento e di FLD. Questa schermatura è stata ulteriormente bilanciata aumentandone lievemente la sua inclinazione da 20° a 25°.

CASI STUDIO		Em [lx]			FLDm [%]	
		Limite inferiore	Effettivo cielo coperto	Effettivo Ora critica	Limite inferiore	Effettivo
5	Presenza della schermatura solare: n° 5 lamelle, larghezza di 25 cm, interasse di 20 cm, inclinazione di 25° (21 giugno)	300	391	3329	3	3,10
	Presenza della schermatura solare: n° 5 lamelle, larghezza di 25 cm, interasse di 20 cm, inclinazione di 25° (21 dicembre)			2344		

Tab. 5.24 Parametri illuminotecnici dell'aula didattica orientata a sud-ovest nel caso studio 5 al 21 giugno ed al 21 dicembre

Definita la possibile schermatura solare con andamento orizzontale è stata verificata la sua reale capacità di ridirezionare la radiazione solare diretta negli orari delle lezioni scolastiche mattutine al 21 giugno e al 21 dicembre.

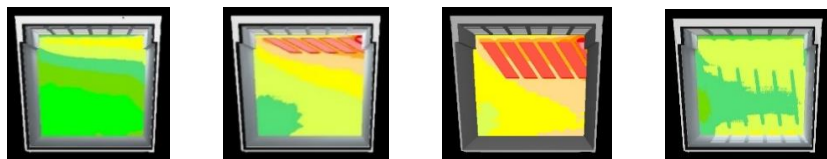


Fig. 5.29 Caso studio 5: illuminazione dell'aula didattica a sud-ovest, alle 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00 del 21 dicembre

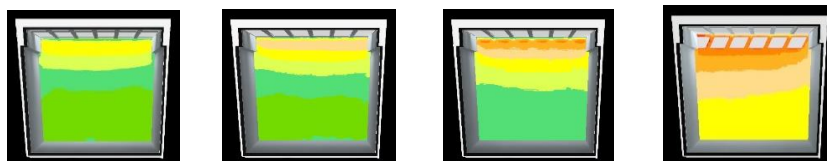


Fig. 5.30 Caso studio 5: illuminazione dell'aula didattica a sud-ovest, alle 10:00, 12:00, 14:00 e 17:00 del 21 giugno

Il sistema schermante del caso studio 5 fornisce una buona protezione alla radiazione solare diretta per l'intera durata delle lezioni mattutine e in generale per l'intero anno scolastico, richiedendo il supporto di una schermatura solare mobile nei mesi di novembre, dicembre e gennaio dalle ore 12:00 alle ore 14:00. A questo punto si è passati allo studio di una possibile schermatura solare con andamento verticale e profilo ovale. Nella seguente tabella si riportano le diverse soluzioni analizzate specificando per ognuna la

larghezza delle lamelle, l'interasse e l'inclinazione rispetto alla superficie verticale (ortogonale a quella vetrata e positiva con angolo antiorario).

CASI STUDIO		Em [lx]			FLDm [%]	
		Limite inferiore	Effettivo cielo coperto	Effettivo Ora critica	Limite inferiore	Effettivo
6	Presenza della schermatura solare: lamelle di larghezza 30 cm, interasse di 40 cm, inclinazione di 0° (21 giugno)	300	466	4911	3	3,50
	Presenza della schermatura solare: lamelle di larghezza 30 cm, interasse di 40 cm, inclinazione di 0° (21 dicembre)			2220		
7	Presenza della schermatura solare: lamelle di larghezza 30 cm, interasse di 40 cm, inclinazione di 25°(21 giugno)	300	380	1771	3	3,10
	Presenza della schermatura solare: lamelle di larghezza 30 cm, interasse di 40 cm, inclinazione di 25°(21 dic.)			3646		
8	Presenza della schermatura solare: lamelle di larghezza 30 cm, interasse di 40 cm, inclinazione di -25°(21 giugno)	300	380	6596	3	3,10
	Presenza della schermatura solare: lamelle di larghezza 30 cm, interasse di 40 cm, inclinazione di -25°(21 dic.)			506		

Tab. 5.25 Parametri illuminotecnici dell'aula didattica orientata a sud-ovest nei casi studio 6, 7 e 8 al 21 giugno ed al 21 dicembre



Fig.5.31 Caso studio 6: viste e illuminazione dell'aula didattica a sud-ovest, al 21 dicembre/giugno



Fig.5.32 Caso studio 7: viste e illuminazione dell'aula didattica a sud-ovest, al 21 dicembre/giugno



Fig.5.33 Caso studio 8: viste e illuminazione dell'aula didattica a sud-ovest, al 21 dicembre/giugno

La schermatura solare con andamento verticale dai risultati numerici e grafici si è dimostrata inadatta in quanto non riesce a fornire un'adeguata protezione alla radiazione solare diretta in ambedue i periodi, estivo ed invernale. Infatti, una sua rotazione con verso orario riesce a ridurre notevolmente la radiazione solare diretta entrante nell'aula nei mesi estivi, ma nel contempo non fornisce alcuna protezione per quella nei mesi invernali, e viceversa. Sarebbe risultata una buona soluzione solo nel caso in cui si avesse optato per una schermatura motorizzata. Pertanto, per le aule esposte a sud-ovest la disposizione delle lamelle più soddisfacente è stata quella del caso 5 con andamento orizzontale. Di seguito si riportano i risultati ottenuti, dall'uso del sistema schermante scelto, in termini di riduzione del fabbisogno termico estivo e $A_{sol,est}/A_{suputile}$ riferendoli ad una generica aula didattica (la E.N.01.10) orientata a sud-ovest.

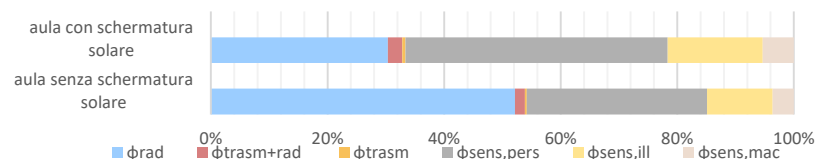


Fig. 5.34 Grafico del fabbisogno termico estivo dell'aula esposta a sud-ovest con e senza schermatura solare, nel mese di giugno

Il fabbisogno termico estivo ha subito una riduzione del carico termico dovuto all'effetto della radiazione solare attraverso le strutture vetrate (ϕ_{rad}) del 60%; ottenendo complessivamente una diminuzione globale del carico termico sensibile da 5468 W a 3757 W, ovvero del 31%. Anche, il parametro $A_{sol,est}/A_{suputile}$ ha subito una riduzione del 60%, da 0,008 a 0,003.

5.6.2.2 Aule didattiche con affaccio a nord-est

Prima di eseguire le analisi con l'uso delle schermature solari sono state individuate, anche in questo caso, le situazioni più critiche, per la radiazione solare diretta, al 21 giugno ed al 21 dicembre in una condizione di cielo sereno. Dalle simulazioni sono risultate:

- al 21 giugno alle ore 9:00 con E_m di 6446 lx;



Fig. 5.35 Viste dell'alto dell'aula didattica orientata a nord-est al 21 giugno alle ore: 7:00, 9:00, 11:00 e 14:00

- al 21 dicembre alle ore 12:00 con E_m di 407 lx.



Fig. 5.36 Viste dell'alto dell'aula didattica orientata a nord-est al 21 dicembre alle ore: 9:00, 12:00, 14:00 e 16:00

I mesi più critici per la radiazione solare diretta entrante nelle aule didattiche orientate a nord-est sono quelli estivi. Quindi, tenendo presente dei risultati precedentemente ottenuti, si deduce che il sistema schermante del caso studio 7 sia quello più adeguato in questa situazione. Pertanto, di seguito si riportano i risultati dati dall'uso della schermatura a lamelle verticali con profilo ovale, di lunghezza 30 cm e passo di 40 cm, inclinate di 25°.

CASI STUDIO		E_m [lx]			FLDm [%]	
		Limite inferiore	Effettivo cielo coperto	Effettivo Ora critica	Limite inferiore	Effettivo
0	Assenza della schermatura solare (21 giugno)	300	713	6541	3	4,80
	Assenza della schermatura solare (21 dicembre)			407		
7	Presenza della schermatura solare: lamelle di larghezza 30 cm, interasse di 40 cm, inclinazione di 25° (21 giugno)	300	442	579	3	3,12
	Presenza della schermatura solare: lamelle di larghezza 30 cm, interasse di 40 cm, inclinazione di 25° (21 dicembre)			264		

Tab. 5.26 Parametri illuminotecnici dell'aula didattica orientata a nord-est nei casi studio 0 e 7 al 21 giugno ed al 21 dicembre



Fig.5.37 Caso studio 7: viste e illuminamento dell'aula didattica a nord-est, al 21 giugno/dicembre
Definita la schermatura solare è stata verificata la sua reale capacità di ridirezionare la radiazione solare diretta negli orari delle lezioni scolastiche mattutine al 21 giugno ed in una stagione intermedia al 23 marzo. È emerso, anche in questo caso, il bisogno di integrare la schermatura solare fissa con un sistema schermante mobile nei mesi di maggio e giugno dalle 8:00 alle 9:00.

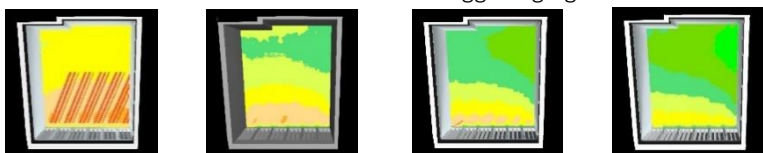


Fig. 5.38 Caso studio 7: illuminamento dell'aula didattica a nord-est, alle 8:00, 9:00, 11:00 e 13:00 del 21 giugno

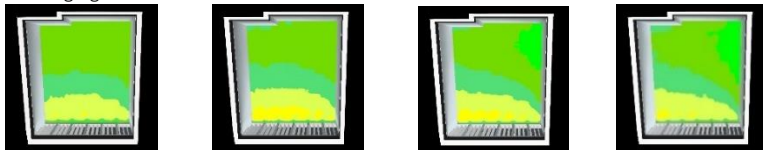


Fig. 5.39 Caso studio 7: illuminamento dell'aula didattica a nord-est, alle 8:00, 9:00, 11:00 e 13:00 del 23 marzo

Di seguito si riportano i risultati ottenuti in termini di riduzione del fabbisogno termico estivo e $A_{sol,est}/A_{suputile}$ riferendoli ad una generica aula didattica (la E.N.01.8) orientata a nord-est.

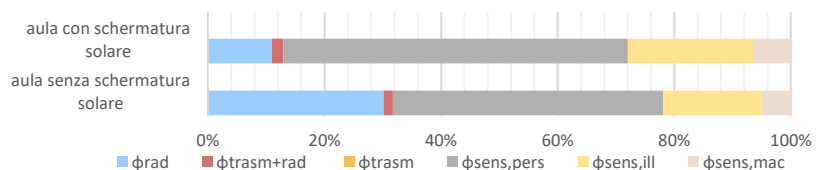


Fig. 5.40 Grafico del fabbisogno termico estivo dell'aula esposta a nord-est con e senza schermatura solare, nel mese di giugno

Il fabbisogno termico estivo ha subito una riduzione del carico termico dovuto all'effetto della radiazione solare attraverso le strutture vetrate (ϕ_{rad}) del 71%; ottenendo complessivamente una diminuzione globale del carico termico sensibile da 3927 W a 3081 W, ovvero del 22%. Anche, il parametro $A_{sol,est}/A_{suputile}$ ha subito una riduzione del 71%, da 0,006 a 0,002.

5.6.2.3 Aule didattiche con affaccio a sud-est

Gli orari critici per la radiazione solare diretta che sono emersi dalle simulazioni al 21 giugno/dicembre ed in una condizione di cielo sereno sono i seguenti:

- al 21 giugno alle ore 11:00 con E_m di 5929 lx;



Fig. 5.41 Viste dell'alto dell'aula didattica orientata a sud-est al 21 giugno alle ore: 9:00, 11:00, 13:00 e 15:00

- al 21 dicembre alle ore 12:00 con E_m di 5966 lx.

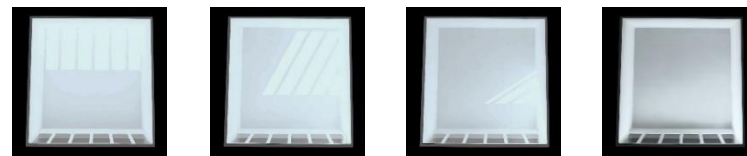


Fig. 5.42 Viste dell'alto dell'aula didattica orientata a sud-est al 21 dicembre alle ore: 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00

I risultati ottenuti sono simili a quelli delle aule didattiche orientate a sud-ovest e quindi si è proceduti alla verifica dei risultati dati dall'uso di una schermatura a lamelle orizzontali con profilo ovale, di lunghezza 25 cm, passo di 20 cm e di inclinazione pari a 25°.

CASI STUDIO		Em [lx]			FLDm [%]	
		Limite inferiore	Effettivo cielo coperto	Effettivo Ora critica	Limite inferiore	Effettivo
0	Assenza della schermatura solare (21 giugno)	300	805	5929	3	5,21
	Assenza della schermatura solare (21 dicembre)			5966		
5	Presenza della schermatura solare: n° 5 lamelle, larghezza di 25 cm, interasse di 20 cm, inclinazione di 25° (21 giugno)	300	200	2067	3	3,15
	Presenza della schermatura solare: n° 5 lamelle, larghezza di 25 cm, interasse di 20 cm, inclinazione di 25° (21 dicembre)			3000		

Tab. 5.27 Parametri illuminotecnici dell'aula didattica orientata a sud-est nei casi studio 0 e 5 al 21 giugno ed al 21 dicembre



Fig.5.43 Caso studio 5: viste e illuminazione dell'aula didattica a sud-est, al 21 giugno/dicembre

Definita la schermatura solare è stata verificata la sua reale capacità di ridirezionare la radiazione solare diretta negli orari delle lezioni scolastiche mattutine al 21 giugno ed al 21 dicembre. Il sistema schermante del caso studio 5, anche in questo caso, fornisce una buona protezione alla radiazione solare diretta per l'intera durata delle lezioni mattutine e in generale per l'intero anno scolastico, richiedendo il supporto di una schermatura solare mobile nei mesi di novembre, dicembre e gennaio dalle 11:00 alle 13:00.



Fig. 5.44 Caso studio 5: illuminazione dell'aula didattica a sud-est, alle 8:00, 9:00, 11:00 e 14:00 del 21 giugno



Fig. 5.45 Caso studio 5: illuminazione dell'aula didattica a sud-est, alle 9:00, 11:00, 12:00 e 14:00 del 21 dicembre

Di seguito si riportano i risultati ottenuti in termini di riduzione del fabbisogno termico estivo e $A_{sol,est}/A_{suputile}$ riferendoli ad una generica aula didattica (la E.N.01.5) orientata a sud-est.

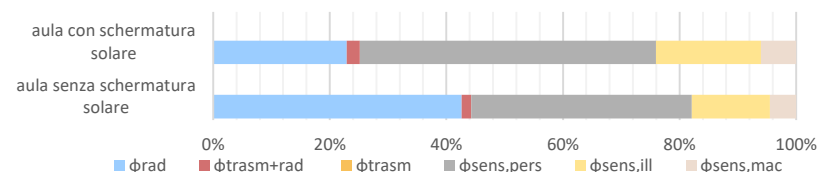


Fig. 5.46 Grafico del fabbisogno termico dell'aula didattica a sud-est con e senza schermatura solare, nel mese di giugno

Il fabbisogno termico estivo ha subito una riduzione del carico termico dovuto all'effetto della radiazione solare attraverso le strutture vetrate (ϕ_{rad}) del 60%; ottenendo complessivamente una diminuzione globale del carico termico sensibile da 4470 W a 3327 W, ovvero del 26%. Anche, il parametro $A_{sol,est}/A_{suputile}$ ha subito una riduzione del 60%, da 0,008 a 0,003.

5.6.2.4 Laboratori di informatica con affaccio a nord-ovest

Gli orari critici per la radiazione solare diretta che sono emersi dalle simulazioni al 21 giugno/dicembre ed in una condizione di cielo sereno sono i seguenti:

- al 21 giugno alle ore 19:00 con E_m di 4693 lx;



Fig. 5.47 Viste dell'alto del laboratorio di informatica orientato a nord-ovest al 21 giugno alle ore: 17:00, 19:00 e 21:00

- al 21 dicembre alle ore 12:00 con E_m di 450 lx.



Fig. 5.48 Viste dall'alto del laboratorio di informatica orientato a nord-ovest al 21 dicembre alle ore: 10:00, 12:00 e 17:00

I laboratori di informatica, situati al piano primo e secondo, necessitano di un sistema schermante solo nei mesi estivi. Si tratta di un caso simile a quello riscontrato per le aule didattiche orientate a nord-est e quindi si è proceduti alla verifica dei risultati dati dall'uso di una schermatura a lamelle verticali con profilo ovale, di lunghezza 30 cm, passo di 40 cm e inclinate di 25°.

CASI STUDIO		Em [lx]			FLDm [%]	
		Limite inferiore	Effettivo cielo coperto	Effettivo Ora critica	Limite inferiore	Effettivo
0	Assenza della schermatura solare (21 giugno)	300	811	4693	3	5,33
	Assenza della schermatura solare (21 dicembre)			450		
7	Presenza della schermatura solare: lamelle di larghezza 30 cm, interasse di 40 cm, inclinazione di 25° (21 giugno)	300	210	410	3	3,20
	Presenza della schermatura solare: lamelle di larghezza 30 cm, interasse di 40 cm, inclinazione di 25° (21 dicembre)			260		

Tab. 5.28 Parametri illuminotecnici del laboratorio di informatica orientato a nord-ovest nei casi studio 0 e 7 al 21 giugno ed al 21 dicembre

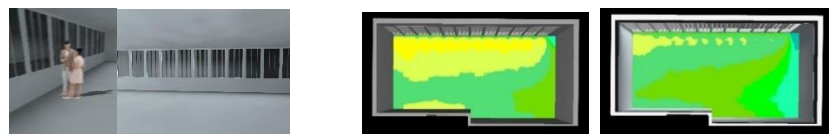


Fig. 5.49 Caso studio 7: viste e illuminamento del laboratorio di informatica orientato a nord-ovest, al 21 giugno/dicembre

Definita la schermatura solare è stata verificata la sua reale capacità di ridirezionare la radiazione solare diretta durante le ore serali del 21 giugno. A differenza dei casi precedenti, qui non è stata necessaria un'integrazione della

schermatura solare fissa con un sistema schermante mobile; tuttavia, i laboratori sono stati comunque dotati di tende avvolgibili interne al fine di rendere l'ambiente adatto per l'uso di PC e lavagne interattive multimediali.

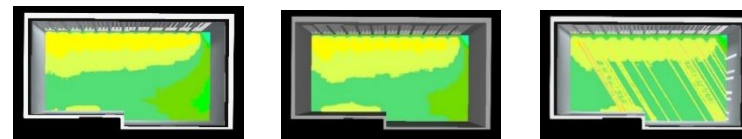


Fig. 5.50 Caso studio 7: illuminamento del laboratorio di informatica orientato a nord-ovest, alle 17:00, 19:00 e 20:00 del 21 giugno

Infine, si riportano i risultati ottenuti in termini di riduzione del fabbisogno termico estivo e $A_{sol,est}/A_{suputile}$.

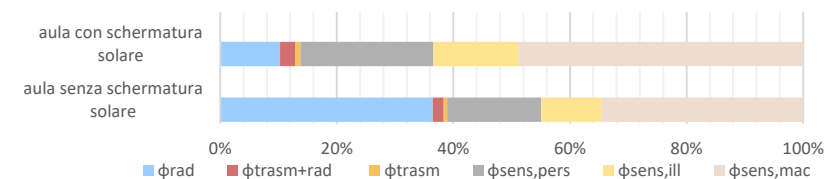


Fig. 5.51 Grafico del fabbisogno termico estivo del laboratorio di informatica orientato a nord-ovest con e senza schermatura solare, nel mese di giugno

Il fabbisogno termico estivo ha subito una riduzione del carico termico dovuto all'effetto della radiazione solare attraverso le strutture vetrate (ϕ_{rad}) del 80%; ottenendo complessivamente una diminuzione globale del carico termico sensibile da 12875 W a 9118 W, overro del 29%. Anche, il parametro $A_{sol,est}/A_{suputile}$ ha subito una riduzione del 80%, da 0,006 a 0,001.

5.6.2.5 Spazi connettivi-relazionali

Per schermare la radiazione solare diretta entrante dalle superfici vetrate delle corti interne si è optato per l'uso di listelli orizzontali, sempre in ceramica, di sezione 10x10cm e posti ad un interasse variabile, via via ridotto all'aumentare della quota altimetrica e quindi al crescere dell'esposizione delle superfici trasparenti: da 70 a 60 cm al piano primo e da 50 a 40 cm al piano secondo.

Per la chiusura trasparente a ridosso della scala principale, invece, sono state adoperate delle lamelle a sezione rettangolare, a sviluppo verticale, di dimensioni 10x80 cm e con interasse di 120 cm.

Di seguito si riportano i principali risultati, in forma tabellare e grafica, ottenuti al 21 giugno a diversi orari ed in condizione di cielo sereno.

DESTINAZIONE D'USO	Em [lx]			FLDm [%]	
	Limite inferiore	Effettivo cielo coperto	Effettivo Cielo sereno	Limite inferiore	Effettivo
Connettivo con schermatura al piano primo (21 giugno ore 9:00)	100	550	2308	2	4
Connettivo con schermatura al piano secondo (21 giugno ore 9:00)	100	524	3228	2	3,3

Tab. 5.29 Parametri illuminotecnici degli spazi connettivi al 21 giugno alle ore 9:00

DESTINAZIONE D'USO	Em [lx]			FLDm [%]	
	Limite inferiore	Effettivo cielo coperto	Effettivo Cielo sereno	Limite inferiore	Effettivo
Connettivo con schermatura al piano primo (21 giugno ore 12:00)	100	550	1245	2	4
Connettivo con schermatura al piano secondo (21 giugno ore 12:00)	100	524	905	2	3,3

Tab. 5.30 Parametri illuminotecnici degli spazi connettivi al 21 giugno alle ore 12:00

DESTINAZIONE D'USO	Em [lx]			FLDm [%]	
	Limite inferiore	Effettivo cielo coperto	Effettivo Cielo sereno	Limite inferiore	Effettivo
Connettivo con schermatura al piano primo (21 giugno ore 12:00)	100	550	3152	2	4
Connettivo con schermatura al piano secondo (21 giugno ore 12:00)	100	524	1224	2	3,3

Tab. 5.31 Parametri illuminotecnici degli spazi connettivi al 21 giugno alle ore 17:00



Fig. 5.52 Livelli di illuminamento degli spazi connettivi, al piano primo e secondo, in presenza della schermatura solare e nello scenario di cielo sereno al 21 giugno alle ore 9:00

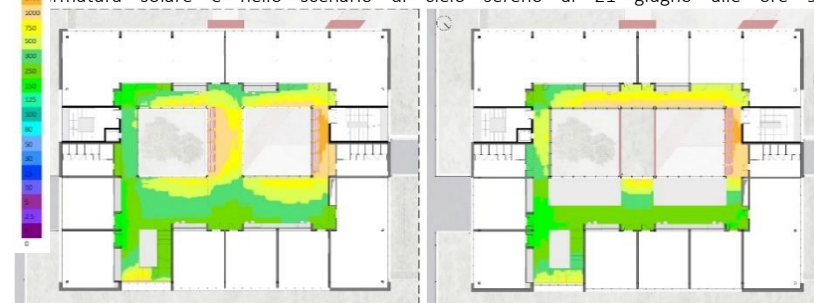


Fig. 5.53 Livelli di illuminamento degli spazi connettivi, al piano primo e secondo, in presenza della schermatura solare e nello scenario di cielo sereno al 21 giugno alle ore 12:00



Fig. 5.54 Livelli di illuminamento degli spazi connettivi, al piano primo e secondo, in presenza della schermatura solare e nello scenario di cielo sereno al 21 giugno alle ore 17:00

Dai risultati emerge la necessità di ridurre l'interasse dei listelli in ceramica al piano primo da 70-60 cm a 50-60cm. Inoltre, si è deciso di inserire dei lucernari, sul corridoio a norde-est al piano secondo e al di sopra della scala principale, sia per incrementare i livelli di uniformità d'illuminamento della luce naturale sia per dare colore e varietà agli spazi comuni-relazionali.



Fig. 5.55 Viste sulle schermature solari fisse e sui lucernari degli spazi connettivi-relazionali, dal software DIALux

Per conferire maggiore dinamicità alla schermatura a listelli si è deciso di interromperne la continuità e promuoverne uno sfalsamento, visibile nelle tavole architettoniche di progetto.

Infine, si riportano i risultati ottenuti in termini di riduzione del fabbisogno termico estivo e $A_{sol,est}/A_{suputile}$.

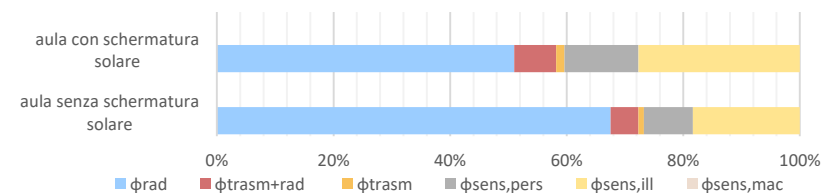


Fig. 5.56 Grafico del fabbisogno termico estivo degli spazi connettivi, al piano primo e secondo, con e senza schermatura solare, nel mese di giugno

Il fabbisogno termico estivo ha subito una riduzione del carico termico dovuto all'effetto della radiazione solare attraverso le strutture vetrate (ϕ_{rad}) del 50%; ottenendo complessivamente una diminuzione globale del carico termico sensibile da 46431 W a 30749 W, ovvero del 33%. Anche, il parametro $A_{sol,est}/A_{suputile}$ ha subito una riduzione del 50%, da 0,030 a 0,015.

5.7 Integrazione visiva delle aule con gli altri ambienti

La nuova scuola nasce da un nuovo modello di apprendimento e di funzionamento interno, dove la centralità dell'aula viene superata. L'aula diventa un luogo di appartenenza importante, ma non autosufficiente, consentendo attività in piccoli e grandi gruppi ma anche individuali, pareti scorrevoli consentono di coinvolgere spazi interclasse o di allargarsi negli spazi comuni rendendo i confini della sezione sfumati e flessibili. A tal proposito, si è deciso di integrare le aule, con gli spazi connettivi-relazionali, anche attraverso superfici trasparenti le quali assolvono un'ulteriore funzione, quella di migliorare l'uniformità dei livelli di illuminamento della luce naturale.

Di seguito alcuni esempi d'uso delle superfici trasparenti simili, a quelli previsti nella nuova scuola, e visibili nelle tavole architettoniche.

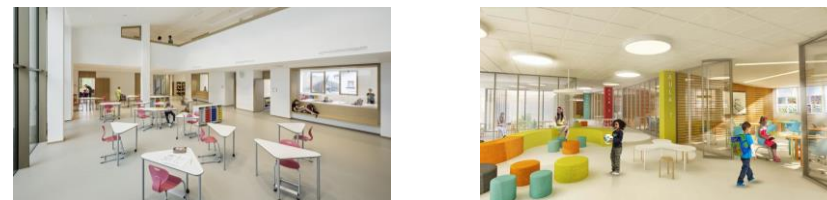


Fig. 5.57 Immagine di aule didattiche integrate visivamente con gli spazi connettivi-relazionali

5.8 Progetto illuminotecnico della luce artificiale

Oggi ha assunto una notevole importanza anche la progettazione corretta dell'illuminazione artificiale degli spazi scolastici, sia per l'influsso positivo che una luce giusta ha sulla capacità di concentrazione e sulla sensazione di benessere e sicurezza, sia per la riduzione dei consumi energetici data dai corpi illuminanti. L'esempio del risanamento generale del liceo di Sonthofen, in Germania, dimostra come lo sfruttamento intelligente della luce abbia potuto ridurre drasticamente il consumo di energia destinata all'illuminazione. In paragone alla potenza impegnata del vecchio impianto, quella attuale di 6,53 kWh/m² comporta un risparmio del 53 % di energia.



Fig. 5.58 Livello dimming dei gruppi d'illuminazione nel liceo di Sonthofen, prima e dopo la riqualificazione

Pertanto, i temi principali che devono essere affrontati, per una buona progettazione illuminotecnica, possono essere riassunti in:

- tema ecologico: tema rivolto alla progettazione di un sistema d'illuminazione formato da apparecchi efficienti e da comandi intelligenti per ridurre i consumi energetici rispettando le disposizioni legislative. L'obiettivo è sfruttare l'energia con responsabilità e gestire un intero edificio nel modo più economico possibile, anche grazie un corretto sfruttamento della luce diurna e l'efficienza del bilancio termico.

- tema ergonomico: tema rivolto a riconoscere che delle buone condizioni di luce non sono soltanto la premessa indispensabile per leggere e scrivere, ma anche per facilitare lo studio e l'apprendimento degli alunni nelle aule scolastiche. Trovare la luce giusta è una questione legata all'attività e al tipo di mansione visiva.

Anche il progetto dell'illuminazione artificiale è avvenuto attraverso l'uso del software DIALux, mediante il quale è avvenuta la scelta del tipo e del numero dei corpi illuminanti, tali da soddisfare i livelli minimi di illuminamento e di uniformità indicati nel paragrafo 5.2, e la riduzione dei consumi di energia elettrica optando per l'uso di sorgenti LED e ipotizzando l'impiego di sensori di luce che rilevino la quantità di luce naturale presente nello spazio, e attivino l'accensione della componente artificiale solo nel caso in cui i valori di illuminamento letti dal sensore non soddisfino i requisiti richiesti.

5.8.1 L'Illuminazione artificiale nelle aule didattiche

Il primo passo è stato la definizione, all'interno del software, del profilo di utilizzo dell'area di calcolo, il quale determina poi in modo automatico una serie di parametri di riferimento/limite/d'uso inerenti a: valori di illuminamento, di manutenzione, tempi di utilizzo e limiti di abbagliamento.

TIPO DI UTILIZZO	Istituti scolastici - Aule
ILLUMINAMENTO	Compito visivo $E_m = 300$ lx Area circostante $E_m = 200$ lx Zona di sfondo $E_m = 67$ lx Uniformità $E_{min}/E_m = 0,70$
LIMITAZIONE DI ABBAGLIAMENTO	Zona interna $UGR \leq 19$
TEMPI DI UTILIZZO	Fattore di assenza = 0,50
MANUTENZIONE	Indice di resa cromatica $R_a = 80$ Fattore di riduzione (area compito visivo) = 0,93 Intervallo di manutenzione = 1 anno Condizione ambientale = pulito Intervallo di manutenzione per le lampadine = 3 anni Intervallo di sostituzione delle lampadine = 1 anno

Tab. 5.32 Parametri illuminotecnici di riferimento/limite/d'uso per le aule didattiche

Successivamente è stata scelta la tipologia delle fonti di luce artificiale, per le aule didattiche, in linea alle caratteristiche precedentemente indicate, optando per delle lampade "SMARTFORM TBS415" della Philips aventi le seguenti caratteristiche: dimensioni 1497x148x80 mm, incasso a soffitto, lampadine LED, sensori integrati di luce, potenza di 38 W, flusso totale 2722 lm, CCT 6500 K e LOR 88%.



Fig. 5.59 Lampade SMARTFORM TBS415 Philips e viste disposizione tipo

Dopo aver importato il modello della lampada si imposta la disposizione automatica, la quale dà il numero necessario di corpi illuminanti minimi tali da soddisfare i requisiti. La disposizione scelta è stata quella perpendicolare alle finestre al fine di non creare un lato preferenziale per l'alloggiamento delle lavagne multimediali garantendo così la massima flessibilità di questi spazi. Una soluzione analoga per i corpi illuminanti nelle aule è visibile ad esempio nel progetto della Doren Primary School, Cukrowicz Nachbaur Architekten.



Fig. 5.60 Doren Primary School, Cukrowicz Nachbaur Architekten

Sulla base di queste considerazioni è emerso che:

- per le aule didattiche con una superficie calpestabile intorno ai 50 m² sono necessari 8 corpi luce (300 lx obiettivo – 322 lx attuali). Ottenendo una richiesta di potenza nominale complessiva di 304 W, ovvero di circa 6,1 W/m².



Fig. 5.61 Disposizione dei gruppi d'illuminazione, nelle aule didattiche di 50 m², e valori di illuminamento con i corpi illuminanti accesi e spenti, in una condizione di cielo coperto

- per le aule didattiche con una superficie calpestabile di 77,5 m² sono necessari 12 corpi luce (300 lx obiettivo – 318 lx attuali). Ottenendo una richiesta di potenza nominale complessiva di 456 W, ovvero di circa 5,9 W/m².



Fig. 5.62 Disposizione dei gruppi d'illuminazione, nelle aule didattiche di 77,5 m², e valori di illuminamento con i corpi illuminanti accesi e spenti, in una condizione di cielo coperto

5.8.2 L'Illuminazione artificiale nei laboratori di informatica

I laboratori di informatica-multimediali, situati al piano primo e secondo, hanno richiesto gli stessi valori numerici dei parametri di riferimento/limite/d'uso, inerenti a valori di illuminamento, di manutenzione, tempi di utilizzo e limiti di abbagliamento, visti nel caso delle aule scolastiche. I gruppi d'illuminazione sono dello stesso tipo e modello usati per le aule e nello specifico i laboratori, con una superficie di 111 m², richiedono l'installazione di 18 corpi luce (300 lx obiettivo – 330 lx attuali), ottenendo una richiesta di potenza nominale complessiva di 684 W, ovvero di circa 6,2 W/m².

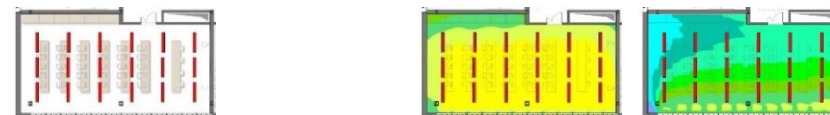


Fig. 5.63 Disposizione dei gruppi d'illuminazione, nei laboratori di informatica, e valori di illuminamento con i corpi illuminanti accesi e spenti, in una condizione di cielo coperto

5.8.3 L'Illuminazione artificiale negli spazi connettivi

Gli spazi connettivi-relazionali, situati al piano primo e secondo, hanno dei parametri di riferimento/limite/d'uso inferiori a quelli dei locali destinati alle attività di insegnamento e sono riportati in dettaglio nella tabella sottostante.

TIPO DI UTILIZZO	Istituti scolastici – Zone di transito
ILLUMINAMENTO	Compito visivo $E_m = 100$ lx Area circostante $E_m = 100$ lx Zona di sfondo $E_m = 33$ lx Uniformità $E_{min}/E_m = 0,40$
LIMITAZIONE DI ABBAGLIAMENTO	Zona interna $UGR \leq 22$
TEMPI DI UTILIZZO	Fattore di assenza = 0,50
MANUTENZIONE	Indice di resa cromatica $R_a = 80$ Fattore di riduzione (area compito visivo) = 0,93 Intervallo di manutenzione = 1 anno Condizione ambientale = pulito Intervallo di manutenzione per le lampadine = 3 anni Intervallo di sostituzione delle lampadine = 1 anno

Tab. 5.33 Parametri illuminotecnici di riferimento/limite/d'uso per gli spazi connettivi

Utilizzando lo stesso tipo e modello di corpo illuminante, adoperato nei casi di studio precedenti, gli spazi connettivi richiedono:

- al piano primo l'installazione di 32 corpi luce (100 lx obiettivo – 150 lx attuali), ottenendo una richiesta di potenza nominale complessiva di 1216 W, ovvero di circa 3,1 W/m²;

- al piano secondo l'installazione di 28 corpi luce (100 lx obiettivo – 150 lx attuali), ottenendo una richiesta di potenza nominale complessiva di 1064 W, ovvero di circa 3,1 W/m².

5.8.4 L'illuminazione artificiale negli altri locali/spazi scolastici

Applicando la stessa procedura di calcolo anche per i rimanenti locali/spazi didattici, situati al piano terreno, è emerso il numero e la potenza dei gruppi d'illuminazione indicati sinteticamente nella tabella seguente.

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	Em limite [lx]	N° corpi luce	Potenza nominale totale [W]	Potenza nominale [W/m ²]
E.N.08.1	Ufficio associazione	200	4	152	4,6
E.N.02.1	Laboratorio didattico	300	20	760	5,6
E.N.05.1	Agorà interna	200	32	1216	3,8
E.N.04.1	Spazio comune	100	4	152	2,8
E.N.04.2	Ufficio	200	2	76	4,4
E.N.04.3	Spazio amministrativo	200	8	304	4,6
E.N.04.4	Sala insegnanti	200	8	304	4,6

Tab. 5.34 Numero e potenza nominale totale dei gruppi d'illuminazione dei locali principali situati al piano terreno

5.9 Indice prestazionale relativo al fabbisogno per illuminazione

All'interno degli edifici scolastici, il fabbisogno energetico necessario per illuminare gli ambienti può raggiungere valori significativamente elevati e merita quindi uno studio approfondito. Questo tema è stato introdotto per la prima volta nella Direttiva Europea 2002/91 in cui viene evidenziata la necessità di ridurre i consumi energetici per illuminare. In particolare, nel

recepimento della Direttiva in Italia con il D.M. 26/06/2009 "Linee guida nazionali per la certificazione energetica" viene definito l'indice di prestazione energetica globale EP_{gl} che esprime per unità di superficie utile o volume lordo l'energia primaria complessivamente impiegata per assolvere le esigenze di riscaldamento, di refrigerazione, di produzione di acqua calda e di illuminazione artificiale.

$$EP_{gl} = EP_i + EP_{acs} + E_{pe} + EP_{ill}$$

Mentre i termini legati alla climatizzazione e alla produzione di acqua calda sanitaria sono stati trattati nel corso degli anni in varie normative, il termine legato all'illuminazione è stato praticamente ignorato. Finalmente con la pubblicazione della UNI EN 15193:2008 si è arrivati ad una procedura per determinare il LENI (Light Energy Numeric Indicator) ossia un indice che esprime il fabbisogno energetico per la sola illuminazione artificiale per unità di superficie utile su base annua. Tale indice quindi rappresenta un misuratore della prestazione dell'impianto d'illuminazione.

Tuttavia il LENI non equivale all'EP_{ill} in quanto il primo esprime l'energia elettrica assorbita per unità di superficie utile, il secondo quantifica l'energia primaria per unità di volume lordo: bisognerebbe dunque effettuare una conversione da energia elettrica a primaria e da unità di superficie a volumetrica; questa seconda operazione potrebbe risultare concettualmente poco corretta o poco significativa: se infatti ha senso riferirsi al volume dell'edificio per definire la prestazione di un impianto di climatizzazione (in quanto effettivamente si considera un volume riscaldato/raffrescato), nella progettazione illuminotecnica si opera sostanzialmente su una superficie (individuata dal compito visivo). Risulta dunque più appropriato comparare le prestazioni di un impianto di illuminazione sulla base dell'articolazione planimetrica degli ambienti, così come previsto dal LENI.

In Lombardia il calcolo del fabbisogno per illuminazione, introdotto all'interno del Decreto Regionale 5796 dell'11/06/2009, segue la stessa metodologia di calcolo definita dalla UNI EN 15193.

5.9.1 Calcolo del Light Energy Numeric Indicator nei principali locali scolastici

L'indice LENI è calcolabile come:

$$\text{LENI} = \{(P_N \times F_c) \times [(t_D \times F_O \times F_D) + (t_N \times F_O)]\} / A \times 1000 \quad [\text{kWh/m}^2\text{a}]$$

dove: A è la superficie utile dell'edificio (o dell'ambiente) in esame, esclusi gli spazi non illuminati [m²]; mentre il significato delle altre variabili e le relative unità di misura sono precisati nella tabella sottostante.

SIMBOLO	UNITÀ DI MISURA	SIGNIFICATO
P _N	W	Total installed lighting power: potenza elettrica complessivamente installata per l'illuminazione dell'edificio (o dell'ambiente) in esame
t _D	h	Daylight time usage: tempo di accensione del sistema di illuminazione durante le ore diurne nel periodo di calcolo considerato
t _N	h	Non-daylight time usage: tempo di accensione del sistema di illuminazione durante le ore serali e notturne nel periodo di calcolo considerato
F _C	-	Constant illuminance factor: coefficiente di correzione per valutare l'effetto della presenza di eventuali sistemi di controllo per mantenere livelli di illuminamento costanti nel tempo (sistemi CTE)
F _O	-	Occupancy dependance factor: coefficiente di correzione per valutare l'effetto della presenza di persone all'interno dell'edificio (o dell'ambiente) in esame
F _D	-	Daylight dependance factor: coefficiente di correzione per valutare il contributo dell'illuminazione naturale nell'edificio (o nell'ambiente) in esame

Tab. 5.35 Significato dei parametri introdotti nella relazione del LENI

Queste variabili, che determinano il valore del LENI dipendono a loro volta da vari fattori. Tra questi troviamo il parametro Fa (fattore d'assenza) che identifica la frazione del periodo di utilizzo dell'impianto per la quale la zona o l'ambiente è senza occupanti. La norma classifica gli edifici in varie categorie all'interno delle quali troviamo specifiche tipologie di locali. Per ogni tipo di locale viene definito un valore di Fa compreso tra 0 ed 1: più alta è la probabilità che il locale sia sempre presidiato dagli utilizzatori più il valore di Fa tende a 0. Questo parametro fornisce informazioni utili a capire se e dove utilizzare apparecchi energeticamente performanti (ad esempio LED) e/o sistemi di controllo. Di seguito si riporta una tabella, inerente agli edifici ad uso

scolastico, nella quale si riportano i valori di Fa ed i contributi, significativi o non, dati dall'eventuale utilizzo di componenti integrativi dell'impianto quali: MD (Motion Detection) sistema di gestione automatica dell'accensione e dello spegnimento in base alla presenza di persone, DLR (DayLight Regulation) sistema di gestione costante del flusso luminoso in base al contributo di luce naturale, e LED ovvero l'uso di apparecchi performanti in efficienza energetica.

TIPOLOGIA DI AREA	Fa	MD	DLR	LED
Aula didattica	0,25	Basso apporto al risparmio energetico	Buon apporto al risparmio energetico	Ottimo apporto al risparmio energetico
Laboratori/Uffici	0,30	Basso apporto al risparmio energetico	Buon apporto al risparmio energetico	Ottimo apporto al risparmio energetico
Sala insegnanti	0,40	Buon apporto al risparmio energetico	Buon apporto al risparmio energetico	Ottimo apporto al risparmio energetico

Tab. 5.36 Valori di Fa e contributi dei sistemi di controllo, dell'impianto di illuminazione artificiale, nei principali locali scolastici

Dall'ultima tabella si evince la correttezza dell'ipotesi iniziale sull'utilizzo di sensori luce e di sorgenti LED per raggiungere un buon risparmio energetico.

La valutazione dell'indice LENI è avvenuta attraverso l'uso di uno strumento software, TCOlight, e di seguito si riportano i valori attribuiti ai principali parametri di calcolo ed i risultati ottenuti.

SIMBOLO	UNITÀ DI MISURA	VALORE
t _D	h	1800
t _N	h	200
F _C	-	0,9
F _O	-	1
F _D	-	0,55

Tab. 5.37 Valore dei parametri introdotti nella relazione del LENI

TIPOLOGIA DI AREA	LENI	Energia consumata annualmente
Aula didattica di area ≈ 50 m ²	6,5 kWh/m ² a	325 kWh
Aula didattica di area 77,5 m ²	6,3 kWh/m ² a	488,3 kWh
Laboratorio di informatica di area 111 m ²	6,6 kWh/m ² a	732,6 kWh

Tab. 5.38 LENI e l'energia consumata annualmente per l'illuminazione artificiale nei principali locali al piano primo e secondo

I risultati sono buoni e si stima approssimativamente un consumo annuo massimo di energia elettrica consumata per l'illuminazione artificiale nell'intero edificio di 19500 kWh.

5.10 Conclusioni

In questo capitolo si è giunti alla conclusione della progettazione illuminotecnica attraverso un modello di analisi e valutazione che tiene conto di una molteplicità di fattori: fabbisogno termico invernale ed estivo, indicatori di involucro per edifici nZEB (H'_T e $A_{solest}/A_{suputile}$) e del comfort termico (temperatura operante), parametri illuminotecnici (illuminamento, FLDm, UGR, uniformità) e indice prestazionale al fabbisogno per illuminazione artificiale. L'intento di questo modello è stato anche quello di renderlo utilizzabile e applicabile su un generico progetto e lasciarlo liberamente implementabile con ulteriori indicatori, quali ad esempio: costi, tempi di ritorno dell'investimento iniziale, facilità di manutenzione ecc.

Di seguito si riportano in modo sintetico i risultati ottenuti in termini di miglioramento, per ciascun parametro, rispetto a quelli riportati inizialmente dall'edificio di riferimento.

5.10.1 Fabbisogno termico invernale e H'_T

Il fabbisogno termico invernale ha subito una riduzione totale del 25%, passando da 98840 W a 73940 W.

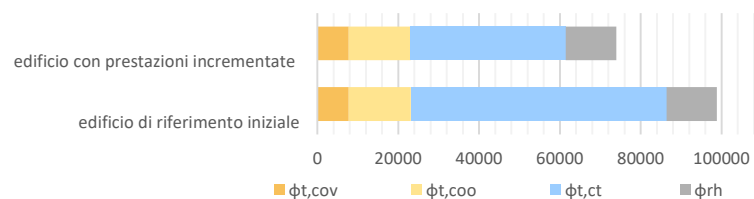


Fig. 5.64 Grafico del fabbisogno termico invernale dell'edificio di riferimento e dell'edificio con prestazioni incrementate

La verifica del parametro H'_T per edifici nZEB risulta essere soddisfatta.

$$H'_T = 0,40 < H'_T \text{ edificio di riferimento } = 0,55 \quad \text{VERIFICATO}$$

5.10.2 Fabbisogno termico estivo e $A_{sol,est}/A_{suputile}$

Il carico termico estivo sensibile ha subito una riduzione totale del 32%, passando da 250620 W a 171104 W.

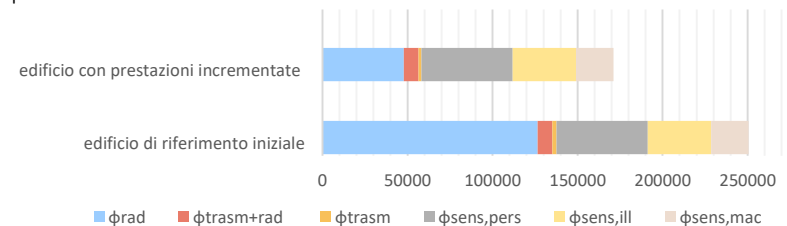


Fig. 5.65 Grafico del fabbisogno termico estivo dell'edificio di riferimento e dell'edificio con prestazioni incrementate

La verifica del $A_{sol,est}/A_{suputile}$ per edifici nZEB, inizialmente non verificata, ora risulta essere soddisfatta con un miglioramento percentuale del 55%.

$$(A_{sol,est} / A_{suputile}) = 0,030 < 0,044 \text{ m}^2 \quad \text{VERIFICATO}$$

5.10.3 Temperatura operante in free floating

Dallo studio in regime dinamico del comportamento dell'edificio, in una condizione di free floating, si riporta l'andamento delle temperature operanti, al piano primo e secondo, con l'obiettivo di valutare il contributo sul comfort termico percepito dato dal progetto dei sistemi schermanti fissi.

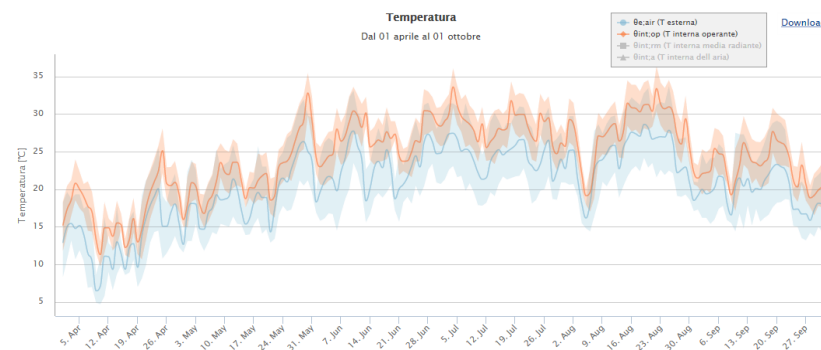


Fig.5.66 Grafico della temperatura esterna e della temperatura operante, al piano primo e secondo dell'edificio con prestazioni incrementate, nei mesi estivi, ottenuto con TERMOLOG

Per facilitare la lettura ed il confronto con i risultati iniziali dati dall'edificio di riferimento si raccolgono le temperature in range, considerando un range ottimale per le To compreso tra i 20°C e i 26°C.

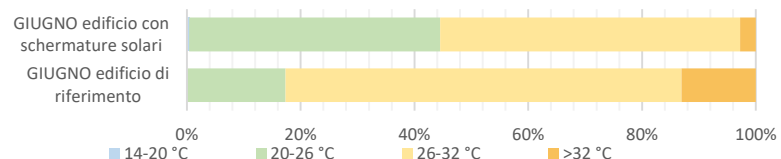


Fig. 5.67 Sintetizzazione dei risultati ottenuti sulle temperature operanti al piano primo e secondo, nell'edificio con prestazioni incrementate e nell'edificio di riferimento

L'aggiunta di schermature solari fisse ha aumentato le ore con una temperatura operante all'interno del range di comfort dal 17% al 44% sulle ore totali nel mese di giugno.

5.10.4 Indicatori illuminotecnici

Tutti gli indicatori illuminotecnici, della luce naturale e artificiale, sono stati soddisfatti rispetto ai valori numerici fissati dall'attuale normativa vigente e indicati nel paragrafo 5.2. Rispetto al caso iniziale si sottolinea che il progetto e l'inserimento di sistemi schermanti fissi ha portato a molteplici benefici, permettendo agli spazi di sfruttare al meglio l'illuminazione naturale senza avere problemi dati dall'irradiazione solare diretta entrante negli ambienti, soprattutto durante gli orari delle lezioni mattutine. Inoltre, le schermature solari a lamelle hanno portato ad un generale miglioramento dell'uniformità sui livelli di illuminamento eliminando eventuali rischi di abbagliamento, oltre alla riduzione del carico termico estivo e un generale miglioramento sul comfort termico percepito. Per maggiori informazioni sui valori numerici si rimanda ai paragrafi precedenti, specifici per ogni local/spazio scolastico.

6 PROGETTO TECNOLOGICO

In questo capitolo si proporrà una metodologia di analisi preliminare ai fini della definizione delle soluzioni tecnologiche costruttive d'involucro opaco della nuova scuola I.I.S Floriani. L'analisi inizierà con la definizione dei requisiti prestazionali minimi, previsti dall'attuale normativa vigente, e quelli per edifici nZEB, per poi giungere al confronto di diverse soluzioni tecnologiche in legno ed alla progettazione, dopo la disarticolazione tecnologica, di tutti i pacchetti costruttivi previsti nell'edificio di nuova costruzione. Infine, si discuteranno i risultati ottenuti anche in termini di fabbisogno termico invernale ed estivo, sempre in una logica di progettazione integrata, e si approfondirà il tema dell'acustica nelle aule scolastiche con le opportune verifiche, al fine di garantire nei nuovi locali/ambienti didattici non solo un adeguato livello di illuminamento ma anche un adeguato livello di comfort acustico.

- 6.1 Premessa
- 6.2 Parametri e caratteristiche prestazionali dell'involucro opaco
- 6.3 Parametri prestazionali dell'involucro per edifici nZEB
- 6.4 Il legno nell'edilizia scolastica
- 6.5 Soluzioni costruttive in legno
- 6.6 Studio delle soluzioni tecnologiche
- 6.7 Studio delle soluzioni di posa dei pannelli XLam
- 6.8 Disarticolazione tecnologica e altre stratigrafie
- 6.9 L'acustica nelle aule scolastiche

6.1 Premessa

La definizione del progetto architettonico porta alla conoscenza delle esigenze che i nuovi spazi didattici e non devono essere in grado di soddisfare. Tra queste, il comfort termico è quella che, più di tutte, sta accrescendo la sua importanza negli ultimi anni. Il primo passo da fare in questa direzione è il progetto dell'involucro edilizio che, se efficiente, consente di ottenere all'interno un "habitat" ideale, oltre a richiedere un quantitativo di energia minore, limitando le emissioni di anidride carbonica in ambiente, oltre a un risparmio economico non trascurabile. A tal proposito, il progetto tecnologico è stato articolato nelle seguenti fasi:

- una prima fase volta alla definizione dei parametri e delle caratteristiche prestazionali minime e ottimali dell'involucro edilizio;
- una seconda fase dedicata alla scelta della tecnologia costruttiva delle chiusure e alla loro costruzione, che è stata guidata, inizialmente, dai dati (di fabbisogno termico invernale/estivo) ottenuti dalle analisi condotte sull'edificio di riferimento, già precedentemente introdotto ed utilizzato nella progettazione delle superfici trasparenti e delle schermature solari;
- un'ultima fase inerente alla discussione e alla valutazione dei risultati conseguiti.

6.2 Parametri e caratteristiche prestazionali dell'involucro opaco

In generale i parametri prestazionali di un involucro edilizio sono raggruppabili in due categorie di indicatori in relazione alle esigenze controllate: parametri di trasmissione termica e parametri di trasmissione solare. In questo capitolo si approfondirà solo la categoria relativa ai parametri di trasmissione termica, cioè dovuti ad una differenza di temperatura dell'aria tra esterno ed interno, inerenti alle chiusure opache. Nella tabella sottostante sono riportati i suoi principali indicatori, nonché le relative esigenze soddisfatte e la presenza o meno di valori minimi o massimi previsti dall'attuale normativa vigente.

ESIGENZE	INDICATORI	COMPONENTI INTERESSATI	VALORI LIMITE ESISTENTI
Controllo del flusso di calore per trasmissione (dovuto cioè ad una differenza di temperatura tra interno ed esterno)	Trasmittanza	Opaco + trasparente	X
	Sfasamento dell'onda termica	Opaco	
	Attenuazione dell'onda termica	Opaco	
	Trasmittanza termica periodica	Opaco	X
Controllo del flusso di calore dovuto ai carichi interni	Capacità termica areica interna periodica	Opaco	

Tab. 6.1 Parametri di trasmissione termica

6.2.1 Trasmittanza termica

La trasmittanza è definita, secondo la UNI EN ISO 6946, come il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad 1°C ed è legata alle caratteristiche del materiale che costituisce la struttura e alle condizioni di scambio termico liminare. I valori limite di U_k vengono riportati dal DDUO 2456/17 in funzione della zona climatica in cui si attua l'intervento di nuova costruzione o in generale di riqualificazione energetica. Il progetto studio di nuova costruzione essendo sito nel territorio vimercatese ricade all'interno della zona climatica E (assegnatasi con il D.P.R. n° 412 26/08/1993 e successivi aggiornamenti) con le sottostanti soglie limite.

ZONA CLIAMTICA (secondo il DPR n.412/93): E	
ELEMENTO TECNICO	U [W/m²K]
Strutture opache verticali	0,26
Strutture opache orizzontali o inclinate di copertura	0,22
Strutture opache orizzontali di pavimento	0,26
Chiusure tecniche trasparenti	1,40

Tab. 6.2 Valori limite della trasmittanza termica

Per la metodologia di calcolo, adottata ai fini della stima dei valori di trasmittanza termica delle stratigrafie di involucro, si rimanda a quanto descritto nella UNI EN ISO 6946.

6.2.2 Trasmittanza termica periodica e capacità areica interna periodica

La trasmittanza termica periodica è il parametro che valuta la capacità di una chiusura opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore. Per questo indicatore il DM 26/6/2015, sull'adeguamento delle linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici, indica i seguenti valori limite.

ELEMENTO TECNICO	Y_{ie} [W/m ² K]
Strutture opache verticali, con l'eccezione di quelle comprese nel quadrante Nord - Ovest, Nord e Nord-Est	$Y_{ie} \leq 0,10$
Strutture opache orizzontali o inclinate di copertura	$Y_{ie} \leq 0,18$

Tab. 6.3 Valori limite della trasmittanza termica periodica

Tuttavia, il solo controllo sulla Y_{ie} non è sufficiente a garantire un adeguato livello di comfort. Infatti, dovrebbe essere essenziale anche la verifica sulla capacità termica areica periodica (capacità di una parete di accumulare calore che arriva dall'interno) anche se l'attuale normativa non ha ancora esplicitato delle opportune verifiche in merito. Pertanto, faremo riferimento ai risultati, ottenuti dallo studio sperimentale di monitoraggio e di analisi parametrica di un caso studio realizzato dal dipartimento energetica e quello di architettura costruzioni e strutture della Università Politecnica delle Marche, relativi alla definizione di coppie di valori Y_{ie} - C_{ip} tali da garantire analoghe risposte ottimali di comfort nel periodo estivo e nelle stagioni intermedie.

TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA [W/m ² K]	CAPACITÀ TERMICA AREICA INTERNA PERIODICA [kJ/m ² K]
$Y_{ie} \leq 0,04$	$C_{ip} \geq 50$
$0,04 < Y_{ie} \leq 0,08$	$C_{ip} \geq 70$
$0,08 < Y_{ie} \leq 0,12$	$C_{ip} \geq 90$

Tab. 6.4 Coppie di valori Y_{ie} – C_{ip} con analoghe risposte di comfort abitativo in fase estiva

Per la metodologia di calcolo si rimanda a quanto riportato nella norma tecnica nazionale UNI EN ISO 13786.

6.2.3 Sfasamento e attenuazione dell'onda termica

Lo sfasamento dell'onda termica indica la capacità di accumulare il calore e rilasciarlo dopo un certo numero di ore; mentre l'attenuazione dell'onda termica è la capacità di attenuare le oscillazioni della temperatura ambiente dovuta ai carichi termici interni ed esterni variabili durante l'arco della giornata. Per entrambi i parametri il DM 26/6/2015 non prevede alcuna verifica mentre il D.M. 26/06/2009, sulle linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici, riporta coppie di valori ϕ – fa a cui associa determinate classi prestazionali dell'involucro, da "ottima" a "mediocre".

QUALITÀ PRESTAZIONALE	PRESTAZIONI	COEFFICIENTE DI ATTENUAZIONE, fa	RITARDO TEMPORALE, ϕ [ore]
I	Ottime	$fa < 0,15$	$\Phi > 12$
II	Buone	$0,15 \leq fa < 0,30$	$12 \geq \Phi > 10$
III	Medie	$0,30 \leq fa < 0,40$	$10 \geq \Phi > 8$
IV	Sufficienti	$0,40 \leq fa < 0,60$	$8 \geq \Phi > 6$
V	Mediocri	$fa > 0,60$	$6 \leq \Phi$

Tab. 6.5 Classi di qualità prestazionale in funzione di sfasamento e attenuazione

Ciò nonostante, si è dimostrato che il fissare il solo parametro di trasmittanza termica periodica ad un valore basso ($Y_{ie} = 0,10$ W/m²K) è di per sé sufficiente a ridurre al massimo l'ingresso dei carichi termici dall'esterno, senza dover imporre anche ulteriori condizioni su sfasamento e fattore di attenuazione. Di conseguenza, nella costruzione delle stratigrafie di involucro, si agirà sui soli parametri U_k e $Y_{ie} - C_{ip}$, e solo a posteriori verrà effettuato un controllo sulla qualità prestazione data dalle coppie di valori ϕ – fa .

Ai parametri prestazionali, fino a qui elencati, sono stati affiancati anche quelli relativi alla verifica di appartenenza di un edificio alla tipologia nZEB.

6.3 Parametri prestazionali dell'involucro per edifici nZEB

Dal 1° gennaio 2016 in Lombardia tutti gli edifici di nuova costruzione o oggetto di ristrutturazione, pubblici o privati, devono essere edifici ad energia quasi zero, ovvero devono rispettare i requisiti di prestazione energetica previsti per gli edifici nZEB ai quali è richiesta una particolare qualità energetica. Ciò fa sì che fin dalle prime fase progettuali si debba affrontare anche il tema nZEB approfondendo ancora di più l'utilizzo di tecnologie particolarmente efficienti e l'integrazione delle rinnovabili.

Il recepimento in Italia della direttiva europea 31/2010/UE con il DL 63/2013 poi tramutato in Legge 90, definisce l'edificio ad energia quasi zero come:

"[...] edificio ad altissima prestazione energetica, calcolata conformemente alle disposizioni del presente decreto [...] Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta all'interno del confine del sistema (in situ)"

Le verifiche, per edifici nZEB, sono indicate nel Decreto 26/6/2015, "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prestazioni e dei requisiti minimi degli edifici" (detto anche Decreto "Requisiti minimi"), riprese dal Decreto 6480 in regione Lombardia e riassumibili nello schema sottostante.

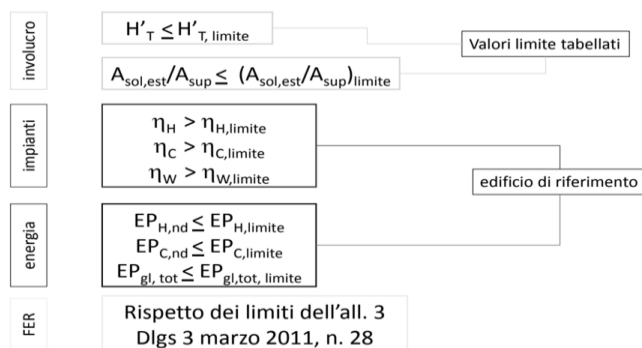


Fig. 6.1 Requisiti nZEB per edifici di nuova costruzione

In questo capitolo ci si limiterà alla sola verifica dei requisiti nZEB relativi all'involucro edilizio e qui di seguito elencati.

6.3.1 Assenza di condensazioni

Il Decreto prevede di verificare l'assenza di formazione di muffe, nonché l'assenza di condensazioni interstiziali e superficiali. Si precisa che la condensa interstiziale si verifica all'interno della parete quando si creano condizioni di temperatura e pressione tali da raggiungere le condizioni di rugiada; mentre la condensa superficiale interessa la superficie della parete verso l'ambiente interno ed è causata dal raggiungimento di elevati valori di umidità relativa dell'aria interna. Le condizioni interne (temperatura ed umidità), nelle verifiche riportate in questo capitolo, sono state calcolate secondo il metodo delle classi di concentrazioni contenuto nella norma UNI 13788. Inoltre, si è verificata la non intersezione tra la curva delle pressioni di saturazione e quella delle pressioni parziali.

6.3.2 Trasmittanza delle strutture verso locali non climatizzati

Il Decreto prevede che le strutture (pareti o solai) che delimitano ambienti non dotati di impianto di climatizzazione (ma adiacenti ad ambienti climatizzati) verso l'esterno devono avere una trasmittanza termica non superiore a 0,8 W/m²K.

6.3.3 Parametro H'_T dell'intero edificio

Il Decreto richiede di contenere le dispersioni globali dell'edificio valutando il parametro H'_T che rappresenta lo scambio termico medio dell'edificio ed è ottenuto dal rapporto tra la somma di tutti gli scambi termici verso esterno, terreno, zone non climatizzate e la superficie disperdente dell'edificio, secondo la seguente formula:

$$H'_T = H_{tr,adj} / \sum A_k \quad [W/m^2K]$$

dove: A_k è la superficie lorda [m²] del k-esimo componente (opaco o trasparente) costituente l'involucro, al netto dei serramenti e al lordo dei ponti termici. L'area lorda viene considerata: per gli elementi verticali, confinanti con

l'ambiente esterno/terreno/ambiente non riscaldato, comprensiva dell'intero spessore del solaio; mentre per gli elementi orizzontali, confinanti con l'ambiente esterno/ambiente non riscaldato, comprensiva dell'intero spessore della muratura e fino alla mezzera se quest'ultima è confinante con un'altra zona termica. $H_{tr,adj}$ è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione dell'involucro calcolato secondo la UNI TS 11300-1 come:

$$H_{tr,adj} = H_d + H_g + H_u + H_a \quad [W/K]$$

dove i quattro addendi rappresentano i coefficienti di scambio termico rispettivamente verso l'ambiente esterno, verso il terreno, verso ambienti non riscaldati e verso ambienti climatizzati a temperature diverse.

Si deduce che il parametro H'_{τ} punta l'attenzione sul contenimento dello scambio termico ovvero sulla risposta dell'edificio alla fuoriuscita di calore durante il periodo di riscaldamento. Il valore di questo parametro deve essere inferiore al massimo ammissibile in funzione di zona climatica e rapporto S/V.

EDIFICIO DI NUOVA COSTRUZIONE – RAPPORTO DI FOMA (S/V)	ZONA CLIMATICA E
$S/V \geq 0,7$	0,50
$0,7 > S/V \geq 0,4$	0,55
$0,4 > S/V$	0,75

Tab. 6.6 Valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico H'_{τ}

Nel nostro caso progettuale si ha un rapporto $S/V < 0,4$ facendo sì che il valore limite superiore di H'_{τ} sia di $0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$. Si ricorda, che questo indicatore (H'_{τ}) risulta essere già verificato anche prima di intervenire sul miglioramento dei valori delle trasmittanze termiche d'involucro, come è emerso nel paragrafo 5.10 del capitolo sul progetto illuminotecnico.

6.3.4 Parametro $A_{sol\ est}/A_{sup\ utile}$

Analogamente anche questo parametro è stato ampiamente discusso e verificato nel capitolo precedente, ed essendo inoltre inerente alle superfici trasparenti, sarà trascurato nella trattazione seguente.

6.3.5 Verifica dei ponti termici

Il Decreto prevede la verifica dei ponti termici attraverso il calcolo della trasmittanza lineica e la verifica della non formazione di muffe in corrispondenza del ponte termico con riferimento alla norma UNI 13788. Questa analisi è avvenuta mediante l'uso del software TERMOLOG - modulo PONTI TERMICI FEM, il quale utilizza un solutore ad elementi finiti in grado di mostrare anche la distribuzione delle temperature interne, con riferimento alla norma UNI EN ISO 10211:2008.

6.4 Il legno nell'edilizia scolastica

Guardandosi in giro in Germania, Francia, Inghilterra o Austria, ci si accorge che il legno è considerato un'opzione appropriata nella scelta dei materiali da costruzione nel campo dell'edilizia scolastica. E se si domanda ad architetti e committenti perché hanno scelto il legno come materiale da costruzione o finitura, si ricevono le stesse tre motivazioni, così scrive l'architetto viennese Gabu Heindl in un testo sulla gestione degli edifici scolastici esistenti. La prima è che il legno è una materia ecologica. La seconda è che l'utilizzo del legno permette un elevato grado di prefabbricazione e consente di edificare in tempi rapidi e all'asciutto. L'ultima è che il legno attrae per le sue qualità sensoriali e per la capacità di creare atmosfera. Inoltre, lo stesso Renzo Piano aveva affermato, in occasione dei dibattiti sulla riqualificazione del patrimonio scolastico italiano, che ogni scuola deve essere un presidio di sostenibilità e che la scelta ideale è il legno in quanto bello, sicuro e antisismico.



Fig. 6.2 AAVP, complesso Casarès-Doisneau, Saint-Denis



Fig. 6.3 Schneider & Lengauer, Scuola Robinson, Linz



Fig. 6.4 Hayhurst & Co., Pegasus Academy Trust, Croydon

Questa realtà delle scuole in legno non è solo ampiamente condivisa in molti paesi del nord Europa, ma sta prendendo sempre più piede anche in Italia, a partire dalla ricostruzione post-sisma in Emilia e in Abruzzo.



Fig. 6.5 Mario Cucinella Architects, asilo nido d'infanzia, Guastalla

Infatti, ad oggi sono visibili molteplici progetti di edilizia scolastica realizzati mediante l'uso del legno anche grazie al contesto di ampio rinnovo sugli edifici scolastici promosso dal Miur e dall'Istituto Nazionale Indire.



Fig. 6.6 Paolo Milani e studio OPPS, scuola d'infanzia, Savogna d'Isonzo



Fig. 6.7 Vitre Studio srl, scuola primaria, Parma



Fig. 6.8 ATlproject, scuola elementare e scuola media, Milano

Pertanto, a seguito di queste considerazioni si è deciso di sperimentare l'uso del legno nel progetto di nuova costruzione della scuola I.I.S Floriani. Il primo passo è stato la conoscenza delle tecniche costruttive in legno attualmente diffuse/utilizzate e la scelta di quella più idonea per il caso progettuale in esame, sulla base dei parametri prestazionali precedentemente individuati.

6.5 Soluzioni costruttive in legno

Nella letteratura tecnica si incontrano diversi modi di suddividere i vari tipi di costruzioni in legno. Attualmente il mercato delle costruzioni in legno si divide tra sistema costruttivo leggero definito a "telaio" e sistemi costruttivi massicci a pannello XLam. Le due famiglie coprono circa il 90% del costruito in legno.

6.5.1 Cross laminated timber panel

I pannelli XLam, in inglese cross laminated timber panel, sono pannelli di legno massiccio a strati incrociati, composti da più strati di lamelle (o tavole), sovrapposti e incollati uno sull'altro in modo che la fibratura di ogni singolo strato sia ruotata nel piano di 90° rispetto agli strati adiacenti. I singoli strati sono realizzati generalmente in tavole di legno di conifera, essiccate e selezionate, come avviene per la maggior parte degli elementi lignei di carpenteria e di ossatura portante. I singoli strati sono composti da tavole di

spessore variabile compreso fra 15 e 40 mm. La larghezza delle tavole oscilla fra gli 80 ed i 240 mm.

Le tavole possono essere fissate tramite incollaggio o chiodatura o collegate con perni. Attualmente per diminuire la presenza di agenti inquinanti nell'aria all'interno degli edifici si utilizzano adesivi poliuretanici. Nel caso in cui la giunzione delle tavole sia fatta con chiodi, questi ultimi sono in alluminio per evitare la rottura delle seghe durante la fase di taglio del pannello.

Le dimensioni massime dei pannelli XLam più diffusi vedono 3 m d'altezza, mentre la lunghezza può raggiungere i 16 m e lo spessore varia da 5 a 50 cm. È evidente che la lunghezza è in funzione delle modalità di trasporto, mentre lo spessore sarà relazionato alle prestazioni di resistenza richieste. Entro questi limiti, le dimensioni del singolo pannello possono variare, comunque, in modo notevole.

Le variazioni attendibili delle dimensioni di un pannello XLam, nel suo piano, sono dell'ordine dello 0,1% cioè meno di 1 mm per ogni metro lineare. Per questo motivo si può affermare che i pannelli hanno un comportamento ad elemento di piastra con rigidità flessionale nelle due direzioni del suo piano. Il comportamento scatolare di un edificio in XLam è garantito dalla giunzione tra i pannelli e tra questi e la fondazione attraverso ancoraggi certificati.

6.5.2 Pannelli intelaiati

Nel sistema a pannelli intelaiati, il setto portante è costituito da un telaio leggero fatto di segati, rivestito su uno o ambedue i lati con lastre a base legno (compensato strutturale, OSB, MDF) o gesso (cartongesso, gessofibra). Le finiture interna ed esterna della parete possono avere diverse soluzioni costruttive in rapporto alla destinazione d'uso. Le canalizzazioni per gli impianti sono alloggiare nell'intelaiatura o, preferibilmente, in apposite intercapedine tra il setto portante e il rivestimento di finitura interna.

I pannelli possono essere realizzati interamente in opera o fuori opera, con differenti livelli di prefabbricazione. Per quanto riguarda i segati, vengono impiegate sezioni standard di spessore variabile 5-8 cm, e di profondità 10-18

cm le cui dimensioni dipendono sia dalle verifiche statiche sia dallo spessore di isolante che si vuole interporre nella parete.

I montanti sono connessi fra loro mediante mezzi di collegamento semplici come graffe, viti e chiodi. I pannelli di rivestimento strutturale vengono collegati all'intelaiatura tramite chiodi ad aderenza migliorata, di diametro dai 3 ai 3,5 mm, disposti generalmente ad interasse di 100-200 mm in corrispondenza dei bordi del pannello, raddoppiati sui bordi esterni ed in prossimità delle aperture.

Nelle costruzioni intelaiate di legno il dispendio tecnico è esiguo per via dell'utilizzo sistematico di sezioni standard; le dimensioni dei pannelli, inoltre, sono di norma multiplo del passo standard dei montanti 62,5 cm.

Le modalità di costruzione di edifici a struttura intelaiata di legno sono due: piano per piano "platform frame" o impiegando elementi di altezza pari a più piani "balloon frame".

6.6 Studio delle soluzioni tecnologiche

Per la definizione delle soluzioni tecnologiche migliori dal punto di vista dei parametri prestazionali, indicati nei paragrafi precedenti, si è partiti dallo studio delle sezioni correnti presenti in commercio ed in particolare da quelle proposte dalla azienda Marlegno S.r.l. Lo studio analizza le prestazioni sia della tecnologia a telaio sia di quella a XLam, partendo dal loro utilizzo nelle chiusure verticali. Per ogni stratigrafia si riporta l'indicazione dei materiali, delle proprietà termiche dei componenti e le condizioni al contorno, al fine di definire sia il comportamento invernale tramite la trasmittanza termica che quello estivo tramite la capacità areica interna periodica, l'attenuazione e lo sfasamento termico.

Le stratigrafie delle chiusure verticali messe a confronto sono state, inoltre, progettate affinché avessero il medesimo spessore d'ingombro totale e fossero ventilate, con un rivestimento di facciata tipo "Moeding" (scelto durante la fase di progettazione architettonica).

Prima di procedere con lo studio delle diverse soluzioni tecnologiche si è fatta una breve premessa sul quanto ridurre i valori di trasmittanza termica di ogni elemento d'involucro opaco, in quanto quelli vetrati sono stati già precedentemente progettati, sulla base dei risultati del fabbisogno termico invernale ottenuti fino a questo momento, agendo sull'edificio di riferimento, introdotto nel capitolo sulla progettazione illuminotecnica.

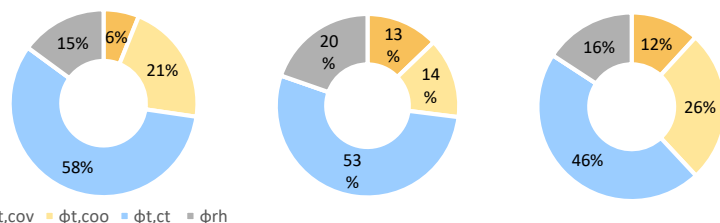


Fig. 6.9 Incidenza percentuale di ogni elemento di involucro, al piano terreno-primo-secondo, sul fabbisogno termico invernale

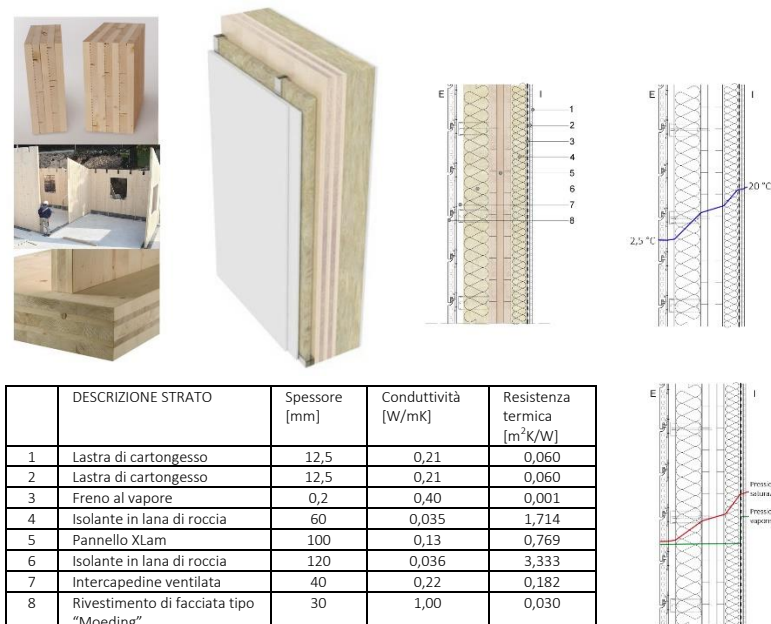
Dai grafici emerge la necessità di intervenire soprattutto sui valori di trasmittanza termica delle chiusure orizzontali più che su quelle verticali, pertanto nella costruzione delle pareti d'involucro tra il parametro di trasmittanza termica e quello di sfasamento dell'onda termica, si considererà quest'ultimo vincolante, ad un valore di almeno 12 ore, al fine di quantificarne l'isolamento termico.

Di seguito si riportano le condizioni al contorno considerate nelle successive verifiche prestazionali.

MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T interna [°C]	20	20	20	20	26	26	26	26	26	20	20	20
T esterna [°C]	2,6	4,5	7,7	12,8	17,7	22,6	24,6	23,6	18,8	13,5	9,0	2,5
Umidità relativa esterna [%]	91,4	73,5	69,6	66,3	68,1	68	60,4	55,2	74,6	89,4	90,8	87,3
Umidità relativa interna [%]	65	65	65	65	50	50	50	50	50	65	65	65

Tab. 6.7 Condizioni al contorno considerate nelle verifiche prestazionali d'involucro, a Vimercate

6.6.1 Chiusura verticale con pannello XLam



	DESCRIZIONE STRATO	Spessore [mm]	Conducibilità [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
1	Lastra di cartongesso	12,5	0,21	0,060
2	Lastra di cartongesso	12,5	0,21	0,060
3	Freno al vapore	0,2	0,40	0,001
4	Isolante in lana di roccia	60	0,035	1,714
5	Pannello XLam	100	0,13	0,769
6	Isolante in lana di roccia	120	0,036	3,333
7	Intercapedine ventilata	40	0,22	0,182
8	Rivestimento di facciata tipo "Moeding"	30	1,00	0,030

SPESSORE [m]: 0,39 PESO [kg/m²]: 116

VERIFICA DI TRASMITTANZA TERMICA [W/m²K]:

0,152 < 0,26

VERIFICA TERMOIGROMETRICA:

Condensa superficiale ASSENTE

Condensa interstiziale ASSENTE

VERIFICA DI INERZIA TERMICA:

Sfasamento: 12h 20' Qualità prestazione I

Attenuazione: 0,0889 Qualità prestazione I

Trasmittanza termica periodica [W/m²K]: 0,014 < 0,10

Capacità areica interna periodica [kJ/m²K]: 27,2 > 70*

FABBISOGNO TERMICO INVERNALE $\Phi_{t,cov}$ (piano primo e secondo):

da 6446 W a 4184 W

Riduzione del 2,3% sul fabbisogno termico invernale totale

Fig. 6.10 Chiusura verticale con pannello XLam

* Non si tratta di una verifica normativa ma è un valore consigliato dalla definizione di coppie di valori Yie-Cip tali da garantire una risposta ottimale di comfort nel periodo estivo e nelle stagioni intermedie, proposto dagli studi effettuati dal dipartimento di energetica e quello di architettura costruzioni e strutture della Università Politecnica delle Marche.

6.6.2 Chiusura verticale con telaio in legno



	DESCRIZIONE STRATO	Spessore [mm]	Conduttività [W/mK]	Resistenza termica [m²K/W]
1	Lastra di cartongesso	12,5	0,21	0,060
2	Lastra di cartongesso	12,5	0,21	0,060
3	Freno al vapore	0,2	0,40	0,001
4	Isolante in lana di roccia	40	0,035	1,143
5	Pannello OSB	15	0,13	0,115
6	Isolante in lana di roccia	80	0,035	2,286
7	Pannello OSB	15	0,13	0,115
8	Isolante in lana di roccia	120	0,036	3,333
9	Intercapedine ventilata	40	0,22	0,182
10	Rivestimento di facciata tipo "Moeding"	30	1,00	0,030

SPESSORE [m]: 0,39 PESO [kg/m²]: 88

VERIFICA DI TRASMITTANZA TERMICA [W/m²K]:

VERIFICA TERMOIGROMETRICA:

VERIFICA DI INERZIA TERMICA:

0,133 < 0,26	■
Condensa superficiale ASSENTE	■
Condensa interstiziale ASSENTE	■
Sfasamento: 12h 04' Qualità prestazione I	■
Attenuazione: 0,1709 Qualità prestazione II	■
Trasmittanza termica periodica [W/m²K]: 0,023 < 0,10	■
Capacità areica interna periodica [kJ/m²/K]: 29 > 70*	■

FABBISOGNO TERMICO INVERNALE $\Phi_{t,cov}$ (piano primo e secondo):

da 6446 W a 3786 W

Riduzione del 2,7% sul fabbisogno termico invernale totale

Fig. 6.11 Chiusura verticale con telaio in legno

6.6.3 Considerazioni

Ambedue le soluzioni mostrano un ottimo comportamento termico sia invernale sia estivo e non manifestano particolari criticità per quanto riguarda il rischio di condensa. Il punto debole, in entrambe, è tuttavia eventualmente riscontrabile in un basso valore di capacità areica interna periodica rispetto ai valori consigliati delle coppie Yie-Cip, precedentemente discussi nel paragrafo 6.2.2, al fine di garantire un ottimo livello di comfort termico in estate e nelle stagioni intermedie. In generale, per aumentare la capacità termica interna si ricorre a materiali che abbiano un'elevata massa specifica "materiali massivi", un elevato calore specifico oppure aumentando lo spessore degli strati. Il legno da questo lato ha lo svantaggio di avere una massa specifica limitata ma, rispetto ad altri materiali, ha un calore specifico elevato. Di solito comunque si tende a ricorrere, in questi casi, a materiali di finitura in grado di migliorare la capacità termica interna ed a tal proposito sul mercato vi sono dei prodotti innovativi che sfruttano il cambiamento di fase (Phase Change Material) per incrementare tale valore. Tuttavia, osservando anche gli altri risultati dei parametri posti nelle verifiche di inerzia termica, l'aggiunta di un materiale PMC risulta essere non strettamente necessaria. Infatti, si sono ottenute delle ottime classi di qualità prestazionale, sia nello sfasamento dell'onda termica sia nel coefficiente di attenuazione, e valori di trasmittanza termica periodica al di sotto del valore prestabilito di 0,10 W/m²K.

La principale differenza, emersa dai dati numerici, tra la soluzione con pannello XLam e quella intelaiata sono che la prima ha una risposta migliore nei mesi estivi, mentre la seconda ha un miglior comportamento nei mesi invernali. Come affermato precedentemente, la criticità di progetto in termini di fabbisogno termico è nel periodo estivo e pertanto è preferibile, in questo caso, l'uso della soluzione con pannello XLam; anche perché la riduzione percentuale sul carico termico invernale totale differisce di quattro decimi di percentuale tra l'una e l'altra soluzione tecnologica.

6.7 Studio delle soluzioni di posa dei pannelli XLam

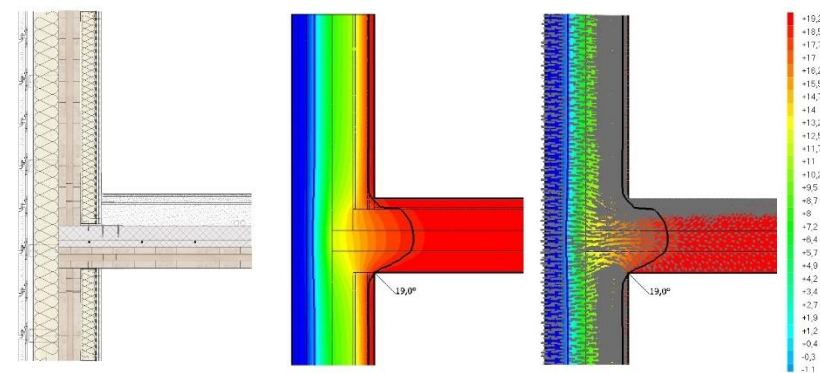
Gli edifici in XLam sono sistemi prefabbricati dove gli elementi vengono montati in opera e collegati successivamente tra di loro tramite giunzioni. Tradizionalmente il processo costruttivo si ripete piano per piano: si montano i pannelli verticali che formano le pareti, si chiude il piano con i pannelli orizzontali, e tali pannelli fanno da piattaforma per il posizionamento dei pannelli verticali del piano successivo. In questo caso il sistema XLam funge da sistema a “piattaforma”, dove l’orizzontamento intermedio interseca gli elementi verticali. Questa è la prima modalità di posa che è stata considerata delle pareti verticali di chiusura del piano primo e secondo della nuova scuola I.I.S Floriani.

Una seconda alternativa, resa possibile dai piccoli spessori dei pannelli e dal supporto all’azione dei carichi verticali dato dallo scheletro in acciaio, è quella di connettere le pareti di chiusura verticale al solaio prefabbricato, tipo “Lignoton” (discusso nel capitolo successivo), posizionandole esternamente a questo.

Dunque, appare chiaro come le connessioni tra gli elementi del sistema costruttivo (pannello XLam e solaio “Lignoton”), in ambedue le soluzioni di posa, siano la componente principale e indispensabile per ottenere delle strutture stabili e resistenti, che permangono nel tempo. Evidentemente ciò che differisce tra l’una e l’altra soluzione sono le azioni trasmesse al solaio nel progetto delle connessioni, la suddivisione in pannelli (la prima richiederà una discretizzazione maggiore della parete rispetto alla seconda) ed una differenza sul valore del coefficiente di trasmissione lineica, ottenibile attraverso il calcolo del ponte termico geometrico del nodo solaio-parete.

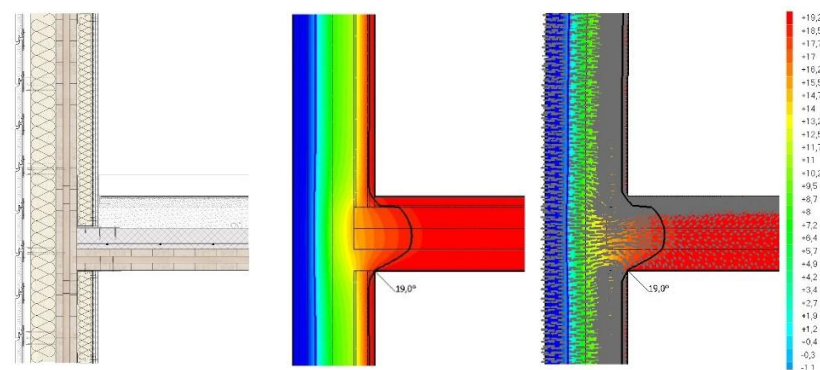
Dal confronto delle due modalità di posa, visibili nelle immagini a lato, emerge un miglior coportamento in termini di trasmissione lineica della soluzione con parete connessa esternamente al solaio, ma è soprattutto la possibilità di avere un minor numero di pannelli XLam e quindi il poter velocizzare i tempi

di montaggio che fanno sì che la seconda tecnica di posa sia quella preferibile per il caso progettuale della nuova scuola I.I.S Floriani.



RISULTATI DEL CALCOLO: Flusso ϕ : 6,371 W $\Psi_{esterno}$: 0,019 W/mK $\Psi_{interno}$: 0,072 W/mK
VERIFICA FORMAZIONE MUFFE: frsi: 0,958 > frsi,max: 0,784 muffa assente
DATI GENERALI: Vimercate Test -5 °C Tint 20°C

Fig. 6.12 Soluzione di posa 1 dei pannelli XLam



RISULTATI DEL CALCOLO: Flusso ϕ : 6,298 W $\Psi_{esterno}$: 0,016 W/mK $\Psi_{interno}$: 0,070 W/mK
VERIFICA FORMAZIONE MUFFE: frsi: 0,959 > frsi,max: 0,878 muffa assente
DATI GENERALI: Vimercate Test -5 °C Tint 20°C

Fig. 6.13 Soluzione di posa 2 dei pannelli XLam

6.8 Disarticolazione tecnologica e altre stratigrafie

Definita la soluzione tecnologica in legno e la sua modalità di posa si è passati alla progettazione delle restanti stratigrafie di involucro e di partizione interna.

Il primo passo ha riguardato l'elaborazione di una disarticolazione tecnologica, detta anche WBS, la quale ha portato ad una scomposizione ad albero del sistema tecnologico dell'edificio in tre livelli successivi (classi di unità tecnologiche, unità tecnologiche, classi di elementi tecnici) più un quarto livello di definizione dei singoli elementi tecnici. Questa struttura gerarchica che partendo dal generale arriva al particolare di ogni elemento tecnologico è gestita dalla norma UNI 8290: "Sistema tecnologico-classificazione e terminologia", la quale fornisce uno strumento codificato che favorisce l'utilizzo di una nomenclatura unitaria per ogni progetto.

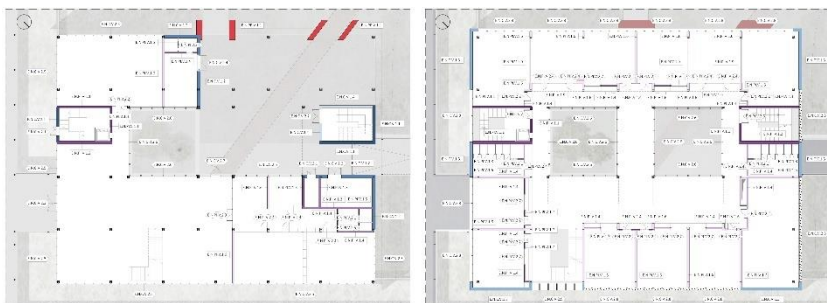


Fig. 6.14 Disarticolazione tecnologica in pianta dei piani terreno e primo

Attraverso la codifica, della disarticolazione tecnologica, e la contemporanea progettazione degli elementi strutturali si è giunti alla definizione delle stratigrafie di involucro ponendo nella maggior dei casi uno spessore minimo tale da racchiudere le strutture portanti e tale da soddisfare i valori limite dei parametri prestazionali indicati nei paragrafi 6.2 e 6.3, e dall'altro degli spessori minimi per le partizioni interne tali da garantire un adeguato livello di comfort acustico. Nello specifico si è mantenuto l'uso della tecnologia in legno per tutti gli elementi di chiusura, mentre per le partizioni interne si è optato per l'uso di pareti leggere con sottostruttura in acciaio e lastre di cartongesso.

Per maggiori informazioni sui pacchetti tecnologici si rimanda alle tavole progettuali inerenti al progetto tecnologico. Di seguito si riporta una sintesi dei principali risultati ottenuti, con il progetto delle stratigrafie, sui parametri prestazionali di involucro e nZEB, precedentemente discussi, e sui valori del fabbisogno termico estivo/invernale.

6.8.1 Risultati sui parametri prestazionali dell'involucro opaco

Nella tabella sottostante si riportano le stratigrafie di progetto dell'involucro opaco ed i relativi valori rispettivamente di: trasmittanza termica, trasmittanza termica periodica, capacità areica interna periodica, sfasamento e attenuazione dell'onda termica.

SIGLA	DESCRIZIONE ELEMENTI TECNICI OPACHI	U_k [W/m ² K]	Y_{ie} [W/m ² K]	C_{ip} [kJ/m ² /K]	Φ [h]	f_a
E.N.C.O.1.1	Chiusura orizzontale ventilata verso terreno	0,185 < 0,26	-	-	-	-
E.N.C.O.2.1	Chiusura orizzontale verso spazio esterno	0,20 < 0,22	-	-	-	-
E.N.C.V.1.2	Chiusura verticale con cappotto esterno e intonaco	0,153 < 0,26	0,014 < 0,10	27,2	12h 11' ≥ 12	0,09 ≤ 0,15
E.N.C.V.1.3	Chiusura verticale ventilata con rivestimento "Moeding"	0,152 < 0,26	0,014 < 0,10	27,2	12h 20' ≥ 12	0,09 ≤ 0,15
E.N.C.S.1.1	Chiusura superiore a verde estensivo	0,173 < 0,22	0,008 < 0,18	30,3	15h 40' ≥ 12	0,05 ≤ 0,15
E.N.PI.V.1.1	Partizione interna verticale verso scala antincendio	0,251 < 0,26	-	-	-	-
E.N.PI.V.1.2	Partizione interna verticale verso scala antincendio	0,248 < 0,26	-	-	-	-
E.N.PI.V.1.3	Partizione interna verticale verso locali impianti	0,222 < 0,26	-	-	-	-
E.N.PI.O.1.1	Solaio di interpiano verso locali impianti	0,231 < 0,26	-	-	-	-

Tab. 6.8 Verifica parametri prestazionali dell'involucro opaco

Tutti i valori limite/di progetto sono stati soddisfatti.

6.8.2 Risultati parametri prestazionali dell'involucro per edifici nZEB

Tutti gli elementi tecnici hanno dato un'esito positivo di assenza della condensa superficiale ed interstiziale; inoltre, le trasmittanze termiche delle strutture

verso i locali non climatizzati (scale antincendio e locali impiantistici) e l'esterno hanno rispettato il valore massimo limite di 0,80 W/m²K.

SIGLA	DESCRIZIONE ELEMENTI TECNICI OPACHI	U _k [W/m ² K]	Y _{ie} [W/m ² K]	Cip [kJ/m ² /K]	Φ [h]	fa
E.N.C.V.1.1	Chiusura verticale scala antincendio verso esterno	0,212 < 0,80	-	-	-	-
E.N.C.V.1.4	Chiusura verticale scala antincendio verso esterno	0,221 < 0,80	-	-	-	-

Tab. 6.9 Verifica della trasmittanza termica delle strutture verso i locali non climatizzati e l'esterno

I parametri H'_T e A_{sol,est}/A_{sup}, come detto precedentemente, risultano essere già verificati, ma per completezza di seguito si riportano i loro valori aggiornati rispetto alle ultime scelte tecnologiche progettuali effettuate.

H'_T = 0,35 < H'_T edificio di riferimento = 0,55 VERIFICATO

(A_{sol,est} / A_{sup utile}) = 0,030 < 0,044 m² VERIFICATO

6.8.3 Confronto dei risultati sul fabbisogno termico invernale ed estivo con quelli dell'edificio di riferimento iniziale

Il fabbisogno termico invernale ha subito una riduzione del 32% rispetto al valore assunto nel caso dell'edificio di riferimento, passando da un carico termico di 98840 W a 67605W totali sull'intero edificio.

Mentre il fabbisogno termico estivo sensibile, a giugno, si è ridotto da 250620 W a 168624 W, ovvero del 33% rispetto al valore riscontrato nel caso dell'edificio di riferimento iniziale.

Di seguito si riportano i grafici di confronto relativi ai due valori di carico termico, di riferimento e di progetto, nel periodo invernale ed in quello estivo.

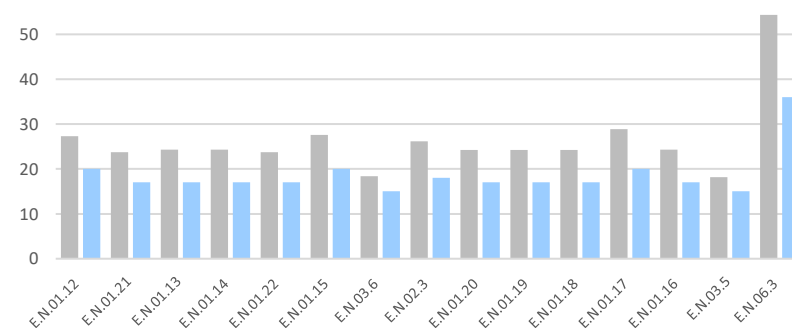
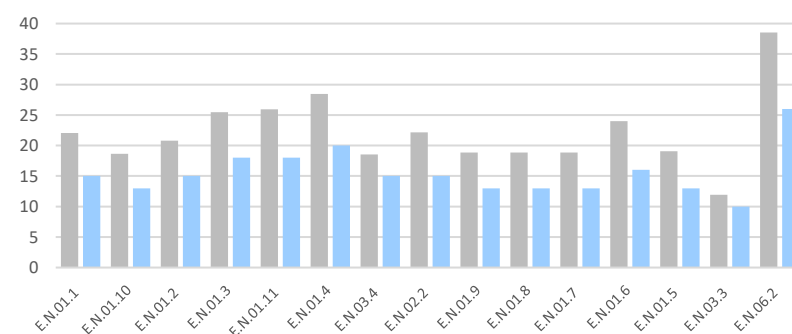
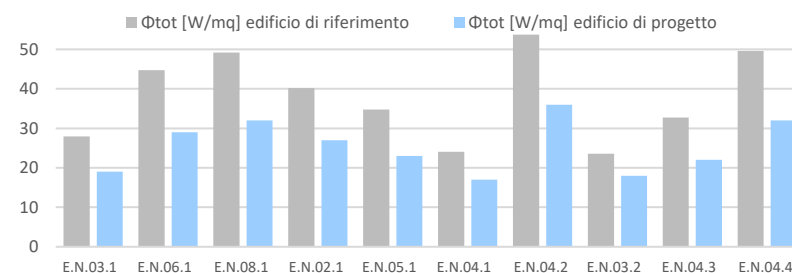


Fig. 6.15 Fabbisogno termico invernale [W/m²] dell'edificio di progetto e dell'edificio di riferimento, piano terreno, primo e secondo



Fig. 6.16 Fabbisogno termico sensibile a giugno [W/m²] dell'edificio di progetto e dell'edificio di riferimento, piano terreno, primo e secondo

6.9 L'acustica nelle aule scolastiche

Le aule, e più in generale tutti gli ambienti scolastici, devono garantire la diffusione della parola. Negli edifici scolastici mal progettati vi è infatti un elevato rumore di fondo che può causare condizioni stressanti, sia per l'insegnante che è costretto ad "alzare la voce", sia per gli alunni che non riescono a comprendere le sue parole.

Il tempo di riverberazione è senza dubbio uno dei parametri principali per caratterizzare la chiarezza della percezione sonora in un ambiente: il riverbero eccessivo può in alcuni casi pregiudicare l'intelligibilità della parola e in altri contribuire in modo positivo, incrementando il suono diretto: è necessario insomma trovare il giusto compromesso.

L'ambiente scolastico deve essere inoltre protetto sia dai rumori esterni che dai rumori interni provenienti da ambienti adiacenti. Per mitigare il rumore proveniente dall'esterno è necessario agire sull'isolamento acustico di facciata, mentre per quanto riguarda il rumore interno si analizzano: il potere fonoisolante degli elementi di separazione tra ambienti adiacenti; il livello di rumore di calpestio; il livello di rumore degli impianti.

In questo paragrafo sono stati analizzati i principali requisiti acustici da soddisfare negli ambienti scolastici e la verifica del tempo di riverberazione in un'ala tipo della nuova scuola I.I.S Floriani, con e senza un controsoffitto acustico.

6.9.1 Requisiti acustici

Il decreto D.P.C.M. 5/12/1997 fissa i valori limite dei requisiti acustici passivi caratterizzanti la prestazione degli edifici verso i rumori esterni (isolamento acustico di facciata) e del rumore interno (potere fonoisolante, livello di pressione sonora di calpestio, livello sonoro degli impianti):

AMBIENTI ABITATIVI	VALORI LIMITE [dB]				
	R'w	D _{2m,nT,w}	L'nw	L _{ASmax}	L _{Aeq}
Edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili	55	45	58	35	25
Edifici adibiti a residenze, alberghi, pensioni ed attività assimilabili	50	40	63	35	35
Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	50	48	58	35	25
Edifici adibiti ad uffici, attività ricreative e di culto, attività commerciali o assimilabili	50	42	55	35	35

Tab. 6.10 Valori limite D.P.C.M 5/12/1997

Un altro criterio particolarmente significativo per gli edifici scolastici è il tempo di riverberazione che quantifica la permanenza di una coda sonora nell'ambiente, con tutte le sue implicazioni sull'intelligibilità del parlato.

AMBIENTI ABITATIVI	VALORI LIMITE [s]	VALORE MISURATO [s]
Aule scolastiche	1,2	Media dei tempi di riverberazione misurati alle frequenze di 250 500 1000 2000 Hz, ad aula arredata, presenza due persone massimo
Palestre	2,2	Media dei tempi di riverberazioni misurati alle frequenze di 250 500 1000 2000 Hz

Tab. 6.11 Tempi di riverberazioni indicati nella Circolare Ministero Lavori Pubblici n.3150 del 22/05/1967

6.9.1.1 Livello di rumore all'esterno

L'isolamento acustico di facciata è il requisito acustico passivo che il D.P.C.M. 5/12/1997 riserva al controllo del rumore proveniente dall'esterno di un'aula scolastica. Come indicato nella norma UNI EN ISO 16283-3:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10\log(T/T_0) \quad [dB]$$

in cui: L_{1,2m} è il livello di pressione sonora alla distanza di 2 m dalla facciata [dB]; L₂ è il livello di pressione sonora nell'ambiente ricevente [dB]; T è il tempo di riverberazione dell'ambiente ricevente [s]; T₀ è il tempo di riverberazione di riferimento pari a 0,5 s.

Le misure vengono eseguite per bande di frequenza di ottava o di un terzo di ottava ed è possibile passare dai valori in frequenza all'indice di valutazione D_{2m,nT,w} mediante il metodo descritto nella norma UNI 717-1. Dal punto di vista del calcolo previsionale l'isolamento acustico di facciata si stima come descritto nella norma UNI EN ISO 12354-3:2017:

$$D_{2m,nT,w} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10\log(V/6T_0S) \quad [dB]$$

dove: R'w è un indice di valutazione del potere fonoisolante apparente della facciata [dB]; ΔL_{fs} è la differenza del livello di pressione sonora per la forma della facciata (in questo termine si tiene in conto dell'influenza che la forma può avere sull'isolamento acustico della facciata) [dB]; V è il volume dell'ambiente ricevente [m³]; S è la superficie totale della facciata vista dall'interno [m²].

Per le scuole il D.P.C.M. 5/12/1997 indica un valore minimo di 48 dB per il requisito di facciata D_{2m,nT,w}: si tratta di un limite sicuramente molto restrittivo soprattutto perché prescinde totalmente dal clima acustico dell'area in cui è presente l'edificio scolastico.

6.9.1.2 Isolamento acustico tra partizioni interne

In un edificio scolastico troviamo partizioni interne verticali e orizzontali che separano le aule e gli altri ambienti scolastici. Per verificare l'isolamento di una partizione il D.P.C.M. 5/12/1997 utilizza il potere fonoisolante R'w specificando però che esso deve essere verificato per le partizioni che separano due unità immobiliari distinte. La suddetta affermazione ha creato non poche perplessità per la sua applicazione nei confronti delle partizioni che separano due aule scolastiche in quanto è difficile considerarle come unità immobiliari distinte.

L'interpretazione più diffusa è quindi che il D.P.C.M. 5/12/1997 non debba essere applicato per le partizioni tra aule scolastiche; nell'Appendice A della norma UNI 11367 "Valori di riferimento per i requisiti acustici di ospedali e scuole" sono introdotti due indici che riguardano le partizioni tra ambienti appartenenti alla stessa unità immobiliare (come le aule scolastiche appunto):

INDICE	PRESTAZIONE NORMALE [dB]	PRESTAZIONE SUPERIORE [dB]
Isolamento acustico normalizzato di divisori tra ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare, $D_{nT,w}$	50	55
Isolamento acustico normalizzato di divisori tra ambienti adiacenti della stessa unità immobiliare, $D_{nT,w}$	45	50

Tab. 6.12 UNI 11367-Appendice A

L'isolamento D_{nT} è misurato come indicato nella norma UNI EN ISO 16283-1:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log(T/T_0) \quad [\text{dB}]$$

In cui: L_1 è il livello di pressione sonora nell'ambiente emittente [dB]; L_2 è il livello di pressione sonora nell'ambiente ricevente [dB].

Le misure vengono eseguite per bande di frequenza di ottava o di un terzo di ottava ed è possibile passare dai valori in frequenza all'indice di valutazione $D_{nT,w}$ mediante il metodo descritto nella norma UNI 717-1.

Per il calcolo previsionale la norma di riferimento è la UNI EN ISO 12354-1:2017 che contiene un modello di calcolo per stimare il potere fonoisolante R'_w dell'elemento di separazione tra due ambienti a partire dalle prestazioni acustiche di laboratorio degli elementi strutturali coinvolti:

$$R'_w = -10 \log \left(10^{-\frac{R_{d,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{-\frac{R_{e,f}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{-\frac{R_{s,f}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{-\frac{R_{l,f}}{10}} + \frac{A_0}{S_S} \sum_{j=1}^m 10^{-\frac{D_{n,j}}{10}} \right)$$

dove: $R_{ij,w}$ è l'indice di valutazione del potere fonoisolante per il percorso ij [dB]; $D_{n,j,w}$ è l'indice di valutazione della differenza di livello sonoro per la trasmissione attraverso un piccolo elemento tecnico j ($D_{n,e}$) o attraverso un elemento j che consente la trasmissione aerea del suono ($D_{n,s}$) [dB]; n è il numero degli elementi laterali dell'ambiente, generalmente n=4; m è il numero degli elementi j che consentono una trasmissione aerea del suono; A_0 è l'area di assorbimento di riferimento pari a 10 m²; S_S è l'area dell'elemento divisorio [m²].

Sulla base dell'indice R'_w si determina poi l'indice $D_{nT,w}$ con la formula seguente:

$$D_{nT,w} = R'_w + 10 \log(0,16 V/T_0 S_S) \quad [\text{dB}]$$

6.9.1.3 Livello di pressione sonora di calpestio

Il livello di pressione sonora di calpestio è il requisito acustico passivo che il D.P.C.M. 5/12/1997 riserva al controllo del rumore impattivo proveniente dall'esterno di un'aula scolastica. Esso è misurato come indicato nella norma UNI EN ISO 16283-2:

$$L'_n = L_i + 10 \log(A/A_0) \quad [\text{dB}]$$

in cui: L_i è il livello di pressione sonora nell'ambiente ricevente [dB]; A è l'area di assorbimento equivalente dell'ambiente ricevente [m²].

Le misure vengono eseguite per bande di frequenza di ottava o di un terzo di ottava ed è possibile passare dai valori in frequenza all'indice di valutazione $L'_{n,w}$ mediante il metodo descritto nella norma UNI 717-2.

Dal punto di vista del calcolo previsionale la norma di riferimento è la UNI EN ISO 12354-2:2017 che prevede un calcolo basato sui percorsi di trasmissione del suono, analogamente a quanto già visto per il potere fonoisolante R'_w :

per ambienti sovrapposti ed adiacenti

$$L'_{n,w} = (10 \log(10^{L_{d,w}/10} + \sum_{j=1}^n 10^{L_{n,j,w}/10})) \quad L'_{n,w} = (10 \log(\sum_{j=1}^n 10^{L_{n,j,w}/10}))$$

dove: $L_{n,d,w}$ è l'indice di valutazione del livello di rumore da calpestio per il percorso diretto [dB]; $L_{n,j,w}$ è l'indice di valutazione del livello di rumore da calpestio per il percorso laterale [dB]; n è il numero degli elementi laterali dell'ambiente, pari a 4 per ambienti sovrapposti, pari a 2 per ambienti adiacenti.

Negli edifici scolastici la legge indica un valore limite massimo per $L'_{n,w}$ pari a 58 dB: il decreto non si riferisce ai solai posti tra due diverse unità immobiliari e quindi è applicabile anche tra due ambienti scolastici.

6.9.1.4 Tempo di riverberazione

La riverberazione è causata dalle riflessioni multiple su pareti, pavimento e soffitto che le onde sonore subiscono una volta disattivata la sorgente del rumore: essa dipende dalla geometria dell'ambiente, dalle caratteristiche

fonoassorbenti delle pareti/solai e dagli oggetti in esso contenuti. Il calcolo previsionale del tempo di riverberazione utilizza la formula di Sabine che stima il T60, cioè l'intervallo di tempo tra il momento in cui la sorgente sonora viene spenta ed il momento in cui il livello sonoro nell'ambiente si riduce di 60 dB:

$$T_{60} = 0,161 \times V/A \quad [s]$$

in cui: V è il volume dell'ambiente [m³]; A è l'area di assorbimento acustico dell'ambiente [m²] pari a

$$A = a \times S \quad [m^2]$$

dove: a è un coefficiente di assorbimento acustico medio dell'ambiente; S è la superficie complessiva delle pareti interne dell'ambiente.

La legislazione nazionale per le aule scolastiche richiede che la media dei tempi di riverberazione misurati alle frequenze di 250 | 500 | 1000 | 2000 Hz, ad aula arredata e non occupata, non superi 1,2 s.

6.9.1.5 Verifica del tempo di riverbero in un'aula tipo

Attraverso l'uso del software ACUSTILOG si è verificato il tempo di riverberazione con e senza la controsoffittatura nelle aule scolastiche.

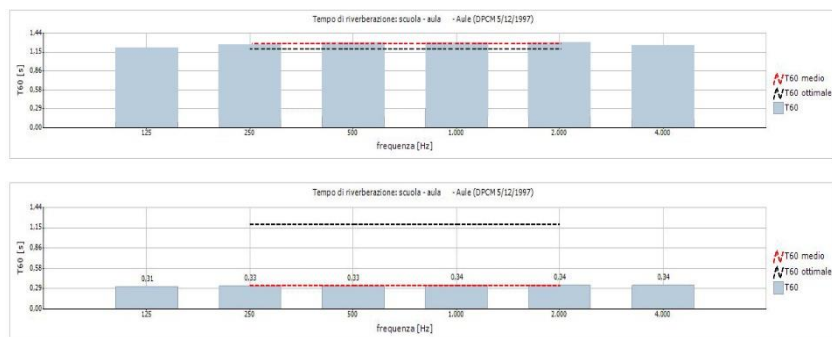


Fig. 6.17 Grafici tempo di riverberazione di un'aula tipo senza e con controsoffitto

L'intervento di correzione acustica realizzato, con la controsoffittatura, ha effettivamente abbassato il tempo di riverbero, ottenendo dei valori accettabili dal punto di vista della legislazione vigente.

7 PROGETTO STRUTTURALE

In questo capitolo si valuta come il progetto architettonico sia ammissibile dal punto di vista strutturale attraverso il predimensionamento e la verifica degli elementi strutturali più significativi e la motivazione delle stesse soluzioni adottate dal punto di vista tecnologico. Uno dei principali intenti sarà quello di adoperare una tecnologia costruttiva di tipo misto e quasi completamente prefabbricata, scomponibile in: pareti XLam, solai prefabbricati di tipo “Lignoton” e telaio strutturale di supporto in acciaio. Il dimensionamento si limiterà alle sezioni più sollecitate e verrà adoperato, il sudetto elemento, anche per gli elementi strutturali che si trovano in casi simili, in tal modo di agire a favore di sicurezza e rendere comunque verificata la struttura nel suo complesso. Inoltre, particolare attenzione verrà posta alla costruzione di modelli di verifica tali da considerare correttamente la presenza di sezioni strutturali disomogenee date dalla compresenza di tre materiali differenti: legno, calcestruzzo ed acciaio.

- 7.1 La tecnologia costruttiva
- 7.2 Normativa di riferimento e criteri di calcolo
- 7.3 Calcolo delle azioni agenti
- 7.4 Predimensionamento e verifica del solaio tipo “Lignoton”
- 7.5 Predimensionamento e verifica travi in acciaio
- 7.6 Predimensionamento e verifica pilastri in acciaio
- 7.7 Verifica sismica degli elementi di controvento

7.1 La tecnologia costruttiva

Il nuovo edificio scolastico presenta una tecnologia mista e quasi completamente prefabbricata. I materiali utilizzati sono il calcestruzzo armato, il legno, tipo XLam, e l'acciaio. Queste scelte non solo garantiscono benefici pratici per questo specifico caso studio ma permettono anche di avere una varietà e un grado di innovazione molto interessante dal punto di vista accademico. In particolare, il cemento armato viene utilizzato per le fondazioni e per garantire robustezza e inerzia termica ai solai; il legno massiccio XLam invece, oltre a caratterizzare esteticamente alcuni soffitti con la sua gradevole finitura, è utilizzato per avere controventi flessibili e resistenti al sisma e contribuire all'isolamento termico di solai e pareti; l'acciaio infine con la sua robustezza e resistenza a flessione viene impiegato per gli elementi lineari quali travi e pilastri.

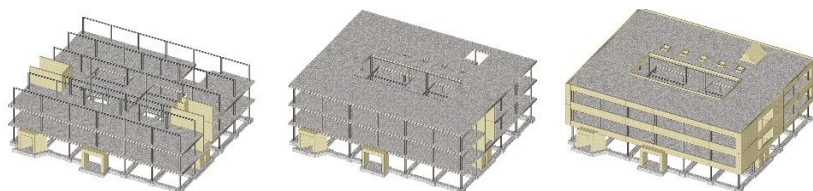


Fig. 7.1 Viste 3D complessive degli elementi strutturali nella nuova scuola I.I.S Floriani

7.1.1 Fondazioni

L'edificio si sviluppa su tre piani fuori terra ma grazie alla presenza del legno presenta una struttura relativamente leggera. Pertanto, si è ritenuta opportuna una fondazione a plinti e travi rovesce in cls armato appena al di sotto della superficie del terreno. Diversamente dalle altre strutture del polo scolastico, la nuova scuola I.I.S Floriani non prevede quindi un piano interrato, per cui questa soluzione facilita e velocizza parecchio il cantiere tra le strutture preesistenti, soprattutto nella fase dei movimenti terra. Tali fondazioni sostituiscono le due platee che sorreggevano prima i blocchi aule prefabbricati degli anni '80 e, data la scarsa profondità, possono essere irrobustite se necessario con micropali.

7.1.2 Setti murari portanti

Le pareti strutturali, in mancanza di controventi in acciaio, sono fondamentali per garantire la resistenza sismica all'edificio, per cui questi elementi sono collocati da progetto attorno ai due vani scale di emergenza situati alle due estremità dell'edificio. L'ancoraggio delle quattro pareti per ciascuna scala genera una configurazione tubolare che reagisce in modo ancora più efficace alle sollecitazioni orizzontali. Essendo il legno piuttosto flessibile si è scelto uno spessore di tali setti di 20 cm, in modo che i due controventi possano raggiungere una rigidità maggiore di quella del sistema puntiforme in acciaio e prendersi la sollecitazione sismica.

7.1.3 Travi e pilastri

Travi e pilastri sono progettati in acciaio in quanto è il materiale più appropriato per gli elementi lineari. Infatti, oltre a garantire un montaggio rapido a secco delle opere di elevazione, l'acciaio non si deforma nel tempo per effetto viscoso, è resistente a flessione ed è facile da dimensionare. Le travi vengono orientate solo lungo una direzione dell'edificio in quanto il solaio prefabbricato in XLam ha un comportamento membranale e quindi, una volta posato e ancorato alle travi con getto di completamento, solidarizza al meglio l'intera soletta.

7.1.4 Solai

I solai prefabbricati di tipo Lignoton presentano una composizione interessante ed innovativa, data dalla combinazione di pannelli XLam al getto di calcestruzzo. All'intradosso si ha il pannello XLam il quale, oltre a funzionare bene a trazione, può essere eventualmente lasciato a vista come finitura; mentre sulla sua faccia superiore vi sono delle sagomature dentellate, con passo tendenzialmente sugli 80 cm, le quali consentono l'alloggiamento di costolature in calcestruzzo armato o tralicci in acciaio, aventi la funzione di solidarizzare al meglio il pannello XLam al getto di completamento finale in calcestruzzo.

7.2 Normativa di riferimento e criteri di calcolo

Il calcolo della struttura è stato realizzato in conformità alla normativa italiana vigente, attenendosi ove erano disponibili sufficienti disposizioni in merito alla situazione oggetto di studio al D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”, insieme di precetti e decreti relativi alla valutazione del progetto strutturale raggruppate in un’unica norma. Ci si è altresì avvalsi del supporto degli Eurocodici, dove le NTC 2008 mostravano carenze di contenuto, trattasi di normative a livello Europeo che codificano la progettazione delle strutture.

La sicurezza e le prestazioni delle opere strutturali sono state valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale (stato limite ultimo e stato limite di esercizio). In generale per stato limite si intende la condizione superata la quale l’opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata. Ai fini delle verifiche degli stati limite sono state utilizzate le seguenti combinazioni di carico:

- SLU: le azioni sollecitanti sono calcolate con la combinazione fondamentale

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

in cui: G_1 è il peso proprio di tutti gli elementi strutturali; G_2 è il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali; P è il valore di pretensione e precompressione; Q_{ki} è il valore caratteristico della i -esima azione variabile.

I coefficienti γ , “Coefficienti parziali per le azioni o per l’effetto delle azioni nelle verifiche SLU”, sono definiti nel § 2.6.1 delle NTC 2008 e sono stati assunti pari a: $\gamma_{G1} = 1,3$ $\gamma_{G2} = 1,5$ $\gamma_Q = 1,5$. I coefficienti ψ , “Coefficienti di combinazione” sono definiti nel § 2.5.3 delle NTC 2008 e dipendono dall’azione variabile e dalla combinazione di carico considerata. I valori di quest’ultimi coefficienti sono dati dalla tabella 2.5.1 “Valori dei coefficienti di combinazione” delle NTC 2008.

- SLE: per maggior sicurezza si usa la combinazione caratteristica rara

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- COMBINAZIONE SISMICA: condizione tipica di carico a cui si impone il sisma

$$E + G_1 + G_2 + P + \gamma_{21} \cdot Q_{k1} + \gamma_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

7.3 Calcolo delle azioni agenti

La prima operazione di calcolo ha riguardato la stima delle azioni agenti sull’edificio di progetto (procedura disciplinata dal capitolo 3 delle NTC 2008).

7.3.1 Carichi di esercizio

I carichi di esercizio sono i carichi legati alla destinazione d’uso dell’opera e sono distinguibili in: carichi verticali uniformemente distribuiti q_k [kN/m²], carichi verticali concentrati Q_k [kN] e carichi orizzontali lineari H_k [kN/m]. I loro valori nominali e/o caratteristici, vengono riportati nella tabella 2 del § 3.1.4 delle NTC. Nel caso progettuale esaminato sono stati assunti i seguenti valori:

- Solai: Cat. C1 “Scuole”: $q_{k\text{solai}} = 3 \text{ kN/m}^2$

- Copertura: Cat. H1 “Coperture per sola manutenzione”: $q_{k\text{copertura}} = 0,5 \text{ kN/m}^2$

7.3.2 Azione del sisma

Per valutare l’azione sismica si è impiegato il documento Excel SPETTRI-NTC il quale fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticali) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale. La definizione degli spettri di risposta è articolata in 3 fasi:

7.3.2.1 Fase 1: individuazione della pericolosità del sito

Fig. 7.2 Excel SPETTRI-NTC, fase 1

La stima della pericolosità sismica, secondo le NTC 2008, è definita mediante un approccio “sito dipendente” che utilizza un reticolo di punti di misurazione ai quali relazionarsi tramite una media ponderata in funzione della distanza. Individuato il comune grazie al software “Spettri NTC ver 1.0.3”, si può risalire alle informazioni del reticolo (tabella 1, Allegato B delle NTC). Essendo l’edificio in questione situato a Vimercate, si è impostata per prima cosa la posizione Regione-Provincia-Comune come mostrato nell’immagine sottostante.

7.3.2.2 Fase 2: scelta della strategia di progettazione

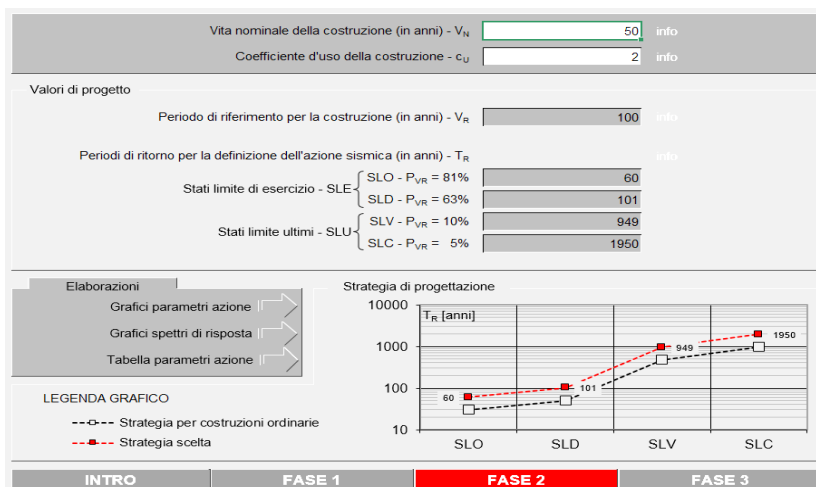


Fig. 7.3 Excel SPETTRI-NTC, fase 2

In questa fase è stata inserita la vita nominale dell’edificio con $V_N \geq 50$ anni e si è immesso il coefficiente d’uso C_U al fine di stabilire il periodo di ritorno. Il coefficiente C_U dipende dalle classi d’uso: Classe I - Costruzioni con presenza occasionale di persone ($C_U = 0,7$); Classe II - Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali ($C_U = 1$); Classe III - Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi o attività pericolose ($C_U = 1,5$); Classe IV - Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti ($C_U = 2$). Nel nostro caso, trattandosi di un edificio pubblico, si è optato per la Classe IV, ottenendo un T_R di 949 anni.

7.3.2.3 Fase 3: determinazione dell’azione di progetto

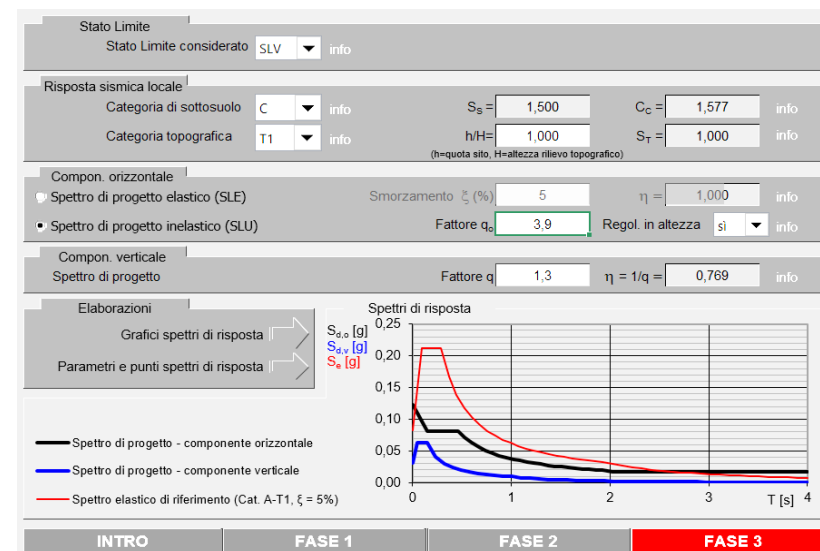


Fig. 7.4 Excel SPETTRI-NTC, fase 3

Il terreno su cui sorge l’edificio viene considerato dalle documentazioni comunali mediamente consistente e pianeggiante, per cui si è considerata una categoria C di terreno e una categoria T1 topografia.

Il periodo proprio dell’edificio è calcolato come da NTC § 7.3.3.2

$$T_0 = C_1 \cdot H^{3/4} = 0,330 \text{ s}$$

in cui: C_1 è un coefficiente per il tipo di costruzione, che per quella mista è pari a 0,05; H è l’altezza dell’edificio, nel nostro caso 12,4 m. Il fattore di struttura dell’edificio, da utilizzare per ciascuna direzione dell’azione sismica orizzontale e con cui si va a ridurre la sua intensità d’azione, è stato calcolato secondo la seguente formula (NTC § 7.3.1) e considerando una classe di duttilità B:

$$q = q_0 \cdot K_R = 3,9$$

in cui: $q_0 = 3 \times 1,3 = 3,9$ per le strutture a telaio con più piani e più campate (NTC § 7.4.3.2); $K_R = 1$ per le strutture regolari in altezza.

Dividendo il valore di spinta elastico generato dal terreno per il fattore di struttura si ottiene l'azione sismica effettiva agente sull'edificio. Perciò, una volta impostati i dati nel software, questo ha elaborato lo spettro di risposta effettivo ed incrociandolo con il periodo proprio dell'edificio si è ricavato:

$$S_d \text{ SLV} = 0,082 \text{ g} = 0,820 \text{ m/s}^2$$

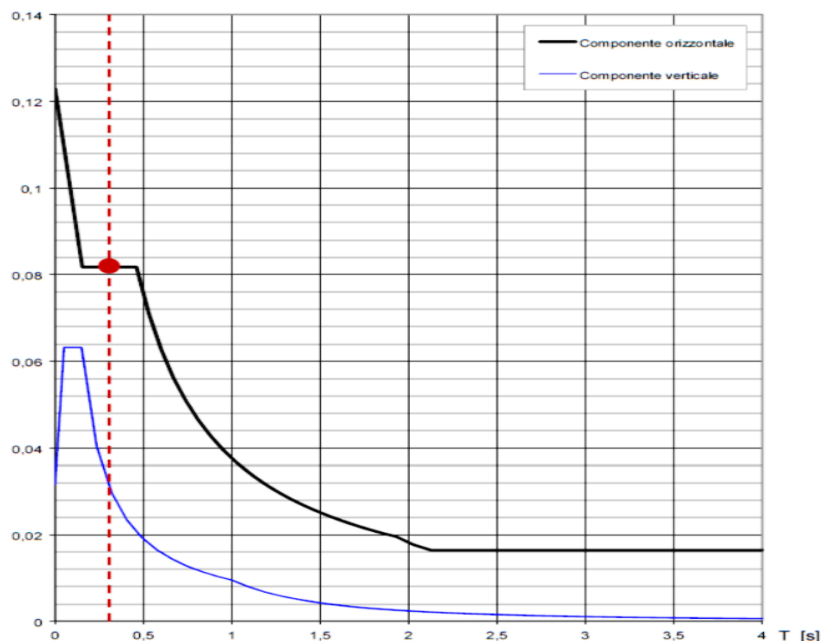


Fig. 7.5 Spettri di risposta effettivi dell'edificio

7.3.3 Azione del vento

L'azione del vento è considerata come un'azione orizzontale e variabile nel tempo e nello spazio che provoca pertanto effetti dinamici. Data la difficoltà di studio che comporterebbe un'analisi di tipo dinamico, si è soliti ridurre tali azioni ad azioni statiche equivalenti definite al paragrafo 3.3.3 del D.M. 14.01.2008, costituite da pressioni e depressioni agenti in direzione perpendicolare alle superfici interne ed esterne della costruzione.

Si è considerato come azione di progetto la combinazione più gravosa: la pressione normale agente sulla superficie esterna più la depressione, ovvero l'azione calcolata con una facciata perfettamente sopravento e quella opposta sottovento. La pressione normale esercitata dal vento è data da:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

dove: q_b è la pressione cinetica di riferimento; c_e è il coefficiente di esposizione; c_p è il coefficiente di forma, funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento al vento; c_d è il coefficiente dinamico che tiene conto degli effetti riduttivi di non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

La pressione cinetica di riferimento è calcolata come:

$$q_b = (\rho \cdot v_b^2) / 2$$

in cui: v_b è la velocità di riferimento del vento [m/s]; ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a $1,25 \text{ kg/m}^3$.

La velocità di riferimento v_b è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II, mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni. La relazione che esprime la velocità del vento, in mancanza di specifiche indagini, è data da:

$$\begin{aligned} v_b &= v_{b,0} & \text{se } a_s \leq a_0 \\ v_b &= v_{b,0} + k_a \cdot (a_s - a_0) & \text{se } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m} \end{aligned}$$

dove: $v_{b,0}$, a_0 e k_a sono parametri forniti da tabella e legati alla regione considerata; a_s è l'altitudine sul livello del mare [m] del sito della costruzione. La scuola è in Zona 1 (Lombardia) alla quota $a_s = 200 \text{ m} < a_0 = 1000 \text{ m}$, quindi

$$v_b = v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

Considerando le prescrizioni presenti nel § C.3.3.2 della circolare esplicativa 2/2/2009 si è calcolata la velocità del vento $v_b(T_r)$ riferita ad un generico periodo di ritorno compreso tra 10 e 500 anni, con la sottostante espressione:

$$v_b(T_r) = \alpha_r \cdot v_b$$

In particolare, v_b rappresenta la velocità di riferimento del vento associata al periodo di ritorno 50 anni, mentre α_r è un coefficiente calcolabile per via grafica, da grafici forniti da normativa. Nel nostro caso studio il tempo di ritorno è pari a 50 anni, di conseguenza il coefficiente α_r risulta essere unitario. Perciò si ha una velocità di riferimento $v_b = v_{b,0}$ di 25 m/s.

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza sul suolo z [m] del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. Data l'assenza di analisi specifiche, per il calcolo del coefficiente si sono usate le seguenti formule:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

Per determinare i valori k_r , z_0 , z_{\min} si è innanzitutto determinata la classe di rugosità del terreno; in funzione della classe di rugosità (B "Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive"), della distanza dalla costa (superiore a 30 km) e dell'altitudine del sito (minore ai 500 m.s.l.m), si è determinata la categoria di esposizione del sito risultata IV. Nota la categoria di esposizione si sono ricavati i valori di $k_r=0,22$ $z_0=0,30$ m e $z_{\min}=8$ m.

Il coefficiente topografico c_t è posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane.

L'edificio in esame è alto 12,4 m fino al tetto piano, perciò si è considerato un coefficiente di esposizione c_e di 1,62, da terra fino a 8 m, per poi aumentarlo linearmente fino ad un valore di 2, a livello del tetto piano.

Il coefficiente dinamico c_d tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura. Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

Il coefficiente di forma c_p è dato dalla somma del coefficiente aerodinamico esterno (c_{pe}) e di quello interno (c_{pi}). Secondo normativa per edifici a pianta rettangolare con coperture piane o a falde si ha che per elementi sopravento con inclinazione sull'orizzontale $\alpha \geq 60^\circ$ e $c_{pe} = + 0,8$, per elementi sopravento con inclinazione $20^\circ < \alpha < 60^\circ$ e $c_{pe} = + 0,03 \alpha - 1$, per elementi sopravento con inclinazione $0^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$ e per elementi sottovento $c_{pe} = - 0,4$.

Sostituendo i valori all'interno dell'espressione di calcolo della pressione normale esercitata dal vento si sono ottenute le seguenti azioni:

$$p_{\text{sopravento}} = 506 \text{ N/m}^2 \quad p_{\text{tetto piano}} = - 253 \text{ N/m}^2 \quad p_{\text{sottovento}} = - 253 \text{ N/m}^2$$

L'azione tangente è considerata trascurabile in quanto l'edificio presenta rivestimenti lisci di facciata.

7.3.4 Azione della neve

Il carico provocato dalla neve sulle coperture è stato valutato, seguendo le disposizioni contenute al paragrafo 3.4 "Azioni della Neve" delle NTC2008, mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i q_{sk} C_e C_t$$

in cui: q_s è il carico da neve sulla copertura; μ_i il coefficiente di forma della copertura; q_{sk} il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m^2], C_e il coefficiente di esposizione e C_t il coefficiente termico.

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Il coefficiente di forma μ_i generalmente usato per il carico da neve è indicato con valori nominali essendo α l'angolo formato dalla falda con l'orizzontale. Per coperture con inclinazione $< 30^\circ$ si ha un μ_i di 0,8.

Il carico della neve al suolo q_{sk} dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, oltre dalla variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona. In mancanza di adeguate indagini statistiche e studi locali che tengano conto sia dell'altezza del manto nevoso che della sua densità, il carico di riferimento neve al suolo, per località poste a quota inferiore ai 1500 m sul livello del mare,

non dovrà essere assunto minore di quello calcolato in base alle espressioni riportate nella seguente tabella a cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni. Si può pertanto affermare che q_{sk} è funzione della zona e dell'altitudine di riferimento a_s (quota del sito dell'edificio).

ZONA	PROVINCIE	$a_s \leq 200$ m [kN/m ²]	$a_s > 200$ m [kN/m ²]
I - Alpina	Aosta, Belluno, Bergamo, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza	$q_{sk} = 1,50$	$q_{sk} = 1,39[1+(a_s/728)^2]$
I - Mediterranea	Alessandria, Ancora, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese	$q_{sk} = 1,50$	$q_{sk} = 1,35[1+(a_s/602)^2]$
II	Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona	$q_{sk} = 1,00$	$q_{sk} = 0,85[1+(a_s/481)^2]$
III	Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo	$q_{sk} = 0,60$	$q_{sk} = 0,51[1+(a_s/481)^2]$

Tab. 7.1 Valori caratteristici di riferimento del carico neve al suolo (§ 3.4 NTC 2008)

Vimercate si trova in zona I a circa a 200 m s.l.m, perciò $q_{sk} = 1,5$ kN/m².

Il coefficiente di esposizione C_e è pari a 1 essendo l'edificio in un contesto urbano tra edifici di volumetria simile e quindi nel caso di topografia normale.

Il coefficiente termico C_t può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura.

In assenza di uno specifico studio è stato assunto pari a 1. Sostituendo i valori si è ottenuto un carico da nave di:

$$q_s = \mu q_{sk} C_e C_t = 0,8 \times 1,5 \text{ kN/m}^2 \times 1 \times 1 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

7.4 Predimensionamento e verifica del solaio tipo "Lignoton"

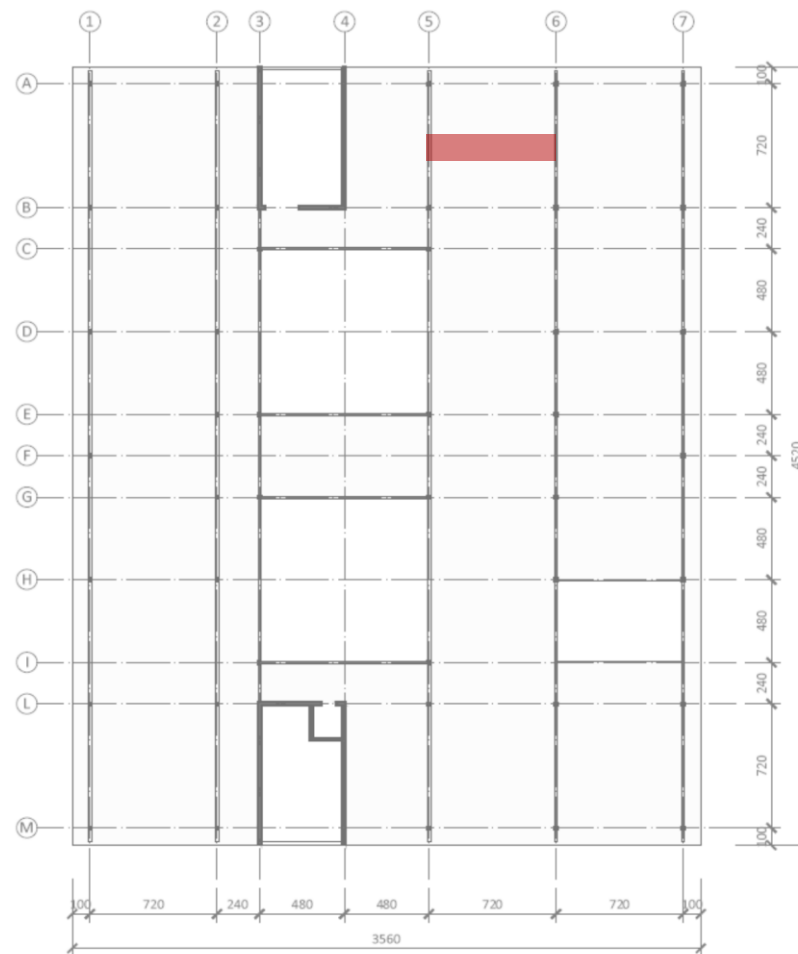


Fig. 7.6 Area di influenza critica del solaio preso in analisi

7.4.1 Carichi agenti

Si è proceduti ora al predimensionamento e alla verifica del solaio innovativo scelto, ovvero una soluzione mista XLam e calcestruzzo armato in parte gettato in opera. Per poter far questo è stato necessario definire i pesi permanenti strutturali e portati (dipendenti dai pacchetti tecnologici) e i carichi variabili caratteristici di quel tipo di edificio per quantificare il carico superficiale totale. Il peso proprio dell'elemento strutturale costituisce il primo passo della stima dei carichi. Il solaio prefabbricato di tipo Lignoton ha uno spessore di 20 cm ed è composto dai seguenti strati: pannello XLam di 10 cm (peso 4,2 kN/m³); getto collaborante in calcestruzzo armato di spessore 10 cm (peso 25,0 kN/m³). Di conseguenza il peso superficiale proprio degli elementi strutturali è di:

$$G_1 = 4,2 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,1 \text{ m} + 25,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,1 \text{ m} = 2,92 \text{ kN/m}^2$$

Le azioni permanenti sono dovute al peso proprio degli elementi non strutturali (G₂), pertanto si è considerato il peso degli altri strati non strutturali del solaio (composto da parte poggiate e appesa), gli impianti e il peso superficiale delle partizioni interne verticali (§ 3.1.3.1 D.M. 14/01/2008). Il solaio è stato approssimato ad una serie di strati principali il cui peso è stato opportunamente incrementato per una maggiore sicurezza come segue:

STRATO POGGIANTE		spessore (cm)	densità (kg/m ³)	peso sup. (kN/m ²)
1	Pavimentazione	2,00	1000	0,20
2	Massetto impianti	6,00	1400	0,84
STRATO APPESO				
3	Pannelli isolanti	4,00	95	0,38
4	Controsoffitto	1,31	-	0,14
IMPIANTISTICA				
-	-	-	-	0,50
PARTIZIONI				
-	-	-	-	0,80

Tab. 7.2 Computo del peso degli elementi non strutturali portati dal solaio

Il peso totale appeso è dunque di **G₂ = 2,82 kN/m²**. I carichi variabili in edifici scolastici, già individuati nel paragrafo precedente, sono di **Q_{k1} = 3,00 kN/m²**

7.4.1.1 Combinazione delle azioni

Determinati i carichi si è passati al calcolo delle combinazioni delle azioni effettivamente agenti sull'edificio di progetto secondo le NTC 2008.

- SLU: le azioni di calcolo si calcolano secondo la combinazione fondamentale:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

I coefficienti di combinazione utilizzati, indicati nel paragrafo §2.6.1 NTC ma comunque applicabili in modo flessibile entro certi intervalli di simulazione, sono $\gamma_{G1} = 1,0 \div 1,3$, $\gamma_{G2} = 0,0 \div 1,5$ e $\gamma_Q = 0,0 \div 1,5$. Dall'inserimento dei dati si è ottenuto un carico allo stato limite ultimo di **C_{slu} = 12,53 kN/m²**.

- SLE: le azioni sollecitanti di calcolo sono state calcolate, per maggior sicurezza, con la combinazione caratteristica (rara):

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Si è ottenuto un valore di combinazione dei carichi, da applicare sia quando l'edificio è operativo sia quando è soggetto all'azione da sisma (dal momento che i risultati ottenuti con ambedue le combinazioni, SLE e SISMA, sono risultati i medesimi) di **C_{sle rara} = 8,74 kN/m²**

7.4.1.2 Condizioni di carico

All'inizio del paragrafo è stata riportata la figura della pianta strutturale con evidenziato il caso più critico in cui si può trovare il solaio. In particolare, si è scelto il modulo di solaio prefabbricato che copre la luce maggiore nel piano, ovvero L = 7,2 m, e per maggiore sicurezza si suppone che tale solaio presenti degli appoggi a cerniera alle due estremità come riportato in figura:

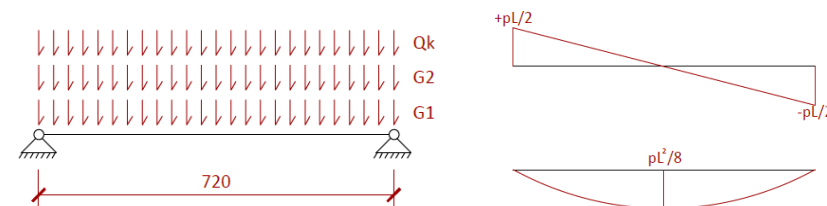


Fig. 7.7 Modello strutturale più critico utilizzato per il solaio

Per l'analisi sezionale è stata considerata una striscia di solaio di larghezza 0,80 m, ovvero il passo con il quale si ripetono le nervature in cls con i tralicci in acciaio. Le sagomature dentate garantiscono il comportamento solidale dell'elemento tecnico strutturale.

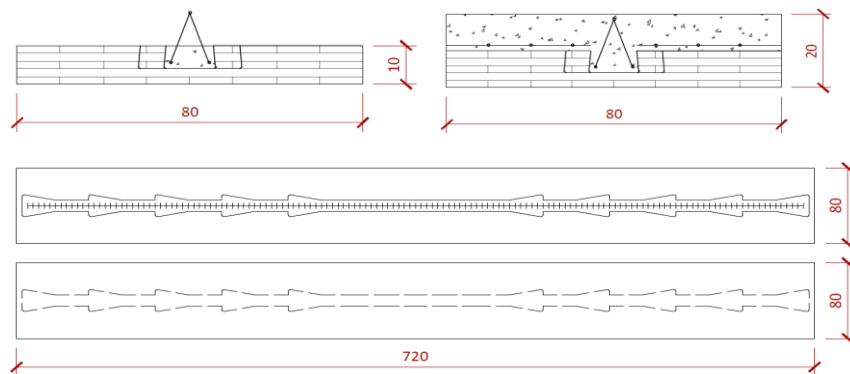


Fig. 7.8 Sezione tecnologica del modulo tipo del solaio prima e dopo il getto collaborante in cls. Essendo il solaio uniforme e resistente strutturalmente in ogni suo punto, l'area di influenza di ciascun modulo è esattamente uguale a quella occupata dal modulo stesso, per cui il carico lineare è stato ricavato nel seguente modo:

$$p_{slu} = C_{slu} \cdot L_{modulo} = 12,53 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,8 \text{ m} = 10 \text{ kN/m}$$

$$p_{sle \text{ rara}} = C_{sle \text{ rara}} \cdot L_{modulo} = 8,74 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,8 \text{ m} = 7 \text{ kN/m}$$

Da qui, è stato possibile ricavare con facilità le azioni di momento e di taglio critiche agenti sul solaio di luce 7,2m in ambedue le verifiche di SLU e di SLE.

$$M_{SLU} = 61 \text{ kNm} \text{ e } M_{SLE} = 45 \text{ kNm}$$

$$V_{SLU} = 36 \text{ kN} \text{ e } V_{SLE} = 25 \text{ kN}$$

7.4.2 Proprietà meccaniche dei materiali

Il solaio di tipo "Lignoton" presenta una sezione disomogenea pertanto è stato necessario, innanzitutto, determinare le caratteristiche meccaniche di ciascun materiale costituente la sezione, affinché si potesse poi analizzare il comportamento globale della sezione composita stessa.

Si precisa che le resistenze del calcestruzzo e del legno XLam sono state aggiornate a posteriori per rientrare nelle verifiche fatte, mentre per l'armatura si è proceduto con la correzione della sua area.

7.4.2.1 Legno XLam

Il valore di calcolo X_d è calcolabile mediante la seguente relazione (NTC§4.4.6):

$$X_d = k_{mod} \cdot X_k / \gamma_M$$

dove: X_k è il valore caratteristico della proprietà del materiale; γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza, per il legno XLam è di 1,45; k_{mod} tiene conto dell'effetto della durata del carico e dell'umidità della struttura, per cui essendo l'edificio permanente e con umidità controllata (classe di servizio I), il coefficiente correttivo assume un valore di 0,6.

Le resistenze nominali medie del pannello XLam scelto sono le seguenti: resistenza a trazione $f_{tkm \ x} = 11,7 \text{ MPa}$; resistenza a compressione $f_{ckm \ x} = 15,4 \text{ MPa}$; resistenza a taglio $f_{vkm \ x} = 3,5 \text{ MPa}$; modulo elastico $E_{d \ x \ m} = 7,0 \text{ GPa}$. Da qui derivano le resistenze di progetto: resistenza a trazione $f_{tdm \ x} = 5,0 \text{ MPa}$ ($f_{td//x} = 7,9 \text{ MPa}$); resistenza a compressione $f_{cdm \ x} = 6,5 \text{ MPa}$ ($f_{cd//x} = 9,9 \text{ MPa}$).

Il modulo elastico è stato ridotto tenendo conto dell'aumento di deformabilità del legno con il tempo per viscosità ed umidità secondo la seguente espressione (NTC§4.4.7):

$$E_{d \ x} = E_{k \ x} \cdot 1 / (1 + k_{def})$$

in cui $k_{def} = 0,6$ per la classe di servizio I. Perciò, il modulo elastico di progetto del componente ligneo del solaio è risultato di $E_{d \ x} = 3,9 \text{ GPa}$.

Si precisa che tali valori tengono già conto dell'alternanza degli strati con diversa orientazione delle fibre.

7.4.2.2 Calcestruzzo

Per la prova è stato utilizzato un calcestruzzo di tipo C25/30. La normativa prevede un'opportuna riduzione della sua resistenza nominale tramite le seguenti formule:

$$f_{ckc} = 0,83 \cdot R_{ck} = 0,83 \cdot 30 \text{ N/mm}^2 = 24,9 \text{ N/mm}^2 = 24,9 \text{ MPa} \quad (\text{NTC}\S 11.2.10.1)$$

$$f_{cd c} = \alpha_{cc} \cdot f_{ckc} / \gamma_c = 0,85 \cdot 24,9 \text{ MPa} / 1,5 = 14,1 \text{ MPa} \quad (\text{NTC}\S 4.1.2.1.1.1)$$

Il modulo elastico dipende dalla classe di resistenza a compressione del materiale, per cui la normativa usa la seguente formula (NTC§11.2.10.3):

$$E_{dc} = 22.000 \cdot [f_{cm} / 10]^{0,3}$$

Nel caso progettuale tratto si ha una f_{cm} di 25 N/mm² da cui si ottiene un modulo elastico di progetto lato calcestruzzo di $E_{dc} = 30,6 \text{ GPa}$.

7.4.2.3 Acciaio d'armatura

Per le armature longitudinali presenti nei tralici di connessione tra legno e cls si è utilizzato un acciaio del tipo B450C. La resistenza di progetto è stata calcolata secondo quanto prescritto dalla normativa:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_M = 450 \text{ N/mm}^2 / 1,15 = 391 \text{ MPa} \quad (\text{NTC}\S 4.3.3)$$

Il modulo elastico è sempre dato da norma ed è $E_s = 210 \text{ GPa}$ (NTC§11.3.4.1).

7.4.3 Analisi sezionale

A questo punto è stato possibile analizzare la sezione del solaio per studiarne il comportamento in fase elastica, trovando così la distribuzione degli sforzi e la posizione dell'asse neutro. Di seguito si illustra la sezione opportunamente semplificata del solaio che ha consentito un calcolo agevole delle aree.

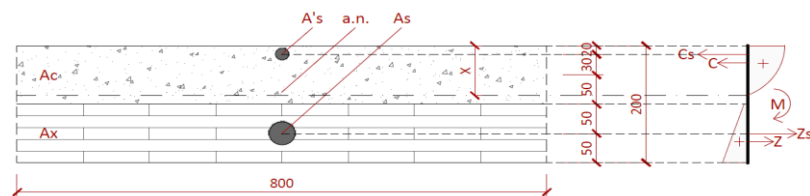


Fig. 7.9 Sezione semplificata del solaio utilizzata per le verifiche

Tale sezione ha un'area complessiva di $800 \times 200 = 160000 \text{ mm}^2$, suddivisa in legno XLam $A_x = 80000 \text{ mm}^2$, calcestruzzo $A_c = 80000 \text{ mm}^2$ e barre d'armatura del traliccio $A'_s = 314 \text{ mm}^2$ (1 $\phi 20$) e $A_s = 628 \text{ mm}^2$ (2 $\phi 20$). Inoltre, per l'analisi in fase elastica sono stati considerati i seguenti coefficienti di omogeneizzazione rispetto al cls: $n_{s/c} = 15$ come imposto da normativa (§4.3.2.1 del DM9/1/1996); $n_{x/c} = E_{dx} / E_{dc} = 0,13$.

L'area equivalente, della sezione disomogenea, è risultata di:

$$A_{ie} = A_c + n_{s/c} \cdot (A_s + A'_s) + n_{x/c} \cdot A_x = 104330 \text{ mm}^2$$

Noto A_{ie} si è calcolata la posizione dell'asse neutro, il quale passa per il baricentro inerziale dell'area. Ciascun baricentro G delle aree parziali omogeneizzate è stato misurato partendo dalla sommità della sezione del solaio, per cui anche la posizione dell'asse neutro è riferita al profilo superiore dell'orizzontamento.

$$X = (A_c \cdot G_c + n_{x/c} \cdot A_x \cdot G_x + n_{s/c} \cdot A'_s \cdot G'_s + n_{s/c} \cdot A_s \cdot G_s) / A_{ie} = 67 \text{ mm}$$

L'asse neutro è risultato molto prossimo al limite inferiore dello strato di calcestruzzo, grazie al contributo a trazione del legno e delle barre inferiori, pertanto lavora in modo efficace essendo quasi completamente in compressione. Inoltre, l'area d'armatura rispetta da norma il limite geometrico $(A_s + A'_s) > 1\% A_c = 640 \text{ mm}^2$ (NTC§7.4.6.2.2), così come il rapporto meccanico $(A_s + A'_s) > 0,10 \cdot N_{Ed} / f_{yd} = 180 \text{ mm}^2$ (NTC§4.3.3) e il vincolo tecnologico ($\phi \geq 12$).

7.4.4 Verifica SLU

Per questo stato limite, al fine di ottimizzare al meglio i calcoli, si è optato per la seguente strategia: si ipotizzano due situazioni a rottura della sezione secondo il modello plastico, ovvero gli sforzi generati dalla rotazione piana della sezione; una volta calcolati i momenti e le forze assiali che generano questi due scenari, si collegano graficamente i due punti nel piano N x M; si verifica infine che il punto delle azioni di progetto N_{slu} e M_{slu} si trovi al di sotto della linea di rottura.

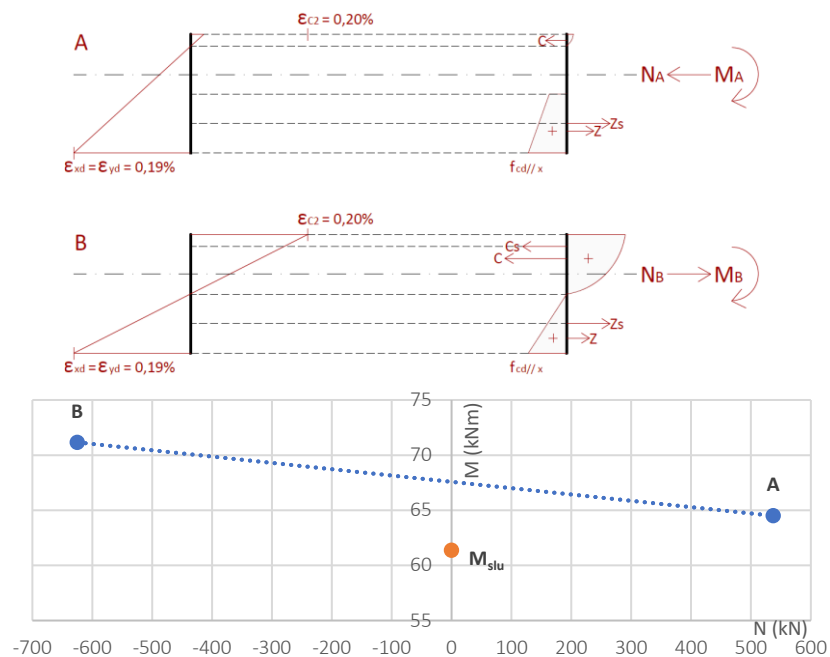


Fig. 7.10 Scenari di rottura e costruzione del dominio NxM per la verifica SLU

Per quanto riguarda i legami costitutivi di calcestruzzo e acciaio sono stati scelti rispettivamente i modelli parabola-rettangolo ed elastoplastico indefinito. Si precisa che le fibre del legno dello strato inferiore sono state opportunamente orientate in modo da reagire al massimo alla forza di trazione.

7.4.5 Verifica SLE RARA

Qui di seguito viene illustrata la sola verifica a flessione, in quanto è l'azione più critica per una luce così elevata. Il momento di progetto per la condizione rara di esercizio è pari a $MSLE = 45 \text{ kNm} = 45 \text{ MNmm}$, calcolato in precedenza nel paragrafo dei carichi agenti. Il calcolo degli sforzi è avvenuto tramite la classica formula di Saint Venant di pressoflessione di una sezione generica:

$$\sigma = N/A + y \cdot M_y / I_y$$

La forza assiale N è trascurabile in quanto si tratta di una trave semplicemente appoggiata, y è la distanza verticale del punto in questione dall'asse neutro e I_x è il momento d'inerzia verticale riferito all'intera area della sezione:

$$I_x = b \cdot h^3/12 + b \cdot h \cdot (h/2 - X)^2$$

Si è ottenuto quindi un momento d'inerzia di $I_x = 702840504 \text{ mm}^4$. A questo punto con la formula di Saint Venant e i dovuti coefficienti di omogeneizzazione sono stati ricavati gli sforzi massimi agenti su ciascun materiale, in modo da confrontarli con i rapporti di sicurezza da normativa:

$$\sigma_{c \max} = -6,45 \text{ N/mm}^2 = -6,45 \text{ MPa} < \sigma_{c \text{ sle rara}}$$

$$\sigma_{x \max} = 1,09 \text{ N/mm}^2 = 1,09 \text{ MPa} < f_{tdm x}$$

$$\sigma'_{y \max} = -45,88 \text{ N/mm}^2 = -45,88 \text{ MPa} < \sigma_{y \text{ sle rara}}$$

$$\sigma_{y \max} = 79,82 \text{ N/mm}^2 = 79,82 \text{ MPa} < \sigma_{y \text{ sle rara}}$$

dove nello specifico si hanno gli sforzi massimi consentiti in questo stato limite pari a $\sigma_{c \text{ sle rara}} = 0,6 f_{ck} = 14,94 \text{ MPa}$ (NTC§4.1.2.2.5.1), $\sigma_{y \text{ sle rara}} = 0,8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$ (NTC§4.1.2.2.5.1) e $\sigma_{x \text{ sle rara}} = 7,9 \text{ MPa}$. Inoltre, è stato necessario verificare la freccia causata dalla flessione del solaio, in quanto da norma per i solai generici non deve superare la seguente deformazione (NTC§4.2.4.2.2):

$$f_{sle \text{ rara}} < 1/350 L$$

dove $f_{sle \text{ rara}} = 5/384 (psle \text{ rara} \cdot L^4)/EI_x = 8 \text{ mm} < 21 \text{ mm}$, per cui è accettabile.

7.5 Predimensionamento e verifica travi in acciaio

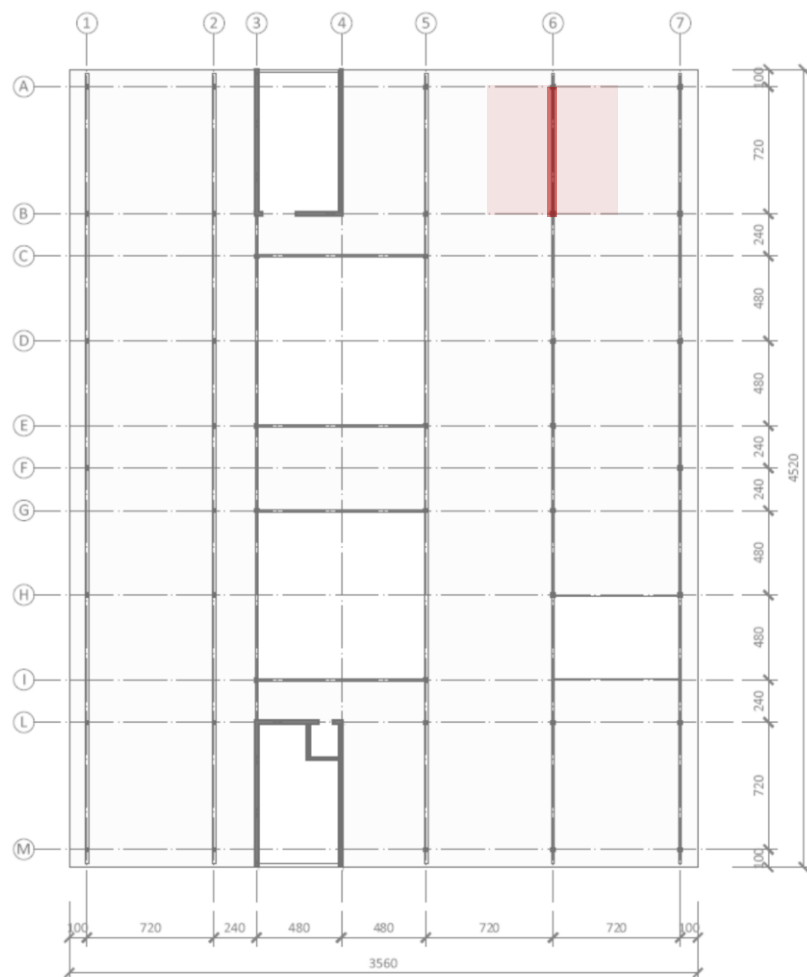


Fig. 7.11 Area di influenza critica della trave in acciaio presa in analisi

7.5.1 Carichi agenti

Si è proceduti ora al predimensionamento e alla verifica della trave in acciaio HEB220 che, tramite appositi connettori a pioli, collabora strutturalmente assieme al solaio misto analizzato nel paragrafo precedente. La prima operazione è stata quella della nuova stima dei carichi, distinguendoli sempre nelle tre categorie e esprimendoli linearmente in base all'area di influenza della trave (7,2m x 7,2m).

Il peso proprio è costituito dalla somma del peso lineare della trave stessa, approssimato a 0,70 kN/m, con il peso superficiale del solaio calcolato in precedenza, pari a 2,92 kN/m², distribuito su una lunghezza di influenza di 7,2m. Di conseguenza il peso lineare proprio degli elementi strutturali è risultato di:

$$G_1 = 0,70 \text{ kN/m} + 2,92 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,2 \text{ m} = 21,72 \text{ kN/m}$$

Le azioni permanenti sono dovute al peso proprio degli elementi non strutturali, pertanto si è utilizzato il valore già calcolato $G_2 = 2,82 \text{ kN/m}^2$, considerando la stessa identica stratigrafia e applicando tale peso su una lunghezza di 7,2 m. Si è ottenuto un peso portato permanente e linearizzato di $G_2 = 20,30 \text{ kN/m}$

I carichi variabili per le scuole vengono allo stesso modo ripresi e linearizzati secondo l'area di influenza presa in esame, ovvero $Q_{k1} = 21,60 \text{ kN/m}$

7.5.1.1 Combinazione delle azioni

Partendo dai carichi lineari appena calcolati si è passati al calcolo delle azioni effettivamente agenti sulla trave secondo quanto prescritto da normativa.

- SLU: le azioni di calcolo sono calcolate con la combinazione fondamentale:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

I coefficienti di combinazione utilizzati, indicati nel paragrafo §2.6.1 NTC ma comunque applicabili in modo flessibile entro certi intervalli di simulazione, sono $\gamma_{G1} = 1,0 \div 1,3$, $\gamma_{G2} = 0,0 \div 1,5$ e $\gamma_Q = 0,0 \div 1,5$. Dall'inserimento dei dati si è ottenuto un carico allo stato limite ultimo di $C_{slu} = 91,10 \text{ kN/m}^2$.

- SLE: le azioni sollecitanti di calcolo sono state calcolate, per maggior sicurezza, con la combinazione caratteristica (rara):

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Si è ottenuto un valore di combinazione dei carichi, da applicare sia quando l'edificio è operativo sia quando è soggetto all'azione da sisma (dal momento che i risultati ottenuti con ambedue le combinazioni, SLE e SISMA, sono risultati i medesimi) di $C_{sle,rara} = 63,63 \text{ kN/m}^2$

7.5.1.2 Condizioni di carico

All'inizio del paragrafo è stata riportata la figura della pianta strutturale con evidenziato il caso più critico in cui si può trovare la trave HEB220. In particolare, è stato scelto il tratto di luce maggiore che può capitare nel piano a cui corrisponde l'area di influenza massima, ovvero $A_i = 7,2\text{m} \times 7,2\text{m}$. Per maggiore sicurezza si suppone che tale trave presenti degli appoggi a cerniera nelle due estremità connesse ai pilastri come riportato nella figura seguente.

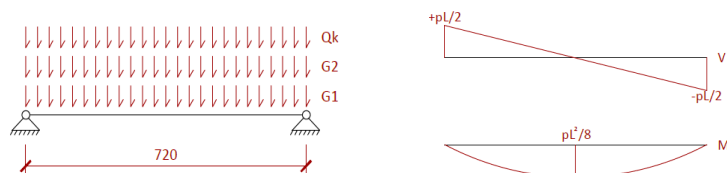


Fig. 7.12 Modello strutturale più critico utilizzato per la trave

Per l'analisi sezionale si è considerata una striscia di solaio larga 7,2 m, ovvero la larghezza dell'area di influenza. I connettori a piolo saldati sull'ala superiore della trave rendono solidale il comportamento dell'elemento, specialmente con il getto collaborante in calcestruzzo che lavora bene a compressione.

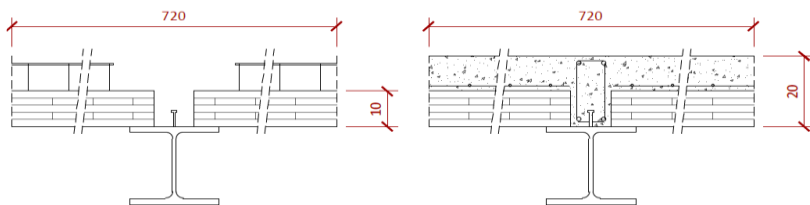


Fig. 7.13 Sezione tecnologica della trave + solaio prima e dopo il getto collaborante in cls

A questo punto si sono potute calcolare le azioni di momento e di taglio critici agenti sul sistema trave + solaio per le verifiche di SLU e SLE. In particolare:

$$M_{SLU} = 590 \text{ kNm} \quad \text{e} \quad M_{SLE} = 412 \text{ kNm}$$

$$V_{SLU} = 328 \text{ kN} \quad \text{e} \quad V_{SLE} = 229 \text{ kN}$$

7.5.2 Proprietà meccaniche dei materiali

Essendo la trave connessa al solaio di tipo "Lignoton" è stato necessario innanzitutto determinare le caratteristiche meccaniche non solo dell'acciaio da carpenteria, ma anche degli altri materiali dell'orizzontamento, affinché si potesse poi analizzare il comportamento complessivo della sezione tipo. Si precisa che le resistenze del calcestruzzo e dell'acciaio, così come il tipo di trave, sono state aggiornate a posteriori per rientrare nelle verifiche fatte, mentre per l'armatura si è proceduto con la correzione della sua area.

7.5.2.1 Legno XLam

In questo tipo di verifica il contributo del legno è stato considerato nullo, in quanto i pannelli prefabbricati, essendo disposti trasversalmente, non sono fatti per contrastare le sollecitazioni lungo la direzione della trave.

7.5.2.2 Calcestruzzo

Per la prova è stato utilizzato un calcestruzzo di tipo C25/30. La normativa prevede un'opportuna riduzione della sua resistenza nominale tramite le seguenti formule:

$$f_{ckc} = 0,83 \cdot R_{ck} = 0,83 \cdot 30 \text{ N/mm}^2 = 24,9 \text{ N/mm}^2 = 24,9 \text{ MPa} \quad (\text{NTCS}11.2.10.1)$$

$$f_{cd c} = \alpha_{cc} \cdot f_{ckc} / \gamma_c = 0,85 \cdot 24,9 \text{ MPa} / 1,5 = 14,1 \text{ MPa} \quad (\text{NTCS}4.1.2.1.1.1)$$

Il modulo elastico dipende dalla classe di resistenza a compressione del materiale, per cui la normativa usa la seguente formula (NTCS11.2.10.3):

$$E_{dc} = 22.000 \cdot [f_{cm} / 10]^{0,3}$$

Nel caso progettuale tratto si ha una f_{cm} di 25 N/mm^2 da cui si ottiene un modulo elastico di progetto lato calcestruzzo di

$$E_{dc} = 30,6 \text{ GPa.}$$

7.5.2.3 Acciaio d'armatura

Per le armature longitudinali presenti nei tralici di connessione tra legno e cls si è utilizzato un acciaio del tipo B450C. La resistenza di progetto è stata calcolata secondo quanto prescritto dalla normativa:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_M = 450 \text{ N/mm}^2 / 1,15 = 391 \text{ MPa} \text{ (NTC}\S 4.3.3)$$

Il modulo elastico è sempre dato da norma ed è

$$E_s = 210 \text{ GPa} \text{ (NTC}\S 11.3.4.1)$$

7.5.2.4 Acciaio da carpenteria

Per la trave che sostiene il solaio è stato scelto l'acciaio del tipo S355:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_M = 350 \text{ N/mm}^2 / 1,10 = 323 \text{ MPa} \text{ (NTC}\S 7.5.1)$$

Il modulo elastico è sempre dato da norma ed è

$$E_s = 210 \text{ GPa} \text{ (NTC}\S 11.3.4.1)$$

7.5.3 Analisi sezionale

A questo punto è stato possibile analizzare la sezione della trave + solaio per studiarne il comportamento in fase elastica, trovando così la distribuzione degli sforzi e la posizione dell'asse neutro. Qui di seguito si illustra la sezione opportunamente semplificata che ha permesso un calcolo agevole delle aree. Da notare come i pannelli XLam siano stati rimossi dal disegno in quanto non rilevanti ai fini del calcolo.

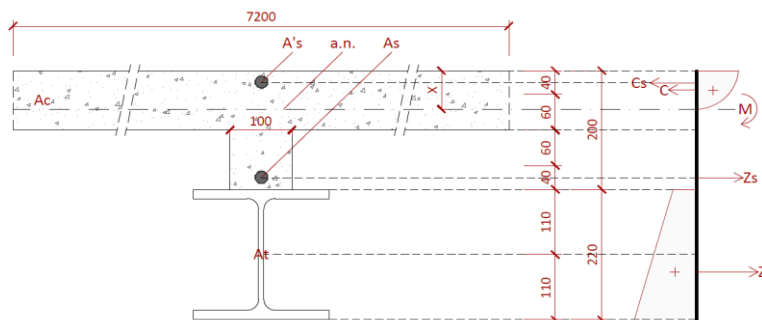


Fig. 7.14 Sezione semplificata di trave + solaio utilizzata per le verifiche

La parte della sezione occupata dal calcestruzzo ricopre un'area complessiva pari a $7200 \times 100 + 100 \times 100 = 730000 \text{ mm}^2$. Le aree delle barre d'armatura sono $A'_s = A_s = 628 \text{ mm}^2$ ($2\phi 20$) e quella della trave HEB220 è $A_t = 9100 \text{ mm}^2$. Per l'analisi in fase elastica è considerato il coefficiente di omogeneizzazione $n_{s/c} = 15$ da normativa (§4.3.2.1 del DM9/1/1996). L'area equivalente quindi è:

$$A_{ie} = A_c + n_{s/c} \cdot (A_s + A'_s + A_t) = 880500 \text{ mm}^2$$

A questo punto si è passati al calcolo della posizione dell'asse neutro, il quale passa per il baricentro inerziale dell'area. Ciascun baricentro G delle aree parziali omogeneizzate è stato misurato partendo dal profilo superiore, per cui anche la posizione dell'asse neutro è riferita al profilo superiore dell'elemento strutturale.

$$X = (A_c \cdot G_c + A'_c \cdot G'_c + n_{s/c} \cdot A'_s \cdot G'_s + n_{s/c} \cdot A_s \cdot G_s + n_{s/c} \cdot A_t \cdot G_t) / A_{ie} = 92 \text{ mm}$$

L'asse neutro è risultato molto prossimo al limite inferiore dello strato di calcestruzzo, grazie al contributo a trazione della trave sottostante, pertanto lavora in modo efficace essendo quasi completamente in compressione.

7.5.4 Verifica SLU

Per questo stato limite, al fine di ottimizzare al meglio i calcoli, si è optato per la seguente strategia: si ipotizzano due situazioni a rottura della sezione secondo il modello plastico, ovvero gli sforzi generati dalla rotazione piana della sezione; una volta calcolati i momenti e le forze assiali che generano questi due scenari, si collegano graficamente i due punti nel piano N x M; si verifica infine che il punto delle azioni di progetto N_{slu} e M_{slu} si trovi al di sotto della linea di rottura. Per quanto riguarda i legami costitutivi di calcestruzzo e acciaio si sono scelti rispettivamente i modelli parabola-rettangolo ed elastoplastico indefinito.

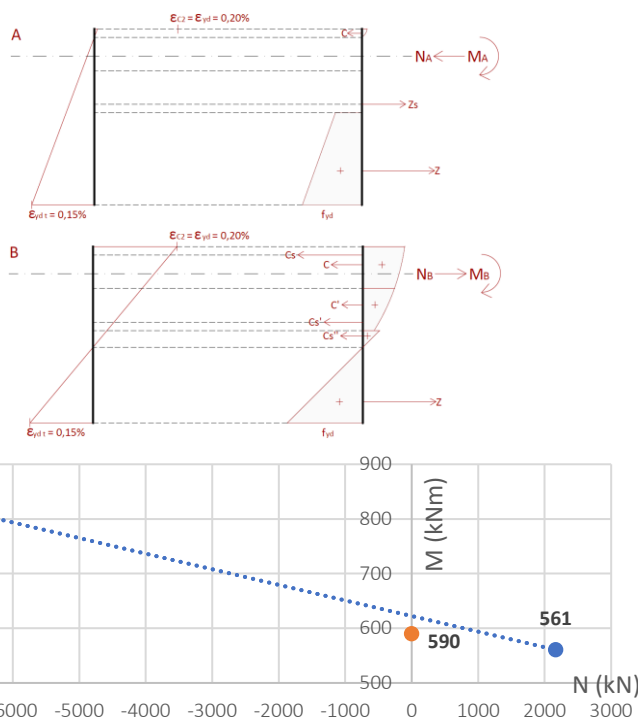


Fig. 7.15 Scenari di rottura e costruzione del dominio NxM per la verifica SLU

A conclusione di questa verifica si ricordano le seguenti considerazioni adottate: la sezione è stata considerata unica con regolare trasmissione degli sforzi in quanto si assume che le connessioni a piolo siano presenti in numero sufficiente da garantire tale comportamento; l'ipotesi di appoggi a cerniera e la mancanza di contributi da parte del legno è molto cautelativa, per cui anche se il momento di progetto è molto vicino alla linea di rottura si può garantire comunque un ampo margine di sicurezza da parte del sistema trave-solaio.

7.5.5 Verifica SLE RARA

Qui di seguito è stata illustrata la sola verifica a flessione, in quanto è l'azione più critica per una luce così elevata. Il momento di progetto per la condizione rara di esercizio è pari a $M_{SLE} = 412 \text{ kNm} = 412 \text{ MNmm}$, calcolato in precedenza. Il calcolo degli sforzi è avvenuto tramite la classica formula di Saint Venant di pressoflessione di una sezione generica, vista nel paragrafo 7.4.5. Analogamente, alla verifica SLE del solaio, anche in questo caso si è calcolato il momento d'inerzia verticale I_x riferendolo all'intera area della sezione:

$$I_x = b_{cls} \cdot h_{cls}^3 / 12 + b_{cls} \cdot h_{cls} \cdot (h_{cls} / 2 - X)^2 + W_t + A_t \cdot (h_{cls} + h_t / 2 - X)^2$$

Ottenendo un momento d'inerzia dell'intera sezione (escludendo sempre lo strato in XLam) di $I_x = 2458428264 \text{ mm}^4$. A questo punto con la formula di Saint Venant e i dovuti coefficienti di omogeneizzazione sono stati ricavati gli sforzi massimi agenti su ciascun materiale, in modo da confrontarli con i rapporti di sicurezza forniti da normativa. Si può notare come l'ampia area di cls reagente del solaio diminuisca notevolmente gli sforzi sopportati da quest'ultimo, mentre la trave in acciaio concentra su di sé sforzi di trazione molto più elevati. Di seguito si riportano gli sforzi massimi per ciascun tipo di materiale:

$$\sigma_c \max = - 2,39 \text{ N/mm}^2 = - 2,39 \text{ MPa} < \sigma_{c \text{ sle rara}}$$

$$\sigma_t \max = 127 \text{ N/mm}^2 = 127 \text{ MPa} < \sigma_{t \text{ sle rara}}$$

$$\sigma'_y \max = - 28,09 \text{ N/mm}^2 = - 28,09 \text{ MPa} < \sigma_{y \text{ sle rara}}$$

$$\sigma_y \max = 34,03 \text{ N/mm}^2 = 34,03 \text{ MPa} < \sigma_{y \text{ sle rara}}$$

dove nello specifico si hanno gli sforzi massimi consentiti in questo stato limite pari a $\sigma_{c \text{ sle rara}} = 0,6 f_{ck} = 14,94 \text{ MPa}$ (NTC§4.1.2.2.5.1), $\sigma_{y \text{ sle rara}} = 0,8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$ (NTC§4.1.2.2.5.1) e $\sigma_{t \text{ sle rara}} = 258 \text{ MPa}$.

Infine, è avvenuta la verifica della freccia causata dalla flessione del solaio (NTC§4.2.4.2.2):

$$f_{\text{sle rara}} < 1/350 L$$

in cui $f_{\text{sle rara}} = 5/384 (p_{\text{sle rara}} \cdot L^4) / EI_x = 13 \text{ mm} < 21 \text{ mm}$, per cui è accettabile.

7.6 Predimensionamento e verifica pilastri in acciaio

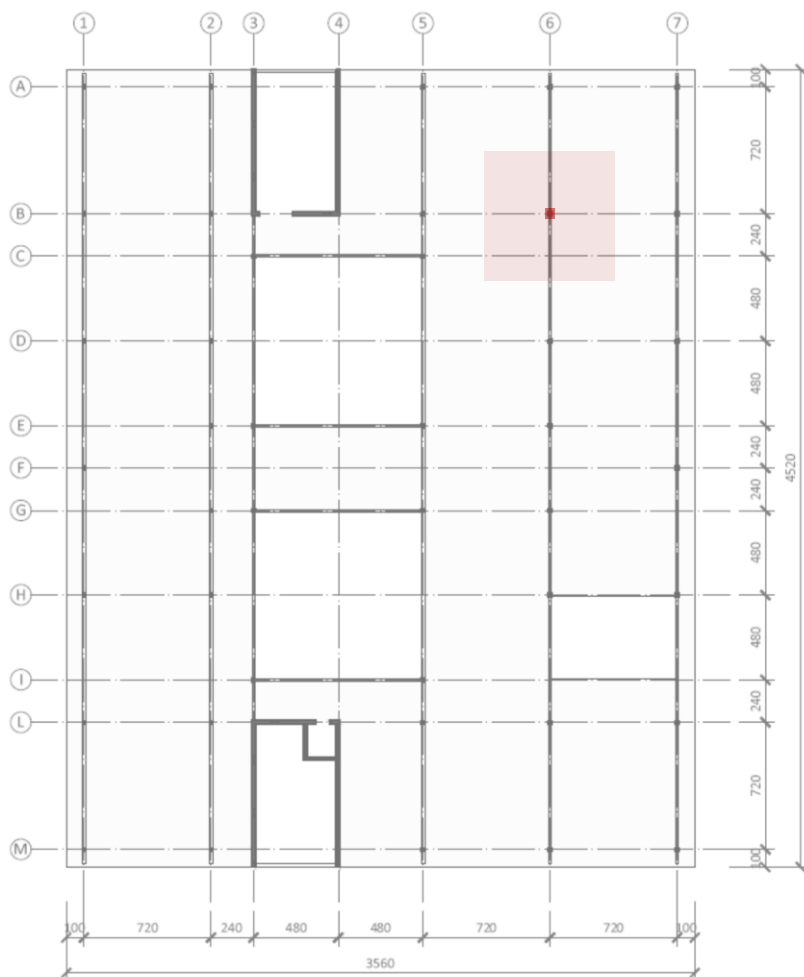


Fig. 7.16 Area di influenza critica del pilastro in acciaio preso in analisi

7.6.1 Carichi agenti

Si è proceduti ora al predimensionamento e alla verifica del pilastro in acciaio, il quale oltre al peso proprio percepisce puntualmente i carichi provenienti dagli impalcati soprastanti lavorando a semplice compressione. La prima operazione è stata quella della nuova stima dei carichi, distinguendoli come sempre nelle tre categorie ed esprimendoli puntualmente in base all'area di influenza del pilastro (7,2m x 7,2m).

Il peso proprio lineare del pilastro è stato approssimato a

$$G_1 = 0,70 \text{ kN/m}$$

Le azioni permanenti sono dovute al peso proprio degli elementi sostenuti, pertanto si è utilizzato il peso strutturale e portato del solaio analizzato in precedenza, travi incluse, applicandolo sull'area di influenza:

$$G_1' = 2,82 \text{ kN/m}^2 \cdot (7,2 \text{ m})^2 + 0,70 \text{ kN/m} \cdot 7,2 \text{ m} = 151 \text{ kN}$$

$$G_2 = 2,92 \text{ kN/m}^2 \cdot (7,2 \text{ m})^2 = 151 \text{ kN}$$

I carichi variabili per le scuole vengono allo stesso modo ripresi e linearizzati secondo l'area di influenza presa in esame, ovvero di

$$Q_{k1} = 3 \text{ kN/m}^2 \cdot (7,2 \text{ m})^2 = 156 \text{ kN}$$

7.6.1.1 Condizioni di carico e combinazione delle azioni

È stato esaminato, come caso critico, il pilastro evidenziato nella figura 7.16. Esso presenta l'area di influenza maggiore ed è posto al piano terreno, per cui accumula su di sé il peso di tutti gli impalcati superiori e quello proprio nella sua interezza. Detto ciò, partendo dai carichi lineari e puntuali appena calcolati, sono state calcolate le azioni effettivamente agenti alla base secondo quanto prescritto da normativa.

- SLU: le azioni sollecitanti di calcolo sono calcolate secondo la combinazione fondamentale:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

I coefficienti di combinazione utilizzati, indicati nel paragrafo §2.6.1 NTC ma comunque applicabili in modo flessibile entro certi intervalli di simulazione, sono $\gamma_{G1} = 1,0 \div 1,3$, $\gamma_{G2} = 0,0 \div 1,5$ e $\gamma_Q = 0,0 \div 1,5$. Dall'inserimento dei dati si è ottenuto in un primo passaggio il carico permanente e accidentale di un singolo piano $P_{slu\ piano} = 657\text{ kN}$ e quello proprio del pilastro $C_{slu\ pilastro} = 0,91\text{ kN/m}$. Dato che la copertura presenta carichi leggermente inferiori del solaio di interpiano, per una maggiore sicurezza e comodità di calcolo sono stati considerati i solai tutti di quest'ultimo tipo. Essendo il pilastro alto 12m e supportando tre solai, il carico complessivo alla base è risultato di

$$N_{Ed} = P_{slu\ piano} \cdot 3 + C_{slu\ pilastro} \cdot 12\text{ m} = 1980\text{ kN}$$

7.6.2 Verifica SLU

Per i pilastri semplicemente compressi l'unica verifica da far rispettare è stata quella dello stato limite ultimo, in quanto non ci sono restrizioni di tipo estetico nelle condizioni di esercizio. Si illustrano di seguito le fasi seguite per il dimensionamento della sezione di progetto, secondo le modalità indicate nel capitolo 4.2.4.1 delle NTC2008.

7.6.2.1 Predimensionamento per compressione semplice

La normativa pone di base la seguente condizione $N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$ (NTC§4.2.4.1.2). Per effettuare il predimensionamento si è ipotizzato che lo sforzo normale critico N_{cr} sia pari a quello di progetto N_{Ed} ; dall'inversione dell'equazione del carico critico $N_{Ed} = A \cdot f_{yk} / \gamma_{M0}$ è stata ricavata l'area minima richiesta:

$$A_{MIN} = N_{Ed} \cdot \gamma_{M0} / f_{yk} = 2072\text{ kN} \cdot 1,05 / 275\text{ N/mm}^2 = 7560\text{ mm}^2$$

Dal profilario si è scelto un possibile profilo in acciaio del tipo S275, tale da garantire la resistenza a compressione, HEA240 di area $A = 7680\text{ mm}^2$.

7.6.2.2 Verifica instabilità a compressione

La verifica di stabilità a compressione è stata effettuata nell'ipotesi che la sezione trasversale sia uniformemente compressa. Si è innanzitutto verificata la condizione $N_{Ed} \leq N_{B,Rd}$, in cui la resistenza all'instabilità è pari a

$$N_{B,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yk} / \gamma_{M1}$$

I calcoli utili per la verifica della resistenza all'instabilità di un'asta compressa sono stati effettuati iniziando ad inserire nelle formule i dati geometrici di un profilo scelto; dopodichè ci si è accertati che la verifica $N_{Ed} \leq N_{B,Rd}$ risultasse soddisfatta. Scoprendo che il profilo da predimensionamento HEA240 non desse esito positivo a tale verifica, si è mostrato necessario rieffettuare il calcolo con il profilo successivo HEA260.

Il carico critico elastico per la sezione lorda è risultato di:

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot I_z / h_0^2 = 13530\text{ kN} \quad (\text{NTC}\S 4.2.4.1.3)$$

dove I_z è il momento di inerzia ricavato dal profilario e h_0 è l'altezza di libera inflessione, cioè la quota interpiano che nel nostro caso misura 4,00 m. Si è calcolato il rapporto

$$N_{Ed} / N_{cr} = 0,15 > 0,04 \quad (\text{NTC}\S 4.2.4.1.2)$$

quindi si sono confermati i fenomeni di instabilità. A questo punto per trovare l'azione assiale resistente $N_{B,Rd}$ è stato necessario determinare dei coefficienti moltiplicativi che tenessero conto di come varia la curva di instabilità al variare del tipo di acciaio e di sezione.

7.6.2.3 Classificazione delle sezioni

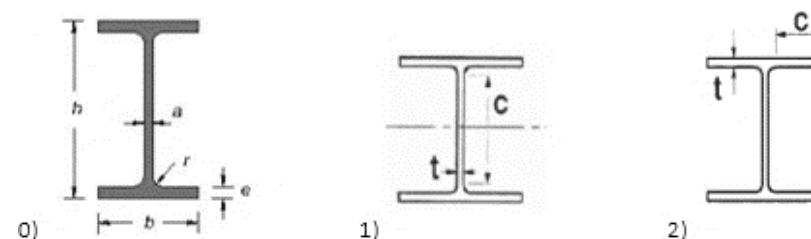


Fig. 7.17 Misure dei componenti delle sezioni tratte dal profilario e dalla tabella 4.2.II delle NTC

1) MASSIMI RAPPORTI LARGHEZZA SPESSORE PER PARTI COMPRESSE: considerando il profilo HEA260 si è ricavato che $c = 177\text{ mm}$ e $t = 7,5\text{ mm}$. Si è calcolato inoltre l'indice legato al tipo di acciaio $\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}} = 0,92$ utilizzando l'S275 (NTC§4.2.3.1). Dato che $c/t = 23,60 \leq 30,36 = 33\epsilon$, ci si è accertati che l'anima rientrasse nella classe 1.

2) MASSIMI RAPPORTI LARGHEZZA SPESSORE PER PARTI COMPRESSE: considerando sempre il profilo HEA260 sono stati ricavati stavolta i valori $c = 102 \text{ mm}$ e $t = 12,5 \text{ mm}$. Dato che $c/t = 8,18 \leq 8,28 = 9 \epsilon$, ci si è accertati che le ali rientrassero nella classe 1.

7.6.2.4 Risultati finali

Accertata la classe a compressione 1, si è calcolata la snellezza adimensionale:

$$\lambda^* = ((A \cdot f_{yk}) / N_{cr})^{1/2} = 0,42 > 0,20$$

Dal prospetto 4.2.VI delle NTC2008, è stato determinato il coefficiente α , legato al tipo di materiale, al rapporto adimensionale tra l'altezza e la base della sezione e allo spessore dell'ala. Essendo $h/b = 1,04 < 1,2$ e $t_f = 12,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$, la curva di instabilità da considerare è stata quella di tipo c alla quale corrisponde $\alpha = 0,49$. Successivamente è stato possibile calcolare il fattore di imperfezione in tal modo

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda^* - 0,2) + \lambda^{*2}] = 0,64$$

e da qui arrivare al calcolo del fattore di riduzione della resistenza assiale

$$\chi = 1 / [\phi + (\phi^2 - \lambda^{*2})^{1/2}] = 0,89 \leq 1$$

Si è ottenuto così che

$$N_{B,Rd} = 2016 \text{ kN} \geq 1980 = N_{Ed}$$

per cui il pilastro HEA260 è risultato verificato. Per tutti gli altri casi del piano terra e dei piani superiori si è scelto di mantenere, per questioni sia estetiche che tecnologiche, tutti pilastri di queste dimensioni, anche se presentano una minore sollecitazione a compressione.

7.7 Verifica sismica degli elementi di controvento

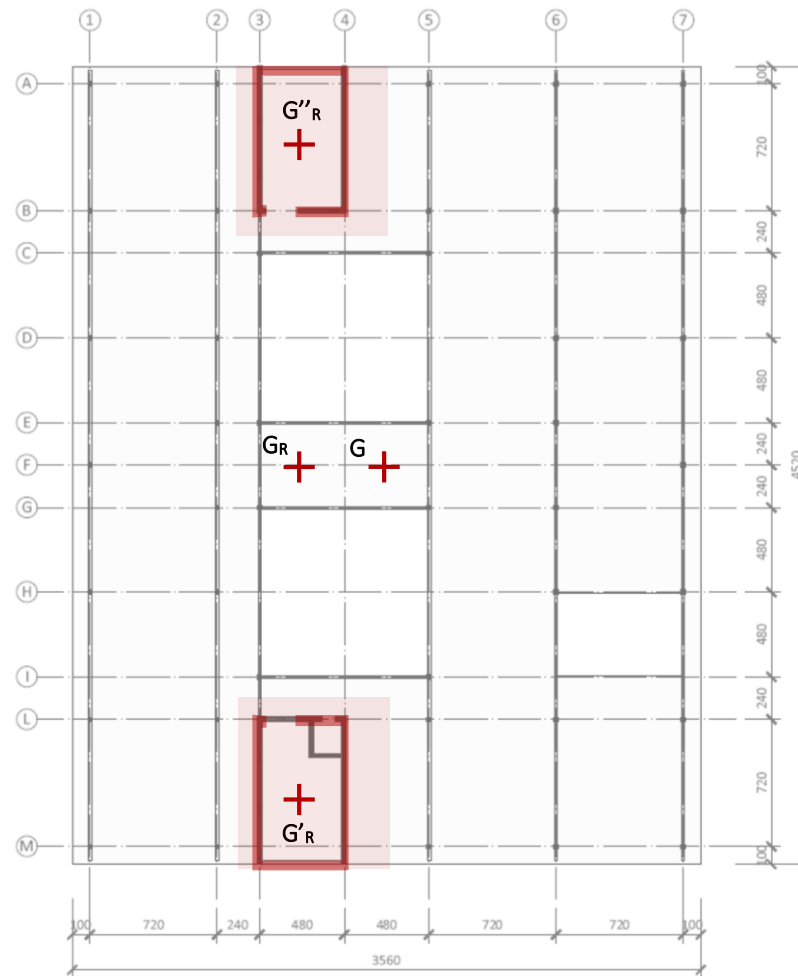


Fig. 7.18 Area di influenza dei controventi in XLam

7.7.1 Analisi dei carichi sismici

Partendo dai carichi verticali sono stati utilizzati i seguenti valori calcolati nelle verifiche precedenti: $G_1 = 0,84 \text{ kN/m}^3$ (densità del pannello XLam spesso 20 cm); $G_{1 \text{ solaio}} = 2,82 \text{ kN/m}^2$ e $G_{2 \text{ solaio}} = 2,92 \text{ kN/m}^2$ (solaio distinto in portante e appeso); $Q_{k1} = 3 \text{ kN/m}^2$. I coefficienti moltiplicativi invece sono stati presi dalla combinazione sismica rappresentata nella formula sottostante (NTC§2.5.3):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Essendoci un solo carico variabile, il coefficiente correttivo è stato applicato solo a Q_{k1} , pari a $\psi_{21}=0,6$, e si ottenuto il nuovo peso sismico del solaio:

$$C_{SISMA} = G_{1 \text{ solaio}} + G_{2 \text{ solaio}} + \psi_{21} \cdot Q_{k1} = 7,54 \text{ kN/m}^2$$

Data l'area di un piano, $A_{\text{solaio}} = 1390 \text{ m}^2$, si è moltiplicato il C_{SISMA} per l'area del solaio di ciascuno dei tre orizzontamenti ottenendo così i carichi verticali agenti sul singolo piano e sull'intera struttura:

$$W_{ED \text{ solaio}} = 10480 \text{ kN}$$

$$W_{ED \text{ TOT}} = W_{ED \text{ solaio}} \cdot 3 \text{ solai} = 31440 \text{ kN}$$

7.7.1.1 Calcolo delle forze orizzontali sismiche

Secondo l'analisi lineare statica (NTC§7.3.3.2) le forze orizzontali agenti sull'edificio (considerando rilevanti solo i solai) sono date dalla seguente formula:

$$F_i = F_h \cdot z_i \cdot W_i / \sum_j z_j \cdot W_j$$

$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g$$

in cui: $S_d(T_1) = S_{dSLV} = 0,082g$; $W = W_{ED \text{ TOT}} = 31440 \text{ kN}$; $\lambda = 0,85$ poichè il periodo proprio $T_1 < 2T_C$; z_i è la quota del solaio i -esimo; $W_i = W_{ED \text{ SOLAIO}} = 10480 \text{ kN}$.

Si è calcolato il valore fisso di F_h , risultato di 2191 kN, ed inoltre per tener conto degli eventuali momenti torcenti accidentali, i carichi orizzontali agenti lungo le direzioni x e y sono stati incrementati secondo il fattore

$$\delta = 1 + 0,6 X / L_e$$

dove: $X = 5,1\text{m}$ è la distanza tra il baricentro geometrico G del piano e quello resistente G_R del controvento; $L_e = 43,2\text{m}$ è la distanza tra i due elementi resistenti più lontani. Sostituendo i valori si è ricavato un fattore amplificatore di $\delta = 1,07$. A questo punto è stato possibile, applicare la formula iniziale e calcolare le forze agenti per ciascun piano $F_1 = 391 \text{ kN}$, $F_2 = 781 \text{ kN}$ e $F_3 = 1172 \text{ kN}$, che sommate hanno dato la forza orizzontale totale $F = 2344 \text{ kN}$.

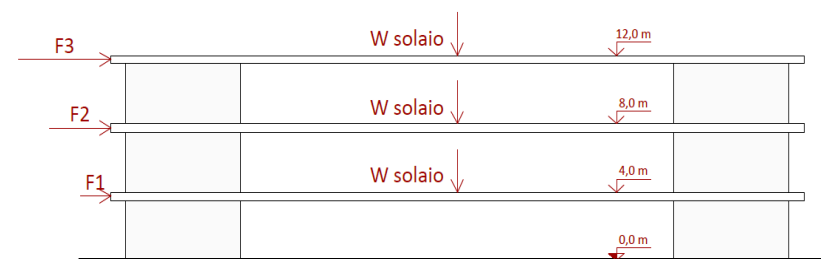


Fig. 7.19 Schema dei carichi sismici verticali ed orizzontali dell'edificio

I momenti torcenti sono stati calcolati aggiungendo per sicurezza il 5% dell'eccentricità.

Sisma lungo x :

$$e_y = 0,0\text{m} + 0,05 \cdot 45,2\text{m} = 2,3\text{m} \quad F_x = 2344 \text{ kN} \quad M_{Hx} = 5392 \text{ kNm}$$

Sisma lungo y :

$$e_x = 5,1\text{m} + 0,05 \cdot 35,6\text{m} = 6,9\text{m} \quad F_y = 2344 \text{ kN} \quad M_{Hy} = 16176 \text{ kNm}$$

7.7.1.2 Confronto con le azioni orizzontali del vento

Si sono ripetuti i calcoli delle azioni orizzontali considerando questa volta la spinta del vento, in modo da capire quale dei due elementi sia predominante per dimensionare il controvento. Per questo sono stati ripresi i valori di spinta massimi diretti e indiretti (le spinte tangenziali sono trascurabili) calcolati all'inizio del capitolo e si ipotizzano costanti per tutta l'altezza dell'edificio, cioè $p_{\text{max d}}(z=12\text{m}) = 506 \text{ Pa}$ e $p_{\text{max i}}(z=12\text{m}) = -253 \text{ Pa}$. Da qui si è passati subito al calcolo dell'azione orizzontale complessiva nelle due direzioni considerate,

sovrapponendo gli effetti diretti e indiretti e moltiplicando la pressione totale per il lato dell'edificio:

$$P_x = (p_{\max d} - p_{\max i}) \cdot L_y \cdot H = 759 \text{ Pa} \cdot 45,2 \text{ m} \cdot 12 \text{ m} = 412 \text{ kN}$$

$$P_y = (p_{\max d} - p_{\max i}) \cdot L_x \cdot H = 759 \text{ Pa} \cdot 35,6 \text{ m} \cdot 12 \text{ m} = 324 \text{ kN}$$

In conclusione, si è notato come le azioni orizzontali compressive del vento siano nettamente inferiori rispetto a quelle del sisma e perciò d'ora in avanti si sono condotte le verifiche utilizzando solo le forze generate dall'azione del sisma.

7.7.1.3 Calcolo delle reazioni a taglio sui controventi

Per dimensionare il controvento si è scelto di analizzare la zona che riceve le maggiori sollecitazioni, ovvero il basamento del vano scale posto al piano terreno. È stato necessario, inoltre, applicare l'azione sismica in entrambe le direzioni x e y in modo da scoprire quali casi generassero maggiori sollecitazioni sui setti in XLam. Per agevolare i conti si è applicata la sovrapposizione degli effetti spinta + momento, mentre i due controventi sono stati ridotti ai rispettivi baricentri G_R' e G_R'' poiché i quattro setti che li compongono lavorano solidali come un profilo tubolare.

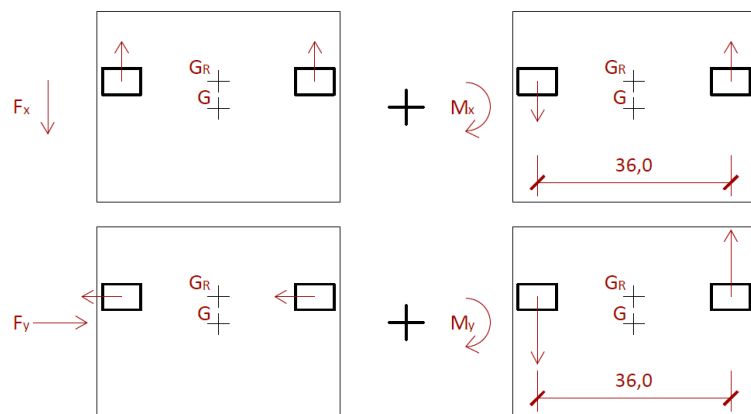


Fig. 7.20 Schema sovrapposizione degli effetti sismici di spinta e momento orizzontale lungo x e y

Sisma in direzione x (F_x ; M_{Hx}):

$$V_{xx \min} = 1022 \text{ kN}$$

$$V_{xx \max} = 1322 \text{ kN}$$

$$V_{xy} = 0 \text{ kN}$$

Sisma in direzione y (F_y ; M_{Hy}):

$$V_{yx} = 450 \text{ kN}$$

$$V_{yy} = 1172 \text{ kN}$$

7.7.1.4 Calcolo dei momenti agenti sui controventi

La ripartizione delle forze orizzontali sui due controventi è avvenuta allo stesso modo su tutti i livelli, perciò per calcolare i momenti agenti sui due elementi è bastato applicare F'_1 , F'_2 ed F'_3 ridotti secondo la proporzione V / F .

$$M_{xx} = \sum_i F_i \cdot z_i \cdot (V_{xx \max} / F) = 12338 \text{ kNm}$$

$$M_{xy} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{yx} = \sum_i F_i \cdot z_i \cdot (V_{yx} / F) = 4200 \text{ kNm}$$

$$M_{yy} = \sum_i F_i \cdot z_i \cdot (V_{yy} / F) = 10938 \text{ kNm}$$

7.7.1.5 Calcolo della compressione assiale alla base

I due vani scala in XLam sono identici, per cui d'ora in poi se ne analizza uno solo. Il vano scala ha un'area di influenza di $A' = 81 \text{ m}^2$ e per cui la forza normale risultata è di

$$N_{Ed} = C_{SISMA} \cdot A' \cdot 3 \text{ piani} + G_1 \cdot L_{S1} \cdot H = 2074 \text{ kN}$$

Essendo il baricentro G' decentrato di $e = 60 \text{ cm}$ rispetto a quello resistente G_R' , è stato aumentato il momento agente di $C_{SISMA} \cdot A' \cdot 3 \cdot e = 3W' \cdot e = 1100 \text{ kNm}$ lungo x:

$$M_{xx} = 13438 \text{ kNm}$$

$$M_{yx} = 5300 \text{ kNm}$$

7.7.2 Verifica di resistenza dei controventi

Avendo ora a disposizione tutte le sollecitazioni massime subite dai due tipi di setti, si è passati alla verifica vera e propria assicurandosi che $N_{ed} \leq N_{Rd}$.

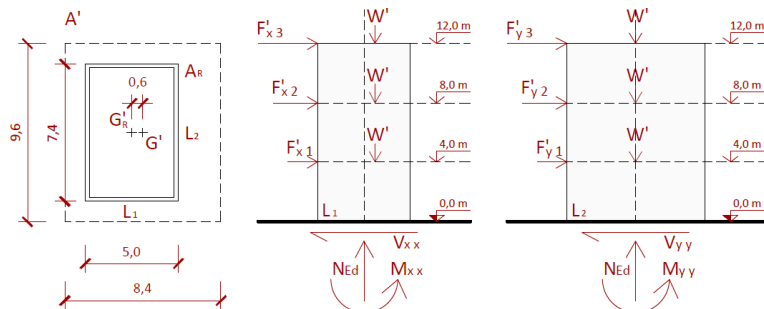


Fig. 7.21 Schema dei carichi sismici agenti sui due tipi di setti del controvento oggetto di verifica

7.7.2.1 Caratteristiche meccaniche del pannello XLam

Il valore di calcolo X_d è stato ricavato mediante la seguente relazione (NTC§4.4.6):

$$X_d = k_{mod} \cdot X_k / \gamma_M$$

In particolare, X_k è il valore caratteristico della proprietà del materiale; γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza che nel caso dell'XLam è di 1,45; k_{mod} tiene conto dell'effetto della durata del carico e dell'umidità della struttura, per cui essendo l'edificio nella classe di servizio I, tale coefficiente correttivo è di 0,6.

Le resistenze nominali medie del pannello XLam scelto sono: resistenza a trazione $f_{tkm\ x} = 11,7$ MPa; resistenza a compressione $f_{ckm\ x} = 15,4$ MPa; resistenza a taglio $f_{vkm\ x} = 3,5$ MPa; modulo elastico $E_{d\ x\ m} = 7,0$ GPa.

Da cui sono state ricavate le seguenti resistenze di progetto: resistenza a trazione $f_{tdm} = 5,0$ MPa; resistenza a compressione $f_{cdm} = 6,5$ MPa; resistenza a taglio $f_{vdm} = 6,5$ MPa.

Il modulo elastico è stato ridotto tenendo conto dell'aumento di deformabilità del legno con il tempo per viscosità ed umidità secondo la seguente formula:

$$E_d = E_k \cdot 1 / (1 + k_{def}) \quad (\text{NTC}\S 4.4.7)$$

in cui $k_{def} = 0,6$ per la classe di servizio I, perciò:

$$E_d = 3,9 \text{ GPa}$$

Si precisa che tali valori tengono già conto dell'alternanza degli strati con diversa orientazione delle fibre e quindi della prestazione media del pannello in XLam.

7.7.2.2 Verifica a pressoflessione

Lo scopo di questa verifica è stato quello di assicurare che gli sforzi massimi derivanti dalla pressoflessione di progetto non superassero quelli di resistenza del pannello, cioè

$$\sigma_{Ed} \leq f_{Rd}$$

Il calcolo degli sforzi massimi da pressoflessione è stato fatto tramite la formula classica di Saint Venant che combina i momenti in entrambe le direzioni x e y:

$$\sigma = N / A + M_x / I_x \cdot x + M_y / I_y \cdot y$$

Noto lo spessore $sp = 20$ cm dei setti e i lati $L_1 = 4,8$ m ed $L_2 = 7,2$ m, si sa che l'area di base reagente del controvento è pari a $A_R = 2 (4,8 + 7,2) \cdot 0,2 = 4,8$ m². I momenti d'inerzia riferiti alle aree di base dei due setti considerati sono risultati di:

$$I_x = (L_2 + sp) \cdot (L_1 + sp)^3 / 12 - (L_2 - sp) \cdot (L_1 - sp)^3 / 12 = 20,30 \text{ m}^4$$

$$I_y = (L_1 + sp) \cdot (L_2 + sp)^3 / 12 - (L_1 - sp) \cdot (L_2 - sp)^3 / 12 = 37,36 \text{ m}^4$$

A questo punto, avendo a disposizione tutte le informazioni, si sono calcolati gli sforzi massimi agenti alla base del vano scale

$$\sigma_{cx\ max} = N / A_R + M_{xx} / I_x \cdot (L_1 / 2) = 2,09 \text{ MPa} < f_{cdm}$$

$$\sigma_{cy\ max} = N / A_R + M_{yx} / I_x \cdot (L_1 / 2) + M_{yy} / I_y \cdot (L_2 / 2) = 2,17 \text{ MPa} < f_{cdm}$$

Le sollecitazioni massime in entrambe le direzioni del sisma risultano essere abbondantemente verificate, per cui i controventi resistono in modo corretto.

7.7.2.3 Verifica a taglio

Avendo già calcolato le reazioni a taglio lungo x e y per ciascuna delle due direzioni di spinta del sisma, si è passati al calcolo del taglio complessivo, ove necessario, in modo da avere il vettore di massima intensità:

$$V_x = V_{x \max} = 1322 \text{ kN}$$

$$V_y = \sqrt{V_{yx}^2 + V_{yy}} = 1255 \text{ kN}$$

Lo sforzo di taglio è dato dal rapporto tra la forza di taglio e l'area A_R della sezione:

$$\sigma_{vx} = V_x / A = 0,28 \text{ MPa} < f_{vdm}$$

$$\sigma_{vy} = V_y / A = 0,26 \text{ MPa} < f_{vdm}$$

Gli sforzi di taglio sono risultati entrambi ben al di sotto della resistenza limite. Questo è dovuto presumibilmente al fatto che i controventi siano due, robusti, diametralmente opposti rispetto all'edificio e di forma scatolare.

8

PROGETTO IMPIANTISTICO

- 8.1 Premessa
- 8.2 Calcolo del fabbisogno termico invernale in regime statico
- 8.3 Calcolo del fabbisogno termico estivo in regime dinamico
- 8.4 Calcolo del calore residuo
- 8.5 Scelta dell'impianto di climatizzazione
- 8.6 Sistema a pannelli radianti
- 8.7 Impianto di ventilazione
- 8.8 Unità di trattamento aria
- 8.9 Pompa di calore, fotovoltaico e solare termico
- 8.10 Rete di scarico delle acque meteoriche

Viene di seguito proposta l'analisi degli elementi che compongono il sistema impiantistico della nuova scuola I.I.S. Floriani. La progettazione è partita dallo studio del carico termico invernale, in regime stazionario, ed estivo in regime dinamico. Tali valori, come visto nei capitoli precedenti, sono stati più volte adoperati sia nel progetto delle schermature solari sia nel progetto tecnologico per essere qui, alla fine delle scelte costruttive perseguite, necessari alla valutazione del carico termico più gravoso (di raffrescamento) e a cui è stato riferito il dimensionamento dell'intero apparato impiantistico. Definita l'entità del carico di progetto si è proceduti alla scelta dell'impianto di climatizzazione ed al suo dimensionamento. L'impianto proposto è di tipo ibrido composto da: pannelli radianti a soffitto, a cui si darà il compito di far fronte ai carichi termici sensibili, e un sistema di ventilazione a completa miscelazione, a cui si affiderà invece il compito di far fronte, prevalentemente, ai carichi latenti. Una volta definiti i terminali si è proceduto alla definizione degli elementi che compongono le U.T.A ed alla discussione degli altri elementi a completamento dell'impianto: pompa di calore, solare termico e fotovoltaico. Quest'ultimo è finalizzato al soddisfacimento della quota di energia rinnovabile richiesta per edifici nZEB.

8.1 Premessa

Costruire un buon involucro termico per l'edificio permette, grazie al ridotto fabbisogno per riscaldamento e raffrescamento, di poter sfruttare meglio anche le tecnologie impiantistiche oggi a disposizione. Se quindi la riduzione dei fabbisogni energetici dell'edificio è il primo obiettivo di una costruzione ecologicamente sostenibile ed energeticamente autosufficiente, l'utilizzo di un'impiantistica moderna, efficiente e che faccia uso di energie rinnovabili è il passo successivo.

8.1.1 Informazioni generali e parametri climatici

Il centro formativo I.I.S. Floriani è di nuova costruzione, appartenente alla categoria E.7 ("edifici adibiti ad attività scolastiche di tutti i livelli e assimilabili") ed è situato nel comune di Vimercate (MB).

COMUNE	Vimercate
PROVINCIA	Monza della Brianza
REGIONE	Lombardia
ALTITUDINE	194 m s.l.m
GRADI GIORNO (secondo il DPR n.412/93)	2404
ZONA CLIMATICA (secondo il DPR n.412/93)	E

Tab. 8.1 Informazioni generali e parametri climatici dell'area di progetto

La definizione delle temperature esterne ed interne di progetto è avvenuta secondo i criteri della norma UNI 12831, per la temperatura minima invernale, e della norma UNI 13789, per la temperatura massima estiva.

DATI INVERNALI DI PROGETTO	
Temperatura minima invernale di progetto (secondo la UNI 12831)	-5,4 °C
Temperatura interna invernale di progetto (secondo l'allegato H del DDUO 2456/2017)	20 °C
Periodo di riscaldamento (DPR 412/93)	Dal 15/09 al 15/04 (183 giorni)
DATI ESTIVI DI PROGETTO	
Temperatura massima estiva di progetto (secondo la UNI 13789)	33 °C

Temperatura interna estiva di progetto (secondo l'allegato H del DDUO 2456/2017)	26 °C
Umidità relativa estiva di progetto (secondo l'allegato H del DDUO 2456/2017)	50,0 %
Mese di massima insolazione	Luglio
Temperatura media mese massima insolazione	24,6°C

Tab. 8.2 Dati di progetto invernali ed estivi

Per completezza di seguito vengono riportati i grafici inerenti all'andamento dei dati climatici orari standard registrati dalla stazione meteo di Cinisello Balsamo (la più prossima alla località vimercatese) e utilizzati per la corretta stima dei dati climatici di input adoperati per il calcolo dei fabbisogni termici invernali ed estivi.

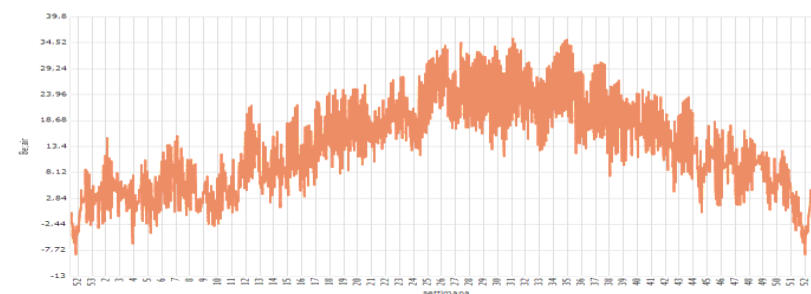


Fig. 8.1 Grafico dell'andamento orario della temperatura dell'aria esterna, in °C, dal 10/2009 al 10/2010

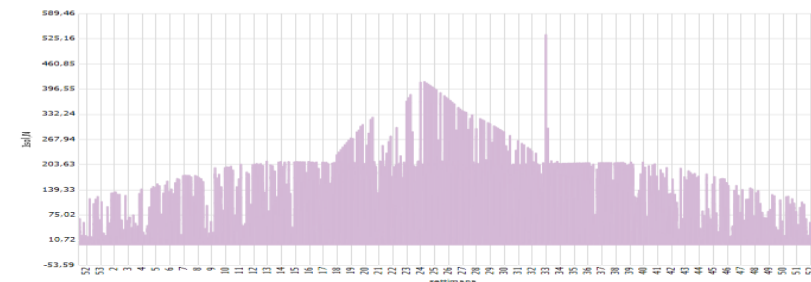


Fig. 8.2 Grafico dell'andamento orario della radiazione solare a Nord, in W/m², dal 10/2009 al 10/2010

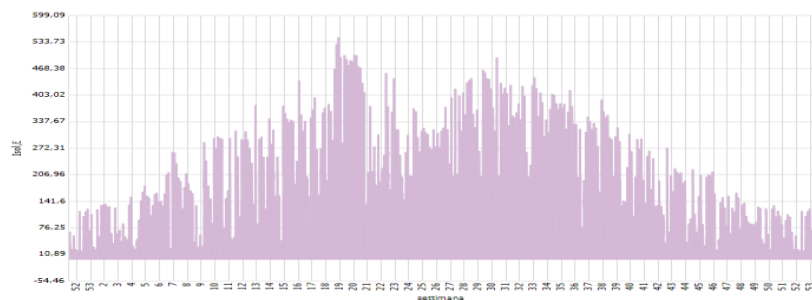


Fig. 8.3 Grafico dell'andamento orario della radiazione solare a Est, in W/m^2 , dal 10/2009 al 10/2010

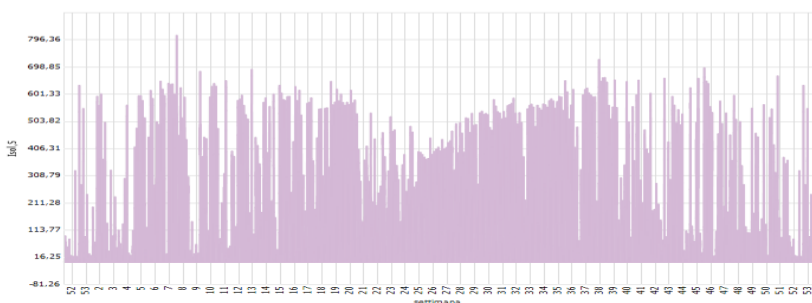


Fig. 8.4 Grafico dell'andamento orario della radiazione solare a Sud, in W/m^2 , dal 10/2009 al 10/2010

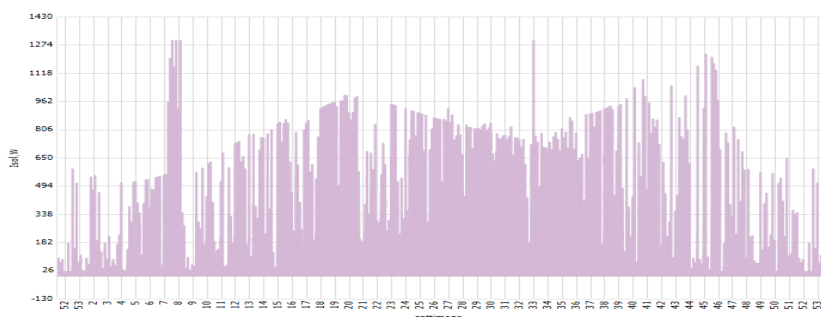


Fig. 8.5 Grafico dell'andamento orario della radiazione solare a Ovest, in W/m^2 , dal 10/2009 al 10/2010

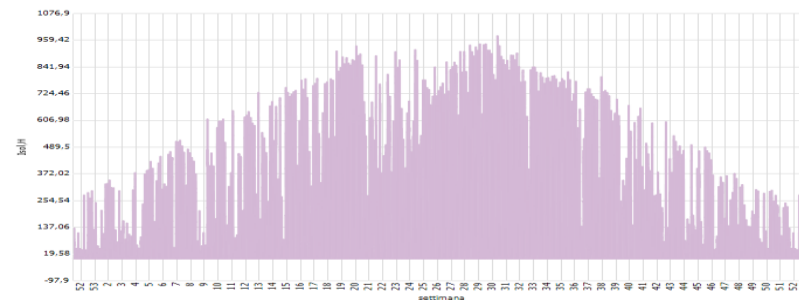


Fig. 8.6 Grafico dell'andamento orario della radiazione solare sul piano orizzontale, in W/m^2 , dal 10/2009 al 10/2010

8.1.2 Zone termiche

Dalla disarticolazione spaziale-funzionale, realizzata negli elaborati grafici, si è ripresa la medesima nomenclatura per l'individuazione delle zone termiche. Le zone termiche, per definizione, non sono altro che spazi racchiusi da un involucro edilizio riscaldato ad una temperatura uniforme da un unico impianto e con la stessa destinazione d'uso. I confini delle zone termiche sono stati determinanti secondo la UNI EN 12831: lungo le superfici esterne per le chiusure orizzontali/verticali e le superfici di mezzeria per le partizioni verticali interne. Ciò ha permesso il calcolo del fabbisogno termico invernale per trasmissione con il metodo semplificato, ovvero considerando il contributo dei ponti termici implicitamente contenuto nelle superfici esterne senza dover eseguirne, per ogni singolo caso, un calcolo puntuale o approssimativo attraverso l'uso dell'abaco riportato dalla UNI EN ISO 14683. Comunque, a riguardo di ciò, si ricorda che i ponti termici di forma esistenti nel progetto sono stati preventivamente verificati, calcolati e corretti durante la fase di progettazione degli elementi tecnologici.

8.1.3 Stratigrafie e trasmittanze

Le stratigrafie d'involucro e quelle verso i locali non climatizzati sono state già trattate nel capitolo 6, per cui per i valori di trasmittanza termica utilizzati ai fini del calcolo dei carichi termici si rimanda alle tabelle 6.8 e 6.9.

8.2 Calcolo del fabbisogno termico invernale in regime statico

Mediante il calcolo del carico termico invernale si è in grado di determinare la quantità di energia da fornire, sotto forma di calore, a ciascun locale dell'edificio. In questo calcolo rientrano solo quei locali che, confinando con l'ambiente esterno o con ambienti a temperatura diversa, disperdono energia termica. Di seguito è stata utilizzata una tecnica abbastanza semplice per tale valutazione secondo la procedura riportata nella norma UNI EN 12831, sostitutiva della UNI 7357. Le principali ipotesi di calcolo sono state: condizioni stazionarie (temperatura, irraggiamento ecc.), edificio a zone con temperatura dell'aria interna uniforme, bilancio termico sensibile (no flussi di vapore, umidificazione e deumidificazione) e materiali isotropi - omogenei.

In condizioni di progetto deve valere la relazione in cui:

$$\phi_u = \phi_e$$

ϕ_u rappresenta la potenza termica uscente dagli ambienti, mentre ϕ_e rappresenta la potenza termica entrante, ossia che l'impianto deve cedere agli ambienti riscaldati per bilanciare quella uscente. Secondo la UNI EN 12831 la dispersione termica totale di progetto, ϕ_u , per uno spazio riscaldato (i) è data dalla somma di tre contributi: carichi termici per trasmissione ($\phi_{t,i}$), per ventilazione ($\phi_{v,i}$) e la potenza di ripresa richiesta per compensare gli effetti del riscaldamento intermittente dello spazio riscaldato ($\phi_{rh,i}$).

$$\phi_{u,i} = \phi_{t,i} + \phi_{v,i} + \phi_{rh,i} \quad [W]$$

8.2.1 Carichi termici per trasmissione

La dispersione termica di progetto per trasmissione è quella verso l'esterno, determinata dalla conduzione termica attraverso le superfici circostanti, dallo scambio termico con spazi non riscaldati e con spazi riscaldati a temperature diverse, e verso il terreno. Per uno spazio riscaldato (i) è calcolata come segue:

$$\phi_{t,i} = (H_{t,ie} + H_{t,iue}) \times (T_a - T_e) \quad [W]$$

dove T_a e T_e sono, rispettivamente, la temperatura interna di progetto dello spazio riscaldato (i) [°C] e la temperatura esterna di progetto [°C]. I due coefficienti H [W/K] si riferiscono, rispettivamente, ai seguenti scambi per trasmissione.

8.2.1.1 Dispersione termica per trasmissione dello spazio riscaldato verso l'esterno

$H_{t,ie}$ dipende da tutti gli elementi dell'edificio che separano lo spazio riscaldato dall'ambiente esterno ed è calcolato, con il metodo semplificato, come segue:

$$H_{t,ie} = \sum_k A_k \times U_k \times e_k \quad [W/K]$$

in cui: A_k è la superficie disperdente [m²]; U_k è la trasmittanza termica dell'elemento considerato [W/m²K]; e_k è il fattore di correzione per l'esposizione che tiene conto dell'irraggiamento solare diretto, del diverso grado di umidità delle pareti e della diversa velocità e temperatura dei venti.

ESPOSIZIONE	NE	SE	NO	SO
Incremento	%	%	%	%
	20	10	15	5

Tab. 8.3 Fattori correttivi d'esposizione

8.2.1.2 Dispersione termica attraverso uno spazio non riscaldato

Essendoci spazi non riscaldati (scale antincendio e locali impiantistici) tra spazi riscaldati e l'esterno il coefficiente di dispersione termica di progetto per trasmissione dello spazio riscaldato verso l'esterno è calcolato come segue:

$$H_{t,iue} = \sum_k A_k \times U_k \times b_u \quad [W/K]$$

dove b_u è il fattore di riduzione della temperatura.

SPAZIO NON RISCALDATO	b_u
Locale impianti	0.6
Pavimento sopra vespaio	0.8
Scala antincendio (piano terra e secondo)	0.5
Scala antincendio (piano primo)	0.4

Tab. 8.4 Fattori di riduzione della temperatura per la presenza di locali filtro

8.2.2 Carichi termici per ventilazione

La dispersione termica di progetto per ventilazione è quella verso l'esterno, dovuta a ventilazione forzata o infiltrazione attraverso l'involucro dell'edificio e al calore trasferito per ventilazione tra diversi spazi riscaldati all'interno del fabbricato stesso. Questa è calcolata come segue:

$$\Phi_{v,i} = H_v \times (T_a - T_e) = 0.34 \times V_i \times (T_a - T_e) \quad [\text{W}]$$

in cui: H_v è coefficiente di dispersione termica di progetto per ventilazione [W/K]; V_i è la portata d'aria dello spazio riscaldato [m³/h] il cui valore dipende dal caso considerato, vale a dire con o senza sistema di ventilazione. Di seguito è stato riportato il calcolo nell'ipotesi di presenza di un impianto di ventilazione ad aria primaria tale da garantire un ricambio costante d'aria trattata immessa nell'ambiente.

Nell'ipotesi di un sistema di ventilazione, l'equazione per la determinazione della portata d'aria dello spazio riscaldato (i), utilizzata per il calcolo del coefficiente di dispersione termica di progetto per ventilazione, è la seguente:

$$V_i = V_{\text{inf},i} + V_{\text{su},i} \times (f_{v,i} + V_{\text{mech,inf},i}) \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

dove: $V_{\text{inf},i}$ è la portata d'aria per infiltrazione [m³/h]; $V_{\text{su},i}$ è la portata di rinnovo [m³/h]; $f_{v,i}$ è il fattore di riduzione della temperatura; $V_{\text{mech,inf},i}$ è la portata d'aria di estrazione in eccesso [m³/h].

8.2.2.1 Portata d'aria per infiltrazione

La portata d'aria per infiltrazione, dello spazio riscaldato, indotta dal vento e dall'effetto camino sull'involucro del fabbricato è calcolata come:

$$V_{\text{inf}} = 2 \times n_{50} \times e_i \times \epsilon \times V_i \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

in cui: n_{50} è il tasso di ventilazione per l'intero edificio, assunto pari a 2 nell'ipotesi di una qualità media dei serramenti; ϵ è il fattore di correzione per l'altezza, posto pari a 1; V_i è il volume dello spazio riscaldato, calcolato in base alle dimensioni interne [m³]; e_i è il coefficiente di schermatura, che nell'ipotesi di una classe di schermatura moderata, assume i valori riportanti in tabella:

SPAZIO RISCALDATO AL PIANO TERRA	e_i
Senza aperture esposte	0
Con un'apertura esposta	0.01
Con più di un'apertura esposta	0.02
SPAZIO RISCALDATO AL PIANO PRIMO E SECONDO	e_i
Senza aperture esposte	0
Con un'apertura esposta	0.02
Con più di un'apertura esposta	0.03

Tab. 8.5 Coefficienti di schermatura

8.2.2.2 Portata di rinnovo

La portata d'aria di rinnovo è stata calcolata secondo il D.M. 18/12/1975 e la UNI 10339 e i cui valori di calcolo sono indicati all'interno del paragrafo 8.4.

8.2.2.3 Fattore di riduzione della temperatura

Il fattore di riduzione della temperatura è dato da:

$$f_{v,i} = (T_{\text{int},i} - T_{\text{su},i}) / (T_{\text{int},i} - T_e)$$

in cui $T_{\text{su},i}$ è la temperatura dell'aria immessa nello spazio riscaldato ipotizzata a 22 °C tale per cui si ha un $f_{v,i}$ di -0.08.

8.2.2.4 Portata di estrazioni in eccesso

In tutti i sistemi di ventilazione, l'aria d'estrazione in eccesso è sostituita dall'aria esterna che penetra attraverso l'involucro dell'edificio. La portata d'estrazione in eccesso è stata calcolata con la seguente relazione:

$$V_{\text{mech,inf},i} = \max (V_{\text{ex}} - V_{\text{su}}; 0) \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

dove: V_{ex} è la portata d'aria di estrazione e V_{su} è la portata d'aria di rinnovo, per l'intero edificio. La portata di ripresa è stata commisurata affinché l'aria immessa ed estratta all'interno dell'edificio fosse pressoché la stessa. Ciò fa sì che il contributo di $V_{\text{mech,inf},i}$ sia nullo nel seguente caso studio. Come per la portata di rinnovo, anche i valori di calcolo per quella di ripresa sono indicati nel paragrafo 8.4.

8.2.3 Potenza di ripresa

La norma UNI EN 12831, alle aliquote di potenza termica precedentemente descritte, aggiunge anche la potenza termica di ripresa. Questa potenza entra in gioco per quegli ambienti che vengono riscaldati in modo intermittente ed è data dalla seguente formula:

$$\phi_{rh,i} = A_i \times f_{rh} \quad [W]$$

dove: A_i è l'area del pavimento dell'ambiente riscaldato [m^2]; f_{rh} è il fattore di correzione che è funzione del tempo richiesto perché l'aria interna si riporti alla temperatura di progetto e del calo della temperatura durante il periodo di inattività, nel nostro caso è stato assunto pari a 4 [W/m^2].

8.2.4 Elaborazione dati

Attraverso la procedura di calcolo appena descritta, si è potuto individuare il valore del fabbisogno termico invernale di ciascuna zona termica. Di seguito vengono riportati i valori ottenuti anche sotto forma di grafico utili ai fini di un confronto immediato. Proprio per questo scopo si è deciso di rappresentare i valori del carico termico in W/m^2 al fine di permettere una valutazione più corretta, in quanto è facile intuire che ambienti con una superficie maggiore possano essere caratterizzati da un maggiore fabbisogno termico. Inoltre, nel grafico sottostante sono stati confrontati i valori di fabbisogno specifico termico invernale totale dei singoli piani.

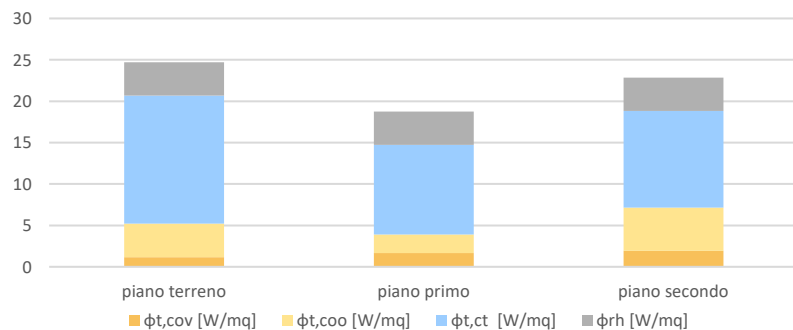


Fig. 8.7 Grafico del fabbisogno termico invernale specifico di ogni piano dell'edificio

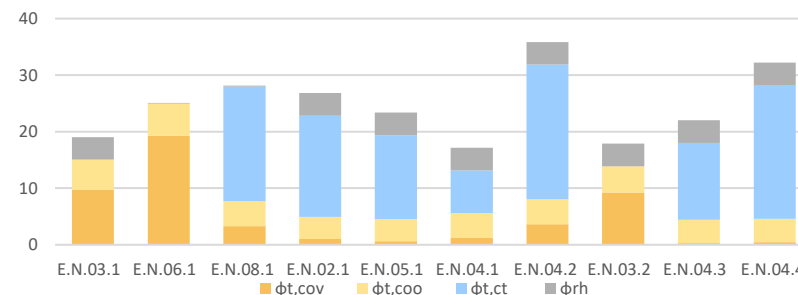


Fig. 8.8 Grafico del fabbisogno termico invernale specifico di ogni locale/ambiente al piano terreno

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	FABBISOGNO TERMICO INVERVALE [W]
E.N.03.1	Servizi igienici ufficio associazione	65
E.N.06.1	Connettivo ufficio associazione	140
E.N.08.1	Ufficio associazione	1072
E.N.02.1	Laboratorio didattico	3716
E.N.05.1	Agorà interna	9451
E.N.04.1	Spazio comune	954
E.N.04.2	Ufficio	631
E.N.03.2	Servizi igienici	241
E.N.04.3	Spazio amministrativo	1449
E.N.04.4	Sala insegnanti	2096

Tab. 8.6 Valori del fabbisogno termico invernale di ogni locale/ambiente al piano terreno

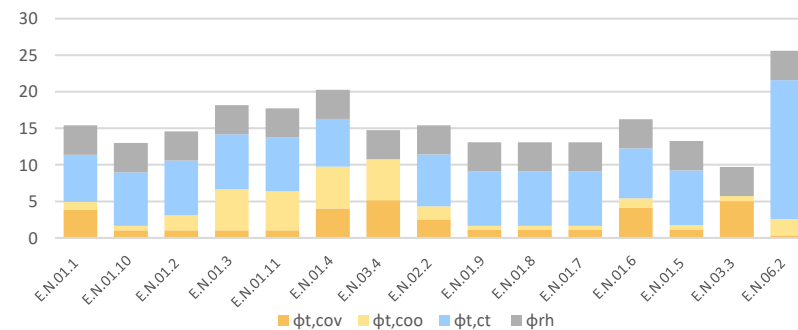


Fig. 8.9 Grafico del fabbisogno termico invernale specifico di ogni locale/ambiente al piano primo

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	FABBISOGNO TERMICO INVERVALE [W]
E.N.01.1	Aula – home base	1193
E.N.01.10	Aula – home base	665
E.N.01.2	Aula – home base	731
E.N.01.3	Aula – home base	911
E.N.01.11	Aula – home base	908
E.N.01.4	Aula – home base	1572
E.N.03.4	Servizi igienici	445
E.N.02.2	Laboratorio di informatica	1712
E.N.01.5	Aula – home base	722
E.N.01.6	Aula – home base	722
E.N.01.7	Aula – home base	722
E.N.01.8	Aula – home base	894
E.N.01.9	Aula – home base	662
E.N.03.3	Servizi igienici	293
E.N.06.2	Connettivo	10624

Tab. 8.7 Valori del fabbisogno termico invernale di ogni locale/ambiente al piano primo

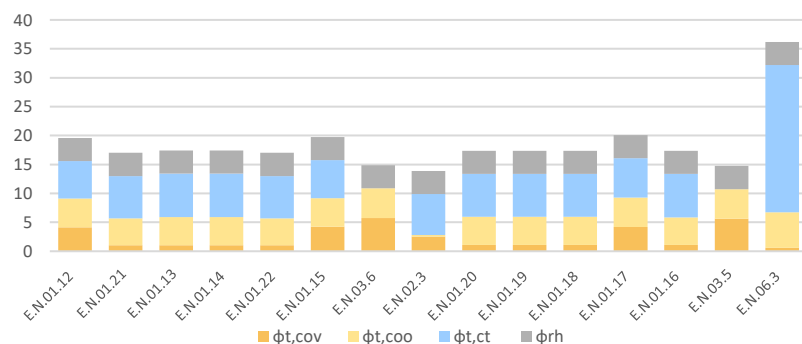


Fig. 8.10 Grafico del fabbisogno termico invernale specifico di ogni locale/ambiente al piano secondo

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	FABBISOGNO TERMICO INVERVALE [W]
E.N.01.12	Aula – home base	1517
E.N.01.21	Aula – home base	871
E.N.01.13	Aula – home base	873
E.N.01.14	Aula – home base	873
E.N.01.22	Aula – home base	871
E.N.01.15	Aula – home base	1530
E.N.03.6	Servizi igienici	449
E.N.02.3	Laboratorio di informatica	2053
E.N.01.20	Aula – home base	959
E.N.01.19	Aula – home base	959
E.N.01.18	Aula – home base	959
E.N.01.17	Aula – home base	1105
E.N.01.16	Aula – home base	869
E.N.03.5	Servizi igienici	445
E.N.06.3	Connettivo	10681

Tab. 8.8 Valori del fabbisogno termico invernale di ogni locale/ambiente al piano secondo

8.3 Calcolo del fabbisogno termico estivo in regime dinamico

Il calcolo delle rientrate di calore estive, rispetto a quello delle dispersioni invernali, richiede una più difficile valutazione vista la molteplicità dei fattori da considerare per la stima dei carichi ambiente. In particolare, mentre per il calcolo delle dispersioni invernali si fa riferimento a condizioni stazionarie nel caso delle rientrate estive tale discorso viene a mancare a seguito dell'estrema variabilità dei flussi termici legati alla radiazione solare. Si parla, infatti, di carichi termici estremamente variabili nel corso della giornata e strettamente influenzati dalle caratteristiche inerziali delle strutture, responsabili di fenomeni di attenuazione e sfasamento temporale del carico termico effettivo rispetto all'apporto di calore istantaneo. A tal proposito, si è deciso di effettuare il calcolo del fabbisogno termico estivo con il supporto del motore

dinamico di TERMOLOG. Ciò ha permesso la stima del carico estivo tenendo conto delle condizioni ambientali più sfavorevoli, per ogni singola zona termica individuata all'interno della nuova scuola I.I.S. Floriani, basandosi sui dati climatici orari standard, registrati dalla stazione meteo di Cinisello Balsamo, e sui profili temporali degli apporti termici dati dagli occupanti, dalle apparecchiature elettriche e dall'uso di schermature solari mobili. Il vantaggio principale del metodo dinamico è stato sicuramente quello di avvicinare il calcolo teorico alla realtà ed ottenere una previsione del comportamento edificio – impianto sempre più fedele al suo reale comportamento.

Gli elementi che influiscono maggiormente sul fabbisogno termico estivo sono riportanti nella seguente relazione:

$$\Phi = \Phi_{\text{rad}} + \Phi_{\text{trasm+rad}} + \Phi_{\text{trasm}} + \Phi_c + \Phi_{\text{inf}} \quad [\text{W}]$$

in cui: Φ_{rad} è l'effetto della radiazione solare attraverso le strutture vetrate [W]; $\Phi_{\text{trasm+rad}}$ è l'effetto della trasmissione e della radiazione solare attraverso le superfici opache [W]; Φ_{trasm} è l'effetto della trasmissione delle strutture vetrate e delle strutture opache verso zone non raffrescate [W]; Φ_c sono i carichi interni dovuti alla presenza sia di persone che di apparecchiature che emettono calore [W]; Φ_{inf} sono le entrate di calore dovute alle infiltrazioni ed ai ricambi d'aria [W].

8.3.1 Radiazione solare attraverso le superfici vetrate

La principale variabile che influenza il carico di raffreddamento di un edificio è la radiazione solare. Essa viene in parte assorbita, quindi trasmessa nell'ambiente, ed in parte riflessa. I valori della radiazione riflessa o trasmessa dipendono dall'angolo di incidenza rispetto alla perpendicolare al vetro. Per angoli di incidenza elevati si produce un aumento della radiazione riflessa e una diminuzione corrispondente di quella trasmessa. La radiazione trasmessa è in larga misura funzione dalle caratteristiche del vetro stesso. Inoltre, la presenza di elementi di ombreggiatura contribuisce sensibilmente all'abbattimento del carico dovuto alla radiazione diretta. Analiticamente la quota parte del carico termico estivo Φ_{rad} è stato calcolato come segue:

$$\Phi_{\text{rad}} = F_{\text{sh,ob,k}} \times A_{\text{sol,k}} \times I_{\text{sol,k}} \quad [\text{W}]$$

$$F_{\text{sh,ob,k}} = F_{\text{hor}} \times F_{\text{ov}} \times F_{\text{fin}}$$

in cui: $F_{\text{sh,ob,k}}$ è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni fissi (shading correction factor) per l'area di captazione solare effettiva della superficie k-esima, calcolato come prodotto dei fattori di ombreggiatura relativi ad ostruzioni esterne (F_{hor}), ad aggetti orizzontali (F_{ov}) e verticali (F_{fin}); $I_{\text{sol,k}}$ è l'irradianza solare sulla superficie k-esima, con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale.

$A_{\text{sol,k}}$ è l'area di captazione solare effettiva, della superficie k-esima, calcolata per ogni componente vetrato d'involucro mediante le sottostanti formule:

- nei casi di utilizzo della schermatura mobile

(ipotizzata in uso per $I_{\text{sol,k}} \geq 200 \text{ W/m}^2$):

$$A_{\text{sol,k}} = F_{\text{sh}} \times g_{\text{gl,n}} \times (1 - F_f) \times A_{\text{w,p}} \quad [\text{m}^2]$$

$$F_{\text{sh}} = [g_{\text{sh+gl,b}} \times f_b + g_{\text{sh+gl,d}} \times (1 - f_b)] / g_{\text{gl,n}}$$

- nei casi di assenza o di non utilizzo della schermatura mobile

(per $I_{\text{sol,k}} < 200 \text{ W/m}^2$):

$$A_{\text{sol,k}} = g_{\text{gl}} \times (1 - F_f) \times A_{\text{w,p}} \quad [\text{m}^2]$$

$$g_{\text{gl}} = g_{\text{gl,n}} \times F_w$$

in cui: F_{sh} è il fattore di riduzione degli apporti solari dovuto all'effetto di schermature comprensivo della riduzione dovuta all'inclinazione dei raggi solari rispetto alla superficie verticale interessata; $g_{\text{gl,n}}$ è la trasmittanza di energia solare per incidenza normale degli elementi vettrati; F_f è la frazione di area relativa al telaio; $A_{\text{w,p}}$ è l'area proiettata totale del componente vetrato; $g_{\text{sh+gl,b/d}}$ sono i fattori solari della combinazione di vetro e dispositivo di schermatura solare calcolati secondo i criteri indicati dalla norma UNI EN 13363-1; f_b è il fattore di peso della radiazione solare diretta sulla totale; g_{gl} è la trasmittanza effettiva di energia solare della parte trasparente del componente; F_w è un fattore di esposizione.

MESE	N-E	N-O	S-E	S-O
APRILE	0,325	0,325	0,55	0,55
MAGGIO	0,40	0,40	0,475	0,475
GIUGNO	0,425	0,425	0,45	0,45
LUGLIO	0,475	0,475	0,525	0,525
AGOSTO	0,375	0,375	0,55	0,55
SETTEMBRE	0,30	0,30	0,625	0,625

Tab. 8.9 Fattore di peso della radiazione solare diretta sulla totale f_b

FATTORE DI ESPOSIZIONE F_w	N-E	N-O	S-E	S-O
	0,87	0,87	0,84	0,84

Tab. 8.10 Fattore di esposizione F_w

Per una conoscenza esaustiva sui dati tecnici delle superfici trasparenti si rimanda al capitolo riguardante il progetto illuminotecnico.

8.3.2 Trasmissione e radiazione attraverso le superfici opache

Il calcolo delle rientrate di calore per trasmissione attraverso le superfici opache richiede un'attenta analisi dei contributi di carico legati all'effetto congiunto della differenza di temperatura tra aria esterna ed aria interna e della radiazione solare. La radiazione solare è di fatto responsabile di un'azione amplificatrice dello scambio termico convettivo – conduttivo - convettivo legato al salto termico esistente fra aria esterna ed aria interna. Tale radiazione, assorbita dalle superfici esterne, produce un effetto riscaldante che occorre computare ai fini di una corretta valutazione delle rientrate estive relativamente ai componenti in oggetto.

Analiticamente la quota parte del carico termico estivo $\phi_{trasm+rad}$ è calcolato come segue:

$$\phi_{trasm+rad} = A_k \times U_k \times \Delta T_{equiv} \quad [W]$$

in cui ΔT_{equiv} è una differenza di temperatura equivalente che porta in conto l'apporto solare variabile ciclicamente durante la giornata, l'escursione termica giornaliera dell'aria esterna e le caratteristiche inerziali delle strutture di delimitazione del volume condizionato.

8.3.3 Trasmissione di altre superfici

In questa parte si è calcolato il calore per sola trasmissione dato dalle superfici trasparenti:

$$\phi_{trasm} = A_w \times U_w \times (T_a - T_e) \quad [W]$$

e quello generato dalle superfici di separazione verso ambienti non raffrescati:

$$\phi_{trasm} = A_k \times U_k \times b_u \times (T_a - T_e) \quad [W]$$

8.3.4 Carichi interni

Un contributo non trascurabile è dovuto alla presenza del calore sensibile e latente generato da persone, illuminazione ed apparecchiature elettriche presenti negli ambienti.

$$\phi_c = \phi_{sen} + \phi_{lat} \quad [W]$$

8.3.4.1 Presenza di persone

L'essere umano posto all'interno di un ambiente scambia con esso calore sensibile (per convenzione e irraggiamento) e calore latente (dovuto alla cessione di vapore acqueo). Questo contributo varia a seconda della temperatura interna e del tipo di attività svolta. Trattandosi di un edificio scolastico i contributi, di calore sensibile e latente, utilizzati sono quelli riportati nella tabella sottostante.

GRADO DI ATTIVITA'	CALORE SENSIBILE W	CALORE LATENTE W
Seduto in lavoro molto leggero	65	55
In piedi, camminare lento	65	55

Tab. 8.11 Contributo di calore sensibile e latente dovuto alla presenza di persone

Il carico termico complessivo dato dalla presenza sufficientemente prolungata di persone è calcolabile per ogni singola zona termica mediante la formula seguente:

$$\phi_{sen/lat} = n^\circ \text{ persone} \times \phi_{sen/lat/a \text{ persona}} \quad [W]$$

Il numero di persone presenti in ogni spazio didattico, della nuova scuola I.I.S. Floriani, era stato precedentemente calcolato sulla base degli indici di

funzionalità didattica, visibili nella corrisponde tavola progettuale e di seguito riportati in forma tabellare. Per l'agorà interna si è considerato un valore numerico indicativo di 30 persone col fine di tener conto di una sua possibile occupazione da parte degli alunni per usi e attività mattutine e/o pomeridiane.

SIGLA	PIANO	DESTINAZIONE D'USO	N° persone
E.N.08.1 - E.N.04.2	PT	Uffici	4
E.N.02.1	PT	Laboratorio didattico	30+2
E.N.05.1	PT	Agorà interna	30
E.N.04.3	PT	Spazio amministrativo scuola	8
E.N.04.4	PT	Sala insegnanti	15
E.N.01.1/4	PP	Aula - home base	30+1
E.N.01.2/3/5/10/11	PP	Aula - home base	25+1
E.N.01.6/7/8/9	PP	Aula - home base	27+1
E.N.02.2	PP	Laboratorio didattico	30+2
E.N.01.12/15	PS	Aula - home base	30+1
E.N.01.13/14/16/21/22	PS	Aula - home base	25+1
E.N.01.17/18/19/20	PS	Aula - home base	27+1
E.N.02.3	PS	Laboratorio didattico	30+2

Tab. 8.12 Numero di persone presenti all'interno di ogni spazio didattico

Tramite l'uso del software di simulazione dinamica è stato possibile inserire anche un profilo temporale degli apporti termici da occupanti, per ciascuna zona, con il fine di evitare di considerare falsamente un'occupazione continua per l'intera giornata. Solo per il piano primo si è considerata la possibilità di un suo eventuale prolungamento d'uso pomeridiano per lezioni/studio/attività.

DESTINAZIONE D'USO	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Uffici, sala insegnanti		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Agorà interna		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Laboratori PT e P1		X	X	X	X	X			X	X	X
Aule P1		X	X	X	X	X			X	X	X
Laboratorio e Aule PS		X	X	X	X	X					

Tab. 8.13 Profilo temporale degli apporti termici da occupanti

8.3.4.2 Illuminazione artificiale

Altro contributo di calore sensibile da integrare è quello dovuto alla presenza di sistemi di illuminazione artificiale, per cui si considera un carico di 12 W/m².

$$\phi_{sen} = S_{vano} \times 12 \text{ W/m}^2 \quad [W]$$

Analogamente ai carichi di persone, anche l'uso dell'illuminazione artificiale richiede un profilo orario d'uso, riportato nella tabella sottostante:

DESTINAZIONE D'USO	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Uffici, sala insegnanti, spazio comune		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Agorà interna	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Laboratori PT e P1		X	X	X	X	X	X		X	X	X
Aule P1		X	X	X	X	X	X		X	X	X
Laboratorio e Aule PS		X	X	X	X	X	X				

Tab. 8.14 Profilo temporale degli apporti termici dall'illuminazione artificiale

8.3.4.3 Presenza di macchinari

I carichi interni dovuti alle macchine sono carichi derivanti dalle sorgenti che dissipano nell'ambiente parte dell'energia elettrica assorbita. In particolare, sono state considerate queste tipologie:

MACCHINARI	CARICO TERMICO W
Computer	200
Stampante	400

Tab. 8.15 Contributo di calore sensibile dovuto alla presenza di macchinari

e presenti nelle seguenti quantità nei differenti locali scolastici:

SIGLA	PIANO	DESTINAZIONE D'USO	N° Computer	N° Stampante
E.N.08.1 - E.N.04.2	PT	Uffici	2	1
E.N.02.1	PT	Laboratorio didattico	32	1
E.N.05.1	PT	Agorà interna	1	1
E.N.04.3	PT	Spazio amministrativo scuola	5	1
E.N.04.4	PT	Sala insegnanti	2	1
TUTTE	PP	Aula - home base	1	
E.N.02.2/3	PP/PS	Laboratorio didattico	32	1

Tab. 8.16 Numero di macchinari presenti in ogni spazio didattico

Pertanto, il contributo di calore sensibile derivante dalle apparecchiature elettriche è calcolabile con la seguente formula:

$$\phi_{\text{sen}} = \Sigma (\text{n}^\circ \text{ apparecchi x singola potenza}) \quad [\text{W}]$$

Anche in questo caso si è definito un probabile profilo temporale d'uso.

DESTINAZIONE D'USO	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Uffici, sala insegnanti		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Agorà interna	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Laboratori PT e P1		X	X	X	X	X	X		X	X	X
Aule P1		X	X	X	X	X	X		X	X	X
Laboratorio e Aule PS		X	X	X	X	X	X				

Tab. 8.17 Profilo temporale degli apporti termici dalle apparecchiature elettriche

8.3.5 Infiltrazioni e ricambi d'aria

Quest'ultimo elemento nella valutazione del carico termico estivo analizza il contributo delle infiltrazioni d'aria tra esterno e interno, dovuto alla differenza di pressione e di temperatura dell'aria stessa. Questo contributo porta ad un aumento sia del calore sensibile che di quello latente. Nel caso di progetto analizzato in questa sede, il contributo dovuto a infiltrazioni e ricambi d'aria non è stato preso in considerazione in quanto l'edificio è totalmente soggetto ad un sistema di ventilazione forzata.

8.3.6 Elaborazione dati

Il calcolo del fabbisogno termico estivo è stato effettuato sia nel mese di giugno che in quello di luglio al fine di stimare quali fossero i fabbisogni termici estivi massimi in ogni locale e complessivamente per l'intero edificio. Dal grafico e dai risultati comporati di ogni singolo locale, nei due scenari, è emersa che la situazione più gravosa è quella riferibile al mese di giugno dal momento che si è considerato che nel periodo estivo i locali/ambienti scolastici non avessero un'occupazione "continuativa" a causa della cessione delle lezioni didattiche, dal mese di luglio a quello di agosto. Perciò il dimensionamento, sia dei terminali che dei generatori, è riferito al carico termico estivo a giugno.

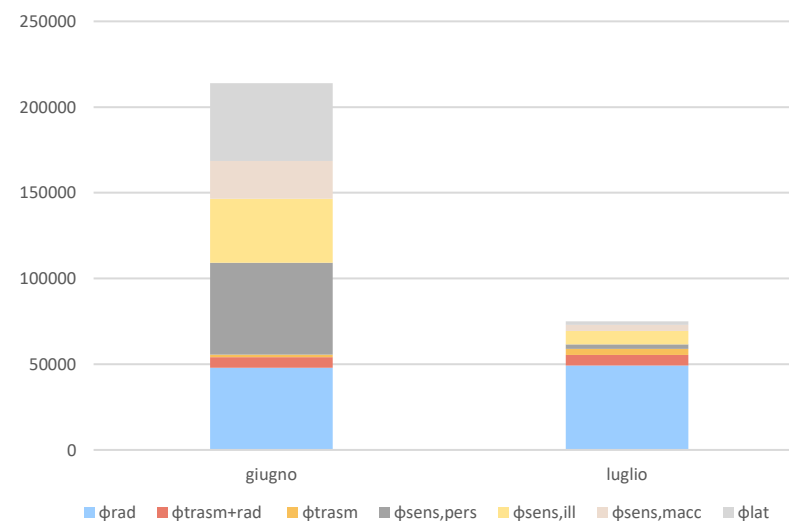


Fig. 8.11 Grafico del fabbisogno termico estivo totale [W] dell'intero edificio nel mese di giugno e luglio

Per la stima di alcuni coefficienti che tengono conto del ruolo svolto dall'inerzia termica delle masse costituenti l'edificio in regime dinamico si è considerato un funzionamento dell'impianto solo di giorno (meno di 12 ore al giorno).

Inoltre, il carico termico estivo è stato riassunto, come fatto per il caso invernale, attraverso grafici e tabelle riassuntive che definiscono i valori ottenuti. Anche in questo caso si è ritenuto più efficace riportare i dati secondo un valore specifico $[\text{W}/\text{m}^2]$ per le motivazioni descritte precedentemente. Già dal grafico sottostante, che definisce l'andamento complessivo di tutti i piani, si nota come i valori del fabbisogno specifico estivo siano maggiori rispetto al caso invernale. Questa valutazione è stata fondamentale per la successiva fase di dimensionamento dell'impianto che è stata infatti eseguita secondo la condizione più gravosa.

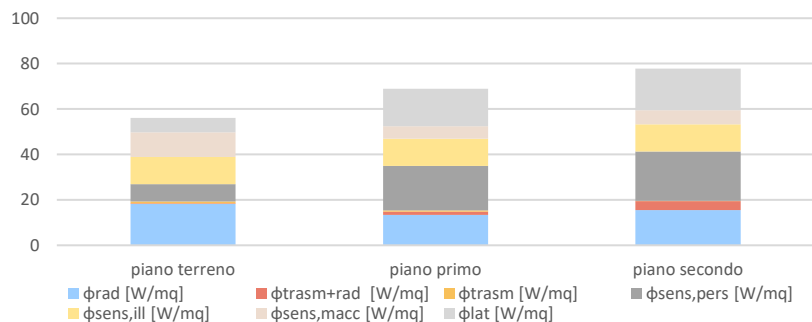


Fig. 8.12 Grafico del fabbisogno termico estivo globale specifico di ogni piano dell'edificio nel mese di giugno

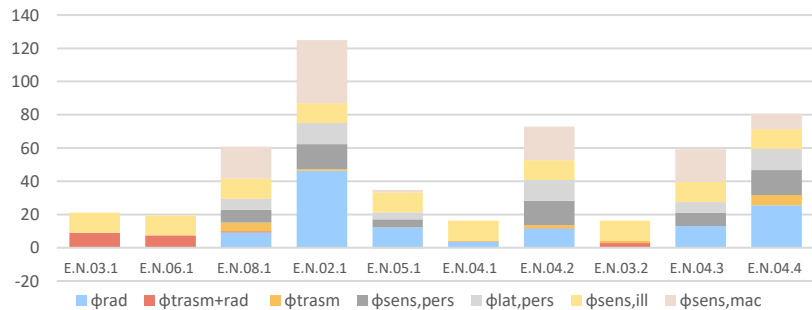


Fig. 8.13 Grafico del fabbisogno termico estivo globale specifico di ogni locale/ambiente al piano terreno nel mese di giugno

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	FABBISOGNO TERMICO ESTIVO TOTALE [W]
E.N.03.1	Servizi igienici ufficio associazione	72
E.N.06.1	Connettivo ufficio associazione	94
E.N.08.1	Ufficio associazione	2040
E.N.02.1	Laboratorio didattico	17292
E.N.05.1	Agorà interna	14011
E.N.04.1	Spazio comune	905
E.N.04.2	Ufficio	1284
E.N.03.2	Servizi igienici	221
E.N.04.3	Spazio amministrativo	3902
E.N.04.4	Sala insegnanti	5241

Tab. 8.18 Valori del fabbisogno termico estivo totale di ogni locale/ambiente al piano terreno nel mese di giugno

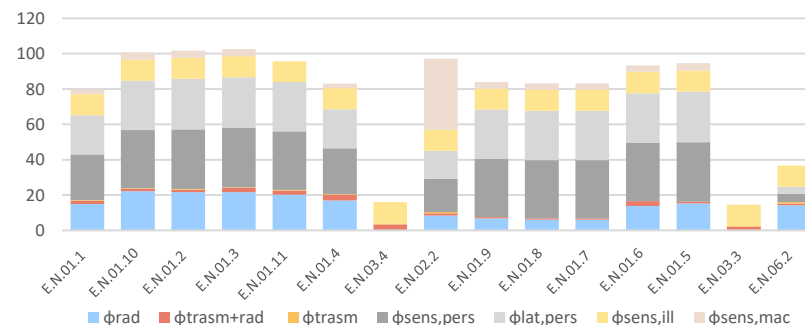


Fig. 8.14 Grafico del fabbisogno termico estivo globale specifico di ogni locale/ambiente al piano primo nel mese di giugno

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	FABBISOGNO TERMICO ESTIVO TOTALE [W]
E.N.01.1	Aula – home base	6173
E.N.01.10	Aula – home base	5150
E.N.01.2	Aula – home base	5098
E.N.01.3	Aula – home base	5144
E.N.01.11	Aula – home base	5099
E.N.01.4	Aula – home base	6440
E.N.03.4	Servizi igienici	482
E.N.02.2	Laboratorio di informatica	10785
E.N.01.5	Aula – home base	4636
E.N.01.6	Aula – home base	4598
E.N.01.7	Aula – home base	4598
E.N.01.8	Aula – home base	5133
E.N.01.9	Aula – home base	4727
E.N.03.3	Servizi igienici	438
E.N.06.2	Connettivo	15256

Tab. 8.19 Valori del fabbisogno termico estivo totale di ogni locale/ambiente al piano primo nel mese di giugno

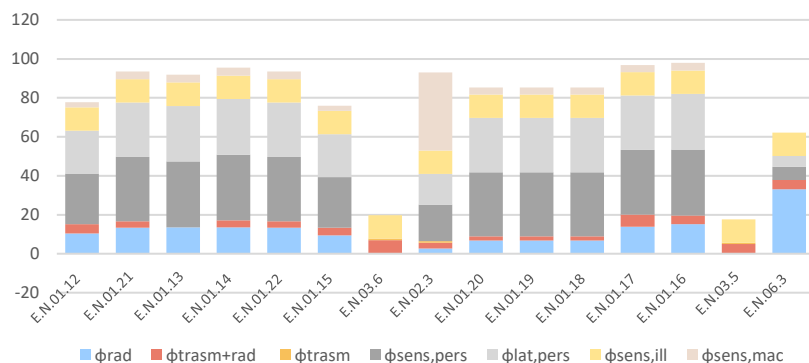


Fig. 8.15 Grafico del fabbisogno termico estivo globale specifico di ogni locale/ambiente al piano secondo nel mese di giugno

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	FABBISOGNO TERMICO ESTIVO TOTALE [W]
E.N.01.12	Aula – home base	6021
E.N.01.21	Aula – home base	4789
E.N.01.13	Aula – home base	4780
E.N.01.14	Aula – home base	4780
E.N.01.22	Aula – home base	4789
E.N.01.15	Aula – home base	5878
E.N.03.6	Servizi igienici	599
E.N.02.3	Laboratorio di informatica	10336
E.N.01.20	Aula – home base	4711
E.N.01.19	Aula – home base	4711
E.N.01.18	Aula – home base	4711
E.N.01.17	Aula – home base	5326
E.N.01.16	Aula – home base	4898
E.N.03.5	Servizi igienici	534
E.N.06.3	Connettivo	18314

Tab. 8.20 Valori del fabbisogno termico estivo totale di ogni locale/ambiente al piano secondo nel mese di giugno

8.4 Calcolo del calore residuo

Prima di effettuare qualsiasi valutazione impiantistica, in seguito alla definizione del fabbisogno termico invernale ed estivo si è calcolato il valore del calore residuo, sia termico (di riscaldamento) che frigorifero (di raffrescamento). La valutazione di questi parametri ha portato a sua volta alla definizione delle richieste che l'impianto di condizionamento dovrà soddisfare.

8.4.1 Portate d'aria immesse e aspirate

Nella nuova scuola si è prevista la presenza di un impianto di immissione e di estrazione forzata d'aria (UTA) al fine di garantire un buon livello di qualità dell'aria interna attraverso il controllo della temperatura, dell'umidità e del rinnovo continuo attraverso l'immissione d'aria esterna trattata. Si è passati dunque al calcolo della portata d'aria minima di mandata (Q_{OP}) e di estrazione (Q_{OS}), per ogni singolo locale in funzione della sua destinazione d'uso, secondo i valori riportati dal D.M. 18/12/1975 e dalla UNI 10339.

La portata d'aria immessa rappresenta il quantitativo d'aria proveniente dall'esterno che, secondo normativa, bisogna immettere all'interno dell'ambiente. Il calcolo è avvenuto in base:

- al numero di persone, stimate tramite gli indici di funzionalità didattica:

$$Q_{OP} = n^{\circ} \text{ persone} \times 3,6 \times Q_{OP/persona} \quad [m^3/h]$$

- o al volume del locale:

$$Q_{OP} = \text{Volume locale} \times Q_{OP/volume} \quad [m^3/h]$$

Per quanto riguarda invece la portata d'aria estratta da ogni servizio igienico, il calcolo è analogo a quello indicato precedentemente di cui le sopracitate normative impongono un'estrazione pari a 8 V/h con funzionamento in continuo. Mentre le portate d'aria aspirate negli altri locali sono state commisurate affinché l'aria immessa ed estratta all'interno dell'edificio sia pressoché la stessa.

DESTINAZIONE D'USO	IMMISSIONE		ESTRAZIONE
	in base all'affollamento (litri/s pers.)	In base a volume (m ³ /h)	In base a volume (m ³ /h)
Servizio igienico			8
Ufficio, spazio comune, connettivo e agorà interna		1,5	
Laboratorio didattico	7		
Sala insegnanti	6		
Aula - home base	7		

Tab. 8.21 Criteri per la determinazione delle portate d'aria

8.4.2 Calore asportato e calore residuo

Determinate le portate d'aria si è calcolato il calore asportato, cioè l'apporto frigorifero e termico, dato dell'aria primaria, attraverso la seguente formula:

$$\text{Calore asportato} = Q_{OP} \times C_{sp \text{ aria}} \times \Delta T \quad [W]$$

in cui: $C_{sp \text{ aria}}$ è il calore specifico dell'aria assunto pari a 0,34; ΔT è la differenza di temperatura fra l'aria dell'ambiente in oggetto e quello da immettere dall'esterno. I valori utilizzati sono stati i seguenti:

- per il periodo invernale: $\Delta T = + 2$ (aria immessa a 22°C mentre l'aria presente nell'ambiente a 20°C);
- per il periodo estivo: $\Delta T = +10^\circ C$ (aria immessa a 16°C mentre l'aria presente nell'ambiente a 26°C).

Calcolato il calore asportato si è poi determinato il calore residuo, ovvero la quota parte di calore/raffrescamento che deve essere garantito dall'impianto di climatizzazione.

$$\text{Calore residuo termico} = \text{Fabbisogno invernale} - \text{Calore asportato} \quad [W]$$

$$\text{Calore residuo frigorifero} = \text{Calore sensibile} - \text{Calore asportato} \quad [W]$$

Definiti questi valori si è passati alla scelta e al relativo dimensionamento delle soluzioni impiantistiche.

8.5 Scelta dell'impianto di climatizzazione

La scelta del sistema di climatizzazione è stata guidata dai valori di fabbisogno estivo e invernale, riscontrati nei paragrafi precedenti, dalle funzioni e dalle caratteristiche architettoniche dell'edificio di progetto e da una breve ricerca sui sistemi attuali di diffusione dell'aria nelle scuole.

I sistemi di diffusione dell'aria adatti agli edifici scolastici, sia nel caso di nuove costruzioni, ma anche nel caso di retrofit su quelli esistenti sono classificabili a seconda di come si determinano le zone, diversamente stratificate o non, nell'ambiente confinato. Si possono così distinguere tre tipi di sistemi: a completa miscelazione, a dislocamento e ibridi.

8.5.1 Sistema a completa miscelazione

È il sistema di diffusione dell'aria più conosciuto e più frequentemente utilizzato nel nostro paese, anche in ragione dei costi contenuti di installazione e di esercizio. Le unità terminali di diffusione sono principalmente costituite da bocchette di mandata installate nella parte superiore delle pareti o da diffusori con forme geometriche regolari montati a soffitto (o nel controsoffitto): queste tipologie di diffusione risultano efficaci, con ottime proprietà di miscelazione e bassa stratificazione, e sono particolarmente indicate soprattutto in raffreddamento, una volta che ci si è assicurati di aver posto le griglie di ripresa in prossimità del pavimento. L'effetto finale ottenuto di una completa e intensa miscelazione tra l'aria immessa e quella ambiente, permette di controllare carichi termici anche impegnativi.

In una tipica applicazione in raffreddamento, l'aria viene immessa attraverso diffusori disposti a soffitto o tramite bocchette poste sulle pareti laterali. L'aria fluisce sotto forma di vene fluide orizzontali che penetrano nel locale e che sviluppano la miscelazione con l'aria ambiente in senso inverso alla direzione del flusso. I getti di aria primaria che fuoriescono dal terminale associano il "movimento di aria secondaria" causato dal trascinarsi dell'aria ambiente generando appunto la miscelazione completa dell'aria presente nel locale. L'aria si diffonde in aree del locale al di fuori della zona occupata (es. lungo il

soffitto o adiacenti a una parete). La zona occupata risulta ventilata da moti turbolenti secondari indotti dall'aria immessa nel locale.

La diffusione a miscela è caratterizzata da una velocità relativamente alta dell'aria di mandata (primaria), allo scopo di generare un alto tasso di induzione dell'aria presente in ambiente (secondaria) e così una miscelazione più intensa e una maggior uniformità di temperatura.

La tipologia di diffusore conigliata per i locali/spazi di edifici ad uso scolastico è quella lineare o ad alta induzione a flusso elicoidale.

8.5.2 Sistema a dislocamento

Un sistema di concezione completamente differente della diffusione dell'aria in ambiente, che genera in questo caso una zona stratificata, è noto con il termine ventilazione termica a dislocamento: la diffusione dell'aria evita la possibile miscelazione tra le due masse d'aria (primaria e secondaria) realizzando differenti livelli di stratificazione di temperatura e di concentrazioni nell'ambiente.

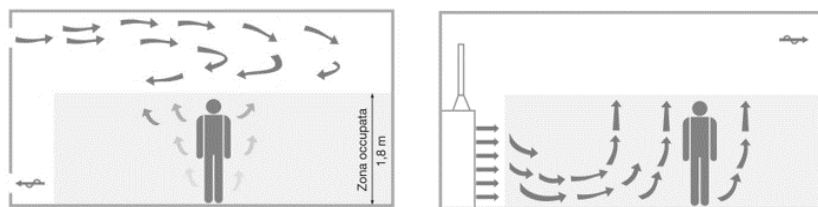


Fig. 8.16 Schemi dei sistemi di diffusione dell'aria a miscelazione completa ed a dislocamento

Questo tipo di ventilazione è considerata molto più efficiente di quella a miscelazione. La sua caratteristica principale è la capacità di realizzare ottime condizioni di comfort nella zona occupata, in virtù dei seguenti motivi: elevata capacità di stratificazione dell'aria contaminata, basse velocità dell'aria e ridotta rumorosità. L'aria viene immessa a temperatura moderatamente bassa al livello del pavimento. La diffusione dell'aria si propaga dal pavimento alle parti superiori del locale, anche grazie alla spinta ascendente fornita dalle correnti convettive generate dalle diverse sorgenti di calore presenti (ad

esempio persone). La fonte di calore è rappresentata dall'agente inquinante che genera una corrente di aria calda. La colonna di aria in formazione risale il locale e anche grazie all'effetto di trascinamento sull'aria circostante, aumenta la propria portata con l'altezza. Se questo flusso d'aria contaminata, risulta maggiore della portata d'aria di ventilazione, una volta raggiunto il soffitto, questo non può venire estratto completamente con l'aria di espulsione. Così parte di questa aria contaminata, raffreddandosi a contatto con il soffitto, ridiscende fino al livello in cui risulta bilanciata dalla portata d'aria di ventilazione. Si vengono così a creare nel locale due differenti zone a contaminazione e temperatura distinte, la zona superiore ad elevato tasso d'inquinanti e alta temperatura e una zona inferiore relativamente "pulita". Diviene dunque opportuno che la zona inferiore risulti abbastanza alta da sormontare l'altezza di respirazione. Il processo risulta amplificato in locali ad altezza elevata. Naturalmente i bassi differenziali di temperatura e la bassa velocità di immissione se da un lato tutelano il comfort degli occupanti, dall'altro limitano il sistema a carichi di raffreddamento definiti ($< 70\text{W/m}^2$), impedendo così l'uso indipendente del sistema. Inoltre, i sistemi a dislocamento funzionano solo per il raffrescamento e non per il riscaldamento.

8.5.3 Sistema ibrido

Un primo sistema ibrido è dato dall'uso di travi fredde attive che utilizzano un sistema dedicato per l'aria esterna che soddisfi i requisiti della ventilazione e la neutralizzazione dei carichi latenti e le unità idroniche (batterie) per i carichi sensibili. Lo stesso principio può essere esteso utilizzando in ambiente un sistema dedicato di ricambio dell'aria esterna (Dedicated Outdoor Air System, DOAS) per requisiti di ventilazione e carichi latenti e un altro sistema (idronico) per la neutralizzazione dei carichi sensibili. Ad esempio, mediante la combinazione di un sistema di ventilazione forzata con l'uso di superfici radianti alimentate ad acqua. In questo caso, e in special modo per le aule scolastiche disposte sul perimetro della struttura, i carichi maggiori di riscaldamento e raffreddamento vengono spostati sulle unità dotate di batterie termiche in grado di trattare il processo con maggiore efficienza.



Fig. 8.17 Newcastle College, Trox Technik, aula con uso di travi fredde attive; Rykneld School, aula con sistema ibrido dato da pannelli radianti e sistemi a miscela

8.5.4 Scelta del sistema di climatizzazione

Il confronto tra le tre tipologie impiantistiche è visibile nella tabella sottostante.

	MISCELA	DISLOCAMENTO	IBRIDO
Comfort/Temperatura	Migliore	Accettabile	Ottimo
Ventilazione	Medio	Migliore	Medio
Acustica	Buono	Migliore	Ottimo
Riscaldamento	Buono	Separato	Ottimo
Risparmio energetico	Buono	Migliore	Ottimo
Costo impianto	Minore	Medio	Medio
Flessibilità	Ottimo	Accettabile	Perimetrale

Tab. 8.22 Comparazione tra i diversi sistemi di diffusione dell'aria

Dal confronto emerge che la soluzione a sistema ibrido sia quella che riesca a soddisfare quasi in ugual misure tutti i parametri individuati per creare ambienti con livelli ottimali di comfort termico. Perciò, per il progetto della nuova scuola I.I.S Floriani si è optato l'uso di un sistema ibrido composto da un sistema a completa miscelazione (temperatura dell'aria immessa a 22°C e 16°C rispettivamente nel periodo invernale e quello estivo) abbinato ad un sistema a pannelli radianti (per il raffrescamento ed il riscaldamento).

8.6 Sistema a pannelli radiante

Nel caso degli edifici scolastici, i principali fattori che contribuiscono alla scelta degli impianti radianti sono il comfort, il risparmio energetico, la versatilità, la salubrità e la facilità di pulizia, l'assenza di correnti d'aria, la silenziosità, la mancanza di ingombri e gli ampi spazi disponibili. Inoltre, rispetto ad un sistema di climatizzazione tradizionale, confrontando i costi totali di acquisto e di esercizio, il sistema a pannelli radiante nonostante un iniziale costo di acquisto più elevato recupera la differenza in pochi anni.



Fig. 8.18 Stratigrafia e vista dei pannelli radianti a soffitto "Dekor Acoustic"

Attualmente in commercio esistono differenti sistemi di posa dei pannelli: a parete, a soffitto ed a pavimento. Per l'edificio scolastico si è optato per l'uso di pannelli radianti a soffitto, sia per le loro qualità prestazionali che per la possibilità di agire facilmente e puntualmente negli interventi di manutenzione, rispetto ad una posa dei pannelli a pavimento. Oltre, per la possibilità di combinare in un unico elemento di controsoffittatura l'esigenza di climatizzazione a quella di comfort acustico.

Nello specifico si è optato per l'uso dei pannelli "Dekor Acoustic" (moduli da 600x1200 mm): pannelli radianti costituiti da pannelli in MDF con finitura a vista in essenza di legno naturale e con elevate caratteristiche acustiche, dovute alla fresatura e alla perforazione combinate sulle due facce del pannello che creano una trappola per il suono. La fresatura è realizzata con passo 30 mm, larga 3 mm e profonda 2 mm. Il pannello ha nel suo insieme buone caratteristiche di reazione al fuoco, Euroclasse B-s2, d0.

I pannelli attivi sono integrati con un diffusore microforato di ripartizione termica in alluminio preverniciato nero accoppiato ad uno scambiatore di calore composto da serpentino in tubo di rame a sezione ellittica 15,2x6,1 mm senza saldobrasature con passo 75 mm. La tubazione radiante è permanentemente ed elasticamente incollata al diffusore con adesivo strutturale. I collegamenti dello scambiatore in rame sono \varnothing 12 mm e si collegano tra loro con flessibili ad aggancio rapido push-fittings, in EPDM, corazzati con maglia in acciaio inox e provvisti di doppio o-ring di tenuta e di sieger di sicurezza anti-estrazione, PN 10. Il collegamento di mandata e ritorno dei moduli radianti alla rete idrica di alimentazione è sempre ottenuto tramite flessibili rapidi pushfittings con raccordo filettato.

La coibentazione dei pannelli radianti è eseguita con pannelli a misura in fibra poliestere coesionata con TNT fonoassorbente nero (spessore 20 mm, conducibilità λ 0,036 W/mK, coeff. ass. acustico α 0,48 a 500 Hz).

8.6.1 Dimensionamento superficie attiva del controsoffitto radiante

I pannelli radianti, mantenuti ad una temperatura media superficiale inferiore (caso estivo) o superiore (caso invernale) alla temperatura superficiale delle persone, apparecchiature, superfici opache e/o trasparenti, assorbono il carico termico sensibile dall'ambiente sotto forma di scambio radiante e convettivo (due corpi a diversa temperatura cedono o assorbono calore per irraggiamento sino a raggiungere, nel vuoto, la medesima temperatura). In particolare, il carico termico sensibile relativo al dimensionamento dei pannelli attivi per ciascun locale è pari al valore di calore residuo calcolato secondo la procedura indicata al paragrafo 8.4.2. Mentre, il carico termico latente sarà trattato dall'aria primaria immessa alle condizioni precedentemente indicate.

Nell'edificio oggetto di analisi, il carico estivo risulta essere maggiore di quello invernale, per queste ragioni l'impianto è stato dimensionato per questa condizione che appare più svantaggiosa.

Come richiesto dalla norma UNI 1264-3 si procede, per prima cosa, all'individuazione degli ambienti più sfavoriti, ovvero quelli che presentano un valore maggiore di fabbisogno unitario [W/m²].

8.6.1.1 Individuazione ambienti sfavoriti

Dalla tabella sottostante emerge che gli ambienti più sfavoriti siano i laboratori didattici situati al piano terreno, primo e secondo.

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	CALORE RESIDUO FRIGORIFERO [W/m ²]
E.N.08.1	Ufficio associazione	38
E.N.02.1	Laboratorio didattico	68
E.N.05.1	Agorà interna	14
E.N.04.2	Ufficio	44
E.N.04.3	Spazio amministrativo	36
E.N.04.4	Sala insegnanti	51

Tab. 8.23 Calore residuo frigorifero [W/m²] dei principali locali al piano terreno

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	CALORE RESIDUO FRIGORIFERO [W/m ²]
E.N.01.1	Aula – home base	23
E.N.01.10	Aula – home base	29
E.N.01.2	Aula – home base	29
E.N.01.3	Aula – home base	30
E.N.01.11	Aula – home base	28
E.N.01.4	Aula – home base	27
E.N.02.2	Laboratorio di informatica	54
E.N.01.5	Aula – home base	13
E.N.01.6	Aula – home base	12
E.N.01.7	Aula – home base	12
E.N.01.8	Aula – home base	22
E.N.01.9	Aula – home base	21
E.N.06.2	Connettivo	16

Tab. 8.24 Calore residuo frigorifero [W/m²] dei principali locali al piano primo

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	CALORE RESIDUO FRIGORIFERO [W/m ²]
E.N.01.12	Aula – home base	21
E.N.01.21	Aula – home base	22
E.N.01.13	Aula – home base	22
E.N.01.14	Aula – home base	22
E.N.01.22	Aula – home base	22
E.N.01.15	Aula – home base	20
E.N.02.3	Laboratorio di informatica	50
E.N.01.16	Aula – home base	14
E.N.01.17	Aula – home base	14
E.N.01.18	Aula – home base	14
E.N.01.19	Aula – home base	25
E.N.01.20	Aula – home base	25
E.N.06.3	Connettivo	40

Tab. 8.25 Calore residuo frigorifero [W/m²] dei principali locali al piano secondo

I valori appena individuati sono stati tuttavia corretti perché la capacità frigorifera del controsoffitto è sensibilmente maggiore della potenza standardizzata UNI EN 14240, in quanto la stessa viene omologata in una camera di prova con tutte le pareti isoterme alla temperatura ambiente ed in assenza di moti convettivi naturali o forzati. Infatti, nelle applicazioni reali la capacità frigorifera è influenzata dai seguenti parametri:

- dalla temperatura operante diversa dalla temperatura aria di circa $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$;
- dall'immissione dell'aria primaria con diffusori standard, induttivi ad alta velocità;
- dal rapporto tra la superficie attiva fredda e la superficie inerte a temperatura ambiente del controsoffitto per cui aumenta lo scambio per convezione dovuto al trascinarsi dell'aria più calda a seguito di quella raffreddata dai pannelli attivi;
- dall'altezza di installazione del controsoffitto.

Questi parametri normalmente comportano una capacità frigorifera del controsoffitto superiore del 10÷15% rispetto alla potenza specifica standardizzata UNI EN 14240. Perciò, sono stati adoperati i seguenti fattori di correzione al fine di determinare i valori di q_s [W/m²], emissione specifica standardizzata in conformità alla normativa UNI EN 14240:

- fattore di correzione per immissione dell'aria primaria assunto pari a 0,05, nell'ipotesi di utilizzo di diffusori induttivi standard;
- fattore di correzione per percentuale di copertura del controsoffitto attivo assunto pari a 0,048 nell'ipotesi di una copertura del 70%;
- fattore di correzione per altezza di installazione assunto pari a -0,03 essendo posato il controsoffitto ad un'altezza dal pavimento di 3,20 m.

Nella tabella sottostante si riportano i valori corretti di calore residuo frigorifero da soddisfare ai fini del dimensionamento della superficie attiva del controsoffitto radiante.

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	CALORE RESIDUO FRIGORIFERO [W/m ²]
E.N.02.1	Laboratorio didattico	63,5
E.N.02.2	Laboratorio di informatica	50,5
E.N.02.3	Laboratorio di informatica	47

Tab. 8.26 Calore residuo frigorifero corretto [W/m²] degli ambienti più sfavoriti

8.6.1.2 Scelta delle temperature del fluido

Avvalendosi dei dati consigliati all'interno delle schede tecniche dei pannelli "Dekor Acoustic" sono state imposte, nei mesi estivi, le seguenti temperature:

$$T_{\text{mandata}} = 14^{\circ}\text{C} \quad T_{\text{ritorno}} = 16^{\circ}\text{C} \quad T_{\text{ambiente}} = 26^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{estate}} (T_{\text{ambiente}} - (T_{\text{ritorno}} + T_{\text{mandata}})/2) = 11^{\circ}\text{C}$$

8.6.1.3 Calcolo della resa frigorifera specifica dei pannelli Dekor Acoustic

Tramite i grafici, q_s (emissione specifica standard estiva) e ΔT_{estate} , forniti sempre dalla azienda produttrice dei pannelli è stato possibile determinare la resa specifica frigorifera dei pannelli radiante, risultata di 66 W/m² per un ΔT_{estate} di 11°C. Il valore ottenuto soddisfa la richiesta massima di 63,5 W/m²

calcolata per l'ambiente più sfavorito dato dai laboratori didattici situati al piano terreno.

8.6.1.4 Dimensionamento pannelli

A questo punto si è passati al calcolo della superficie radiante, ottenibile mediante la seguente formula:

$$S_R = Q_{s \max} / q_s \quad [m^2]$$

dove: S_R è la superficie radiante [m^2]; $Q_{s \max}$ è il carico termico sensibile di picco da smaltire da parte del sistema radiante [W]; q_s è la resa specifica appena [W/m^2]. Ed il numero di pannelli radianti a soffitto per locale considerando una loro dimensione di 600 x 1200 mm.

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	SUPERFICIE RADIANTE [m^2]	NUMERO DI PANNELLI
E.N.08.1	Ufficio associazione	18	13
E.N.02.1	Laboratorio didattico	133	96
E.N.05.1	Agorà interna	81	59
E.N.04.2	Ufficio	11	8
E.N.04.3	Spazio amministrativo	34	25
E.N.04.4	Sala insegnanti	47	34

Tab. 8.27 Dimensionamento superficie radiante e numero di pannelli, piano terreno

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	SUPERFICIE RADIANTE [m^2]	NUMERO DI PANNELLI
E.N.01.1	Aula – home base	26	18
E.N.01.10	Aula – home base	21	16
E.N.01.2	Aula – home base	20	15
E.N.01.3	Aula – home base	21	16
E.N.01.11	Aula – home base	20	15
E.N.01.4	Aula – home base	29	22
E.N.02.2	Laboratorio di informatica	85	62
E.N.01.5	Aula – home base	10	8
E.N.01.6	Aula – home base	9	7
E.N.01.7	Aula – home base	9	7

E.N.01.8	Aula – home base	17	13
E.N.01.9	Aula – home base	15	11
E.N.06.2	Connettivo	96	70

Tab. 8.28 Dimensionamento superficie radiante e numero di pannelli, piano primo

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	SUPERFICIE RADIANTE [m^2]	NUMERO DI PANNELLI
E.N.01.12	Aula – home base	23	17
E.N.01.21	Aula – home base	16	12
E.N.01.13	Aula – home base	16	12
E.N.01.14	Aula – home base	16	12
E.N.01.22	Aula – home base	16	12
E.N.01.15	Aula – home base	21	16
E.N.02.3	Laboratorio di informatica	79	57
E.N.01.16	Aula – home base	11	8
E.N.01.17	Aula – home base	11	8
E.N.01.18	Aula – home base	11	8
E.N.01.19	Aula – home base	20	15
E.N.01.20	Aula – home base	18	13
E.N.06.3	Connettivo	168	121

Tab. 8.29 Dimensionamento superficie radiante e numero di pannelli, piano secondo

8.6.1.5 Calcolo delle portate d'acqua

Il calcolo della portata d'acqua per ciascun circuito è calcolabile attraverso la sottostante espressione:

$$G = (Q_{\text{circuito}} / \Delta T) \times 0,86 \quad [l/h]$$

Dove: G è la portata d'acqua; Q_{circuito} è la resa termica dei pannelli del circuito [W]; $\Delta T = |T_m - T_r|$ salto termico dell'acqua [°C]. Tuttavia, per la tipologia Dekor Acoustic in ciascun circuito all'interno del pannello deve essere garantita una portata minima di 40 l/h e e quindi la portata non è un dato di calcolo ma è più un valore imposto in base al tipo di pannello utilizzato e il ΔT stabilito. Note le portate si passa al calcolo delle perdite di carico del circuito, attraverso i grafici forniti dalle schede tecniche del pannello utilizzato. Tuttavia, trattandosi di un

dimensionamento preliminare rimandiamo questi calcoli ad un livello di progettazione più approfondito. Si consiglia come distribuzione quella a collettori: essa permette di avere in un'unica botola di ispezione intercettazioni, bilanciamenti e regolazioni per più ambienti.

8.6.2 Verifica invernale del sistema

Il procedimento visto fin ora porta al dimensionamento del sistema radiante secondo la situazione estiva che risultava, secondo il calcolo del fabbisogno, la più gravosa. Come detto precedentemente uno degli aspetti di positivi per cui questo sistema è stato scelto, riguarda la possibilità di utilizzare lo stesso impianto sia nella condizione estiva che in quella invernale. Proprio per quest'ultima situazione si procede alla valutazione della resa termica specifica e delle temperature di mandata e di ritorno dell'impianto.

Per prima cosa è stato indispensabile definire la resa termica richiesta dal sistema in condizioni invernali. Secondo i dati ricavati dal fabbisogno, lo spazio connettivo al piano secondo risulta essere quello che presenta il valore più elevato, pari nello specifico a 32,9 W/m² e pertanto si considera una resa termica specifica di progetto pari a 35 W/m².

A questo punto, ragionando sempre sullo spazio più sfavorito, si è potuta determinare la differenza fra la temperatura di mandata e quella di ritorno che si verificherà in situazione invernale. Risulta fondamentale precisare che la portata del sistema è fissa e pari a quella individuata con il dimensionamento dell'impianto in fase estiva. Proprio dalla formula della portata si ricava che:

$$\Delta T = (Q_{em} / G) \times 0,86$$

dove l'emissione totale Q_{em} si è ricavata moltiplicando la resa termica specifica definita (35 W/m²) per la superficie utile. Si è così ottenuto un valore di ΔT di 2 K. Ipotizzando di avere una temperatura di mandata di 31 °C, la temperatura di ritorno risulterà essere di 29°C.

Avendo effettuato il dimensionamento per il locale più sfavorito, si è certi che questa soluzione sia conforme a coprire il fabbisogno invernale di tutti i locali senza la necessità di prevedere un'integrazione da parte del sistema ad aria.

8.7 Impianto di ventilazione

Definite le caratteristiche della quota parte di sistema funzionante ad acqua, attraverso il sistema radiante a soffitto, è risultato necessario approfondire l'impianto che si occupa del trattamento e immissione dell'aria negli ambienti.

Come accennato inizialmente, per garantire un maggior controllo delle condizioni ambientali negli spazi, si è deciso di prevedere una ventilazione meccanica. Il sistema è composto da una rete di distribuzione e da una UTA (unità di trattamento aria), apparecchiatura che definisce le caratteristiche dell'aria immessa negli spazi, posta sulla copertura piana dell'edificio di nuova progettazione.

Valutazione indispensabile per procedere al dimensionamento del sistema risulta essere l'individuazione delle portate in gioco. Queste, come visto nel paragrafo 8.4, sono già state valutate in funzione della destinazione d'uso dei locali e della loro volumetria/numero di occupanti.

8.7.1 Dimensionamento dei terminali

Per il dimensionamento della rete di distribuzione ad aria, si è partiti dalla valutazione della tipologia di terminali da installare. Questi elementi, che hanno il compito di immettere o estrarre l'aria nell'ambiente sono di diverso tipo. Nel nostro caso, grazie alla presenza in tutti gli spazi di una controsoffittatura e non volendo vincolare eccessivamente le pareti alla presenza di elementi terminali, è stato deciso di installarli a soffitto per la mandata ed a base muro per la ripresa, al fine di garantire un ottimo comportamento al sistema di ventilazione a completa miscelazione.

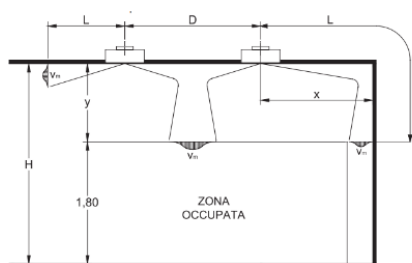
8.7.1.1 Diffusori

Per i diffusori usati per la mandata, è stato deciso di inserire elementi ad alta induzione a lancio elicoidale di forma circolare (modello SWC della Tecnoventil) in acciaio zincato verniciato. Definito il modello di terminale, si è proceduto alla definizione della dimensione e del numero di elementi da inserire in ogni locale/ambiente scolastico, soddisfacendo le seguenti principali verifiche:

Indice di rumorosità NR < 40

$v_{1,8}$ velocità terminale a 1,8 m da terra < 0,2 m/s

Il dimensionamento è avvenuto attraverso i fogli di calcolo .xls forniti dall'azienda produttrice. I principali risultati di calcolo sono riportati nelle tabelle sottostanti.



LEGENDA:
 n° DIFF/DIM= numero dei diffusori e la loro dimensione [mm]
 NR= indice di rumorosità
 v_k = velocità frontale [m/s]
 $v_{1,8}$ = velocità terminale a 1,8 m da terra [m/s]
 $L_{0,2}$ = raggio di diffusione con $v_m=0,2$ m/s [m]
 y = componente verticale di lancio [m]
 Δp = perdite di carico [Pa]

Fig. 8.19 Schema e legenda dati dei diffusori ad alta induzione a lancio elicoidale

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	PORTATA D'ARIA DI MANDATA di progetto [m³/h]	n° DIFF/D IM	NR	v_k [m/s]	$v_{1,8}$ [m/s]	$L_{0,2}$ [m]	y [m]	Δp [Pa]
E.N.06.1	Connettivo ufficio associazione	23	1/310	< 15	0,8	0,08	0,7	0,2	1
E.N.08.1	Ufficio associazione	161	1/400	18	2,0	0,16	1,9	0,9	8
E.N.02.1	Laboratorio didattico	882	2/500	33	3,2	0,17	3,1	0,9	22
E.N.05.1	Agorà interna	1942	4/500	35	3,6	0,17	3,3	0,8	27
E.N.04.1	Spazio comune	267	2/400	< 15	1,6	0,15	1,6	0,9	6
E.N.04.2	Ufficio	84	1/310	23	2,9	0,18	2,1	0,9	18
E.N.04.3	Spazio amministrativo	316	2/400	18	1,9	0,15	1,8	0,8	8
E.N.04.4	Sala insegnanti	324	2/400	18	2,0	0,16	1,9	0,9	8

Tab. 8.30 Dimensionamento e numero di diffusori in ogni locale/ambiente scolastico al piano terreno

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	PORTATA D'ARIA DI MANDATA di progetto [m³/h]	n° DIFF/D IM	NR	v_k [m/s]	$v_{1,8}$ [m/s]	$L_{0,2}$ [m]	y [m]	Δp [Pa]
E.N.01.1/4	Aula – home base	781	2/500	30	2,9	0,19	2,8	1,3	18
E.N.01.10/2/3/11/9	Aula – home base	655	2/500	26	2,4	0,16	2,4	0,8	12
E.N.02.2	Laboratorio	882	2/500	33	3,2	0,19	3,1	1,3	22
E.N.01.5/6/7/8	Aula – home base	706	2/500	28	2,6	0,17	2,6	0,9	14
E.N.06.2	Connettivo	1992	7/500	22	2,1	0,20	2,2	1,4	9

Tab. 8.31 Dimensionamento e numero di diffusori in ogni locale/ambiente scolastico al piano primo

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	PORTATA D'ARIA DI MANDATA di progetto [m³/h]	n° DIFF/D IM	NR	v_k [m/s]	$v_{1,8}$ [m/s]	$L_{0,2}$ [m]	y [m]	Δp [Pa]
E.N.01.12/15	Aula – home base	781	2/500	30	2,9	0,19	2,8	1,3	18
E.N.01.21/13/14/22/20	Aula – home base	655	2/500	26	2,4	0,16	2,4	0,8	12
E.N.02.3	Laboratorio	882	2/500	33	3,2	0,19	3,1	1,3	22
E.N.01.16/17/18/19	Aula – home base	706	2/500	28	2,6	0,17	2,6	0,9	14
E.N.06.3	Connettivo	1416	6/500	18	1,7	0,17	1,9	1,1	6

Tab. 8.32 Dimensionamento e numero di diffusori in ogni locale/ambiente scolastico al piano secondo

8.7.1.2 Griglie di ripresa

L'aria immessa negli ambienti viene estratta attraverso delle griglie a schermo forellato (modello BSF della Tecnoventil) in acciaio zincato verniciato, poste alla base delle pareti. Il corretto dimensionamento di questi elementi risulta anch'esso necessario per garantire, sempre, la presenza di aria con determinate qualità igieniche negli ambienti. Definito il modello di terminale, si è proceduto alla definizione della dimensione e del numero di elementi da inserire in ogni locale/ambiente scolastico, soddisfacendo la seguente verifica:

Indice di rumorosità NR < 40

Di seguito si riportano i risultati dei soli principali locali didattici al piano primo e secondo.

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	n° GRIGLIE	DIMENSIONI [mm]	NR	v _k [m/s]	Δp [Pa]
E.N.01.1 e analoghe	Aula – home base	2	400x100	39	4,3	49
E.N.01.10 e analoghe	Aula – home base	2	400x100	34	3,6	35
E.N.02.2 e analoghi	Laboratorio	3	400x100	31	3,3	29
E.N.01.5 e analoghe	Aula – home base	2	400x100	37	4,0	42

Tab. 8.33 Dimensionamento e numero di griglie di ripresa nei principali locali didattici al piano primo e secondo

L'uso delle griglie di ripresa dalle dimensioni massime di 400x100 mm ha consentito l'alloggiamento corretto dei plenum all'interno delle pareti divisorie da 300 mm concepite durante la fase di progettazione tecnologica.

8.7.1.3 Valvole di aspirazione servizi igienici

Infine, è stata definita l'ultima tipologia di terminale, costituita da valvole di ventilazione (modello VIA-B della Tecnoventil) in acciaio verniciato per la ripresa dell'aria, con installazione a livello della controsoffittatura nei servizi igienici, dove è presente la sola necessità di estrazione dell'aria viziata. Anche in questo l'unica verifica da soddisfare è quella dell'indice di rumorosità che deve essere inferiore a 40.

SIGLA	DESTINAZIONE D'USO	n° VALVOLE	DIAMETRO [mm]	NR	v _k [m/s]	Δp [Pa]
E.N.03.2	Servizi igienici	2	200	15	1,5	6
E.N.03.3/4/5/6	Servizi igienici	4	200	17	1,7	8

Tab. 8.34 Dimensionamento e numero delle valvole di aspirazione nei servizi igienici

8.7.2 Dimensionamento della rete di distribuzione

Si procede a questo punto al dimensionamento della rete di distribuzione. In particolare, si specifica fin da subito, che le condotte di ripresa dei servizi igienici e degli altri spazi presenti risultano essere distinte in quanto solo per le seconde si prevede un collegamento al recuperatore di calore. Per il dimensionamento della rete è stata necessaria una valutazione a priori sul numero e la posizione delle unità di trattamento d'aria (U.T.A) alle quali i condotti sono collegati. In particolare, come si vedrà meglio nel paragrafo dedicato, si è ipotizzato di installare due U.T.A (lato sinistro e lato destro dell'edificio) e di posizionarle in copertura. I canali d'aria di distribuzione

alloggeranno negli appositi cavedi verticali e orizzontali predisposti a livello planimetrico. Stabilita la posizione dei terminali ed il percorso planimetrico dei canali d'aria si è proceduto con il dimensionamento della rete di distribuzione più sfavorita, ovvero quella che raggiunge l'ufficio dell'associazione base posto al piano terreno. Il dimensionamento dei canali d'aria è avvenuto stabilendo la velocità del fluido ad un valore massimo di 4 m/s, per le diramazioni orizzontali, e di 6 m/s, per i canali di distribuzione verticali; valori conformi alle velocità massime consigliate e riportate nella tabella sottostante.

VELOCITÀ DELL'ARIA CONSIGLIATE MASSIME [m/s]	
Elemento	Edifi pubblici scuole-teatri
Condotte principali	5 – 6,5
Condotte secondarie	3 – 4,5

Tab. 8.35 Scelta della velocità dell'aria (consigliata e massima) per impianti di condizionamento di tipo convenzionale (velocità riferite all'area lorda frontale)

Note le velocità e le portate d'aria, in ogni singolo tratto, si è passati al calcolo dell'aria minima dei canali di distribuzione, mediante l'espressione:

$$A_{teorica\ canale} = \text{Portata d'aria} / \text{velocità aria}$$

Calcolate le aree si sono poi stabilite le dimensioni effettive dei canali rettangoli di distribuzione dell'aria e si sono calcolate le velocità effettive con la formula:

$$\text{Velocità aria}_{effettiva} = \text{Portata d'aria} / \text{Area}_{effettiva\ canale}$$

Infine, dopo aver calcolato il diametro equivalente dei canali, per ogni singolo tratto, si sono calcolate in contemporanea le perdite di carico in modo da poter gestire i due valori simultaneamente.

8.7.2.1 Diametro equivalente

Il calcolo del diametro equivalente è stato reso necessario per poter calcolare successivamente le perdite di carico continue; questo valore è stato ottenuto tramite la formula di Huebscher:

$$D_e = 1,30 \times [(axb)^{0,625} / (axb)^{0,250}]$$

dove: D_e è il diametro di un canale circolare equivalente ad un canale rettangolare; a, b sono i lati della sezione rettangolare.

8.7.2.2 Perdite di carico continue

Per ogni metro di canale, le perdite di carico continue dell'aria sono state calcolate con la seguente formula:

$$r = F_a \times (1/D_e) \times \rho \times (v^2/2) \quad [\text{Pa/m}]$$

in cui: r è la perdita di carico continua unitaria; F_a è il fattore di attrito adimensionale, che dipende dal regime di moto del fluido e dalla rugosità dei canali (nel nostro caso specifico si sono ipotizzati dei canali in acciaio con una scabrezza di 0,06); ρ è la massa volumica dell'aria [kg/m^3]; v è la velocità media dell'aria [m/s]; D_e è il diametro equivalente del canale rettangolare [m].

8.7.2.3 Regime di moto

Il regime di moto è determinato dal numero di Reynolds:

$$R_e = (v \times D) / \dot{\nu}$$

dove: R_e è il numero di Reynolds adimensionale; v è la velocità media del fluido [m/s]; D è il diametro interno del canali [m]; $\dot{\nu}$ è la viscosità cinematica del fluido [m^2/s].

Sulla base del risultato ottenuto si ha che il moto del fluido è: laminare se R_e minore di 2.000; transitorio se R_e compreso fra 2.000 e 2.500; turbolento se R_e maggiore di 2.500. Per i diametri e le velocità in gioco è stato considerato un moto turbolento, cioè il regime con maggior disordine e quindi con le maggiori perdite di carico.

8.7.2.4 Fattore di attrito

In regime turbolento il fattore di attrito è determinabile con la formula di Colebrook, che però richiede, calcoli assai complessi. Pertanto, nella pratica ci si è affidati a formule più semplici in particolare a quella di Altshul-Tsal:

$$F_a^* = 0,11 \times [(\epsilon/D_e) + (68/R_e)]^{0,25}$$

$$\text{se } F_a^* \geq 0,018 \quad F_a = F_a^*$$

$$\text{se } F_a^* < 0,018 \quad F_a = 0,85 \times F_a^* + 0,0028$$

8.7.2.5 Perdite di carico localizzate

Nei condotti che convogliano aria, le perdite di carico localizzate possono essere determinate con il metodo di calcolo diretto, che consente di calcolare le perdite di carico localizzate con la seguente formula:

$$Z = \epsilon \times \rho \times (v^2/2) \quad [\text{Pa}]$$

dove: Z è la perdita di carico localizzata; ϵ è il coefficiente di perdita localizzata adimensionale (ricavato dalle tabelle di riferimento riportate nei manuali della Caleffi); ρ è la massa volumica dell'aria [kg/m^3]; e v è la velocità media dell'aria [m/s].

8.7.2.6 Risultati del dimensionamento della rete più sfavorita

Di seguito si riportano i principali risultati ottenuti dal dimensionamento della rete di distribuzione più sfavorita.

TRATTI VERTICALI	Dall'U.T.A al P2	Dal P2 al P1	Dal P1 al PT
Portata d'aria [m^3/h]	12053	7118	1912
Velocità aria [m/s]	6	6	6
Area di predimensionamento [cm^2]	5580	3295	885
Base canale [mm]	900	700	500
Altezza canale [mm]	650	500	200
Lunghezza canale [m]	1	4	4
Velocità effettiva [m/s]	5,72	5,65	5,31
Diametro equivalente [m]	0,19	0,16	0,10
Scabrezza canale ϵ [mm]	0,06	0,06	0,06
Scabrezza relativa ϵ/D	0,0003173	0,0003848	0,0006155
Fattore di attrito F_a^*	0,021	0,022	0,025
Fattore di attrito F_a	0,021	0,022	0,025
Perdite di carico continue [Pa]	2,38	12,16	22,13
Perdite di carico localizzate [Pa]	-	3,83	3,38
Perdite di carico totali [Pa]	2,38	16	25,5

Tab. 8.36 Dimensionamento dei canali d'aria di mandata verticali del percorso più sfavorito

TRATTI VERTICALI	Dal PT ai laboratori	Dai laboratori all'ufficio
Portata d'aria [m^3/h]	1055	173
Velocità aria [m/s]	4	4

Area di predimensionamento [cm ²]	733	120
Base canale [mm]	400	200
Altezza canale [mm]	200	100
Lunghezza canale [m]	21	8,50
Velocità effettiva [m/s]	3,66	2,40
Diametro equivalente [m]	0,09	0,05
Scabrezza canale ϵ [mm]	0,06	0,06
Scabrezza relativa ϵ/D	0,0006692	0,0011254
Fattore di attrito Fa^*	0,027	0,034
Fattore di attrito Fa	0,027	0,034
Perdite di carico continue [Pa]	47,64	52,38
Perdite di carico localizzate [Pa]	-	0,69
Perdite di carico diffusore [Pa]	-	8
Perdite di carico totali [Pa]	61,75	61,1

Tab. 8.37 Dimensionamento dei canali d'aria di mandata orizzontali del percorso più sfavorito
 Per il percorso più sfavorito si sono determinate le perdite di carico totali (continue + localizzate) al fine di stimare la prevalenza totale che permetterà di dimensionare i ventilatori posti in ciascuna U.T.A.:

prevalenza totale ≈ 170 Pa $\approx 17,4$ mm c.a.

8.8 Unità di trattamento aria

Come detto, nel paragrafo precedente si sono potuti individuare i dati necessari al dimensionamento dei ventilatori. Questi elementi rappresentano solo una parte del sistema che costituisce le unità di trattamento dell'aria. L'obiettivo di questo paragrafo è infatti quello di definire il sistema di funzionamento e di trattamento dell'aria dai quali si potranno ottenere le dimensioni e delle restanti parti del sistema.

8.8.1 Funzionamento

L'unità di trattamento aria (U.T.A.), è una macchina utilizzata per la regolazione delle caratteristiche termo igrometriche, dell'aria che viene immessa, attraverso la rete di ventilazione, all'interno degli ambienti. L'obiettivo della macchina è quindi quello di prelevare aria dall'esterno e, attraverso diversi trattamenti, farle assumere le caratteristiche richieste dall'utenza terminali,

ovvero definiti valori di: temperatura, umidità e purezza. Nel nostro caso grazie alla presenza di un recuperatore di calore, di cui si parlerà meglio in seguito, si sfrutterà il calore rilasciato dall'aria viziata prelevata dagli ambienti presenti all'interno dell'edificio, eccettuati i bagni per i quali l'aria aspirata viene totalmente emessa all'esterno.

8.8.1.1 Scelte progettuali

Come già accennato dell'edificio oggetto di questo approfondimento è stato ipotizzato il posizionamento di due unità per il trattamento aria che si occupano di parti distinte dell'edificio: lato destro e lato sinistro. La scelta di scorporare in due unità è stata dettata dalla necessità di avere piccoli ingombri delle condotte d'aria e delle stesse U.T.A, e dal voler mantenere anche l'impianto di copertura a tetto verde il più possibile pulito ed ordinato.

Data questa suddivisione, utilizzata anche per le reti di distribuzione, si è effettuato un predimensionamento di massima delle U.T.A. per quanto riguarda, in particolare, il fronte di ciascuna. Questo è avvenuto attraverso la conoscenza della portata d'aria circolante e dalla definizione di opportuni limiti di velocità per quanto riguarda l'attraversamento delle batterie di raffreddamento e di riscaldamento:

velocità attraversamento batteria raffreddamento di 2,5 m/s

velocità attraversamento batteria riscaldamento di 3,5 m/s

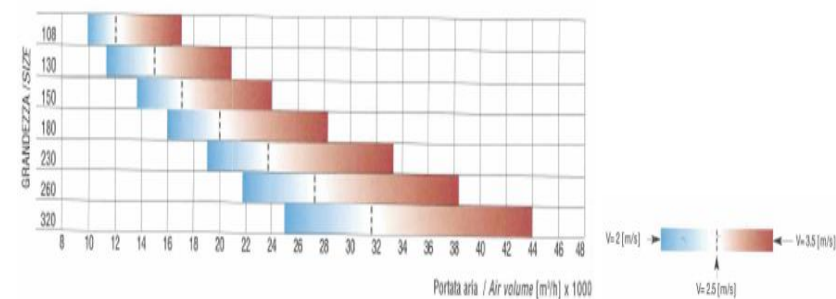


Fig. 8.20 Grafico di predimensionamento delle U.T.A

In funzione della tabella sopra riportata, fornita da un produttore, in relazione ai limiti di velocità sopra riportati, sono state definite le seguenti dimensioni del fronte di ciascuna U.T.A.

	PORTATA D'ARIA TRATTATA [m ³ /h]	TAGLIA	DIMENSIONI BASE [mm]	DIMENSIONI ALTEZZA [mm]
U.T.A 1	12053	108	1080	1040
U.T.A 2	12053	108	1080	1040

Tab. 8.38 Predimensionamento del fronte di ciascun U.T.A

8.8.1.2 Recuperatore di calore

Un elemento fondamentale che può essere integrato alle normali funzionalità delle unità di trattamento aria, risulta essere il recuperatore di calore questo consente di trasferire calore e/o umidità tra un flusso di aria di espulsione ed un flusso di aria di immissione, sotto l'azione di una differenza di temperatura (o di umidità). In generale l'aria, continuando a ricircolare sempre nello stesso ambiente, si carica di anidride carbonica e di agenti inquinanti, ne deriva quindi la necessità di integrare aria nuova presa dall'esterno e opportunamente trattata. Proprio per questo processo di trattamento è possibile contenere l'incremento di costo energetico che ne deriva, con l'impiego di un sistema che recuperi appunto una grande parte del calore contenuto nella corrente d'aria espulsa e lo trasferisca alla corrente di rinnovo.

Sul mercato sono presenti diversi tipi di recuperatori di calore, nel caso oggetto di studio si è ipotizzato l'utilizzo di un tipo aria-aria con piastre fisse che permette di avere, non avendo arti mobili, un funzionamento sicuro e affidabile. Questa tipologia di scambiatori di calore è costituita da lamiere di alluminio stampate, disposte con spaziature variabili a seconda del tipo di impiego. Lungo i bordi vengono effettuate sigillature tali da impedire la contaminazione dell'aria di rinnovo da parte degli inquinanti contenuti nell'aria di espulsione. Il rendimento ipotizzato per questo tipo di elemento è pari al 70 % circa.

8.8.2 Definizione delle trasformazioni termiche

Per capire a pieno il funzionamento delle U.T.A previste nell'edificio oggetto di studio è stato necessario analizzare separatamente la situazione invernale ed estiva e le relative trasformazioni termiche attraverso l'utilizzo di diagrammi psicrometrici.

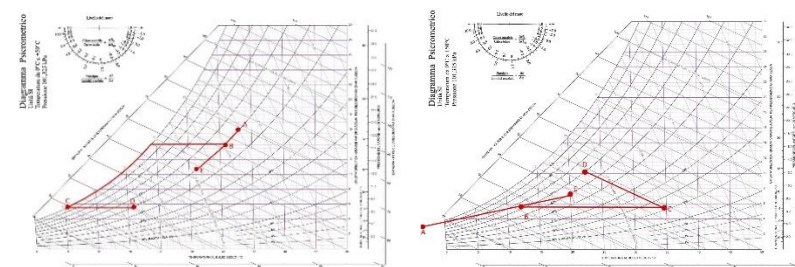


Fig. 8.21 Diagramma psicrometrico situazione estiva ed invernale

8.8.2.1 Situazione estiva

Per prima cosa sono state riprese le condizioni di progetto precedentemente stabilite di temperatura e di umidità:

- A (condizioni esterne): $T = 33 \text{ °C}$ e $U.R = 50 \%$ dai quali, attraverso il grafico, si sono ottenuti i valori corrispondenti a questa condizione relativi a H (entalpia) = $73,7 \text{ kJ/kg}$ e X (umidità specifica) = $15,83 \text{ g/kg}$.
- E (condizioni interne ambienti): $T = 26 \text{ °C}$ $U.R = 50 \%$ dai quali, si sono ottenuti i valori corrispondenti a questa condizione relativi a H (entalpia) = $52,9 \text{ kJ/kg}$ e X (umidità specifica) = $10,6 \text{ g/kg}$.

Come detto precedentemente, la presenza di un recuperatore entalpico permette di abbassare la temperatura di ingresso dell'aria nell'U.T.A. Il punto che rappresenta le caratteristiche dell'aria in uscita dal recuperatore di calore è individuato graficamente nel punto B. I dati ad esso relativi sono stati individuati attraverso le seguenti formule che identificano rispettivamente la temperatura dell'aria e l'umidità specifica:

$$T_B = T_E + (T_A - T_E) \times \eta_{rec} = 26 + (33 - 26) \times 0,70 = 31 \text{ °C}$$

$$X_B = X_E + (X_A - X_E) \times \eta_{rec} = 10,6 + (15,83 - 10,6) \times 0,70 = 14,26 \text{ g/kg}$$

Noti questi dati è stato possibile individuare le altre caratteristiche del punto B (condizione di partenza per i trattamenti dell'aria eseguiti nella macchina): umidità relativa U.R. = 50% ed entalpia H = 67 kJ/kg.

A questo punto l'aria all'interno dell'U.T.A viene sottoposta ad un trattamento di raffreddamento che porta ad una diminuzione della temperatura mantenendo l'umidità assoluta costante. Questo trattamento prosegue fino al raggiungimento di un valore di umidità relativa pari al 100%. L'aria satura rilascia acqua, a questo punto continuando a raffreddare si verifica una diminuzione del valore di umidità assoluta (deumidificazione). Per definire il valore di umidità assoluta da raggiungere (punto C) si è proceduti all'individuazione di ΔX ovvero la differenza di umidità specifica fra l'aria immessa nell'ambiente e quella ivi presente.

Noto il valore del calore latente (F_{le} in W), lo si è trasformato in portata di vapore

$$Q_{VAP} = F_{le} / C_{leVAP} \quad [\text{KgH}_2\text{O} / \text{h}]$$

sapendo che C_{leVAP} è il calore di vaporizzazione, pari a 720 Wh/kg. Poi si è calcolata la differenza di umidità specifica ΔX attraverso la seguente formula:

$$\Delta X = (Q_{VAP} / 3,6) / (Q_{ARIA} / V_{SPEC}) \quad [\text{g} / \text{kg}]$$

in cui: Q_{ARIA} è il valore di portata d'aria [m^3/s]; V_{SPEC} è il volume specifico [m^3/kg]. Fra risultati di ΔX individuati, utilizzando i dati dei vari ambienti, è stato scelto quello di valore maggiore, pari a 4,77 g/kg.

Da questo si sono definiti i dati che caratterizzano il punto C: $T_C = 5,8^\circ\text{C}$, U.R. = 100%, $H = 20 \text{ kJ/kg}$ e $X = 5,73 \text{ g/kg}$.

Giunti a questa condizione dell'aria, come visibile dal grafico, è stato necessario eseguire, infine, una fase di post riscaldamento, che non comporti variazioni di umidità specifica, fino all'ottenimento della temperatura e delle condizioni di immissione desiderate rappresentate dal punto D: $T_D = 16^\circ\text{C}$, U.R. = 50 %, $H = 31 \text{ kJ/kg}$ e $X = 5,73 \text{ g/kg}$.

PUNTO	T [°C]	U.R [%]	H [kJ/kg]	X [g/kg]	V [m³/kg]
A	33	50	73,7	15,83	0,89
B	31	50	67,0	14,26	0,88
C	12,5	100	20,0	5,73	0,88
D	16	50	31,0	5,73	0,83
E	26	50	52,9	10,50	0,86

Tab. 8.39 Dati dei punti di trasformazione termica nel caso estivo

In funzione della portata di ciascuna U.T.A, si è passati alla valutazione della potenza del recuperatore di calore e delle varie batterie che intervengono nella trasformazione termica. Per prima cosa, dal valore della portata d'aria trattata si è individuato il calore sensibile generato in ogni trasformazione termica:

$$F_{se} = Q_{ARIA} \times C_{sp} \times \Delta T \quad [\text{W}]$$

dove: C_{sp} è il calore specifico dell'aria per la sua densità [$\text{Wh}/\text{m}^3\text{°C}$]; ΔT è la variazione di temperatura tra i due punti analizzati. Poi si è calcolata la massa d'acqua condensata:

$$M_{H2O} = Q_{ARIA} / V_{SPEC} \times \Delta X \quad [\text{gH}_2\text{O}/\text{s}]$$

in cui ΔX è la differenza di umidità specifica fra i due punti [g/kg] di aria secca. A questo punto si è individuato il valore del calore latente:

$$F_{le} = M_{H2O} \times C_{leVAP} \quad [\text{W}]$$

dove, come visto prima, il calore latente di vaporizzazione (C_{leVAP}) risulta pari a 720 Wh/kg. Individuati questi valori si è trovato il calore totale F_{eTOT} :

$$F_{eTOT} = F_{se} + F_{le} \quad [\text{W}]$$

In alternativa, sfruttando le entalpie è possibile individuare lo stesso valore attraverso la formula seguente:

$$F_{eTOT} = Q_{ARIA} / V_{SPEC} \times \Delta H \quad [\text{W}]$$

in cui ΔH rappresenta la differenza dei valori di entalpia fra i due punti analizzati.

Nella tabella sottostante sono riportati i valori riferibili ad ambedue le U.T.A, essendo queste identiche tra loro. Inoltre, ai fini di una migliore comprensione delle potenze richieste per ciascun componente, che interviene nei vari trattamenti, sono stati utilizzati diversi colori.

COMPONENTE	
	Recuperatore entalpico
	Batteria di raffreddamento e deumidificazione
	Batteria di umidificazione
	Batteria di riscaldamento
	Batteria di post riscaldamento

Tab. 8.40 Legenda componenti U.T.A

U.T.A con $Q_{ARIA} = 12053 \text{ m}^3/\text{h}$							
PUNTO	M_{H_2O} [g/s]	ΔT [°C]	ΔH [kJ/kg]	ΔX [g/kg]	F_{se} [kW]	F_{le} [kW]	F_{eTOT} [kW]
A	5,91	-2	-6,7	-1,57	8,2	15,3	23,5
B	32,45	-18,5	-47	-8,53	75,9	84,1	160,0
C	0,00	3,5	11	0	14,4	0	14,4

Tab. 8.41 Potenze componenti U.T.A

8.8.2.2 Situazione invernale

L'analisi sopra riportata, effettuata per il caso estivo, è stata replicata per il caso invernale. Attraverso la conoscenza dei dati climatici e quelli di progetto relativi a questa situazione si sono individuati, come per il caso precedente, i seguenti punti sul grafico:

- A (condizioni esterne): $T = -5,4 \text{ °C}$ e $U.R = 85\%$ dai quali, attraverso il grafico, si sono ottenuti i valori corrispondenti a questa condizione relativi a H (entalpia) = 0,00 kJ/kg e X (umidità specifica) = 3,5 g/kg.
- E (condizioni interne ambienti): $T = 20 \text{ °C}$ $U.R = 50\%$ dai quali, si sono ottenuti i valori corrispondenti a questa condizione relativi a H (entalpia) = 38,50 kJ/kg e X (umidità specifica) = 7,3 g/kg.

Anche per il caso invernale, la presenza di un recuperatore entalpico permette, in questo caso, di aumentare la temperatura dell'aria di ingresso nell'U.T.A. Ciò è visibile nel punto B, determinato attraverso le formule indicate precedentemente per il caso estivo: $T_B = 12,38 \text{ °C}$, X (umidità specifica) = 4,7 g/kg, $U.R = 65\%$ e H (entalpia) = 26,5 kJ/kg.

L'aria, con queste determinate condizioni, entra all'interno dell'U.T.A dove viene sottoposta ad un trattamento riscaldamento effettuato a umidità specifica costante. Per definire il punto che deve essere raggiunto con il trattamento di riscaldamento si è seguito lo stesso procedimento visto nel caso estivo. Conoscendo il valore del calore latente, lo si è trasformato in portata di vapore espressa in $\text{kg H}_2\text{O}/\text{h}$. In seguito, è stata definita la differenza di umidità specifica ΔX , espresso in g/kg utilizzando per ogni ambiente il valore di portata d'aria ad esso relativa. Anche in questo caso si è poi andati ad individuare il valore maggiore di questo dato, risultato pari a 2,6 g/kg. Con la conoscenza di questo ultimo dato è stato poi possibile individuare i valori che caratterizzano il punto C, individuato sul grafico, ovvero: $T_C = 34,5 \text{ °C}$, $U.R = 16\%$, $H = 48 \text{ kJ/kg}$ e $X = 4,70 \text{ g/kg}$.

L'aria viene quindi sottoposta ad un trattamento di umidificazione ad acqua che avviene mantenendo il valore di entalpia costante. Attraverso questo ultimo passaggio si sono riuscite ad ottenere le caratteristiche richieste per l'aria immessa, rappresentate dal punto D pari a : $T_D = 22,0 \text{ °C}$, $U.R = 60\%$, $H = 48 \text{ kJ/kg}$ e $X = 10,3 \text{ g/kg}$.

PUNTO	T [°C]	U.R [%]	H [kJ/kg]	X [g/kg]	V [m³/kg]
A	-5,4	85	0	3,5	0,76
B	12,4	65	26,5	4,7	0,815
C	34,5	16	48	4,7	0,88
D	22	60	48	10,3	0,85
E	20	50	38,5	7,3	0,84

Tab. 8.42 Dati dei punti di trasformazione termica nel caso invernale

A questo punto, con le formule viste in precedenza per il caso estivo, si sono potute valutare le potenze delle batterie presenti in ciascuna U.T.A.

U.T.A con Q _{ARIA} = 12053 m ³ /h							
PUNTO	M _{H2O} [g/s]	ΔT [°C]	ΔH [kJ/kg]	ΔX [g/kg]	F _{se} [kW]	F _{le} [kW]	F _{e TOT} [kW]
A	5,29	17,8	24,6	1,2	73	13,7	86,7
B	0,00	22,1	21,5	0	90,6	0	90,6
C	21,31	-12,5	0	5,6	51,3	55,2	106,5

Tab. 8.43 Potenze componenti U.T.A

8.8.3 Componenti U.T.A

Come detto inizialmente ogni unità di trattamento aria è composta da vari elementi, ognuno con una propria funzione. Di seguito si è riportata una breve descrizione di ciascun componente.

8.8.3.1 Sezioni di filtrazioni

All'interno dell'U.T.A è prevista la presenza di una serie di filtri atti a fermare le impurità provenienti dall'ambiente esterno, per garantire un'elevata qualità dell'aria da immettere all'interno degli ambienti. Nello specifico si è ipotizzato l'inserimento nelle unità di trattamento dell'aria di prefiltri (o filtri preliminari), posti più esternamente, seguiti da filtri ad alta efficienza.

8.8.3.2 Recuperatore entalpico

Per il recuperatore di calore, come detto in precedenza, si è previsto l'uso di una tipologia a piastre fisse, più efficienti dei sistemi rotativi che potrebbero generare fenomeni di contaminazione fra i fluidi.

8.8.3.3 Sezioni termiche

Le sezioni termiche, previste nelle due U.T.A, hanno lo scopo di permettere lo scambio termico fra l'aria e il fluido proveniente dalla centrale di produzione. La batteria di preriscaldamento, preriscalda l'aria e rende possibile l'umidificazione fino ai valori desiderati, ed è composta generalmente da tubi in rame ed alettatura in alluminio. La batteria di raffreddamento e deumidificazione, sottrae all'aria trattata il calore sensibile e il calore latente fino alle caratteristiche desiderate. Infine, la batteria di riscaldamento svolge delle funzioni analoghe a quelle delle batterie di preriscaldamento.

8.8.3.4 Sezioni di umidificazione

Come indicato nelle trasformazioni termiche, è emersa la necessità di eseguire dei trattamenti che intervengono sull'umidità dell'aria; pertanto, si è ipotizzata la presenza di una sezione di umidificazione tale da attuare un'umidificazione attraverso l'impiego di acqua indirizzata da ugelli.

8.8.3.5 Sezioni di ventilazione

Le sezioni di ventilazione sono un componente principale del sistema, sono infatti responsabili della circolazione dell'aria sia in mandata che in ritorno. In particolare, si è ipotizzato l'utilizzo di ventilatori del tipo centrifugo a doppia aspirazione con bocca quadrata con funzionamento a pale in avanti (fino a pressioni di 1000 Pa) e a pale rovesce (oltre 1000 Pa).

Il dimensionamento dei ventilatori di mandata e di estrazioni, per quanto riguarda il calcolo della prevalenza era già stato effettuato nei paragrafi precedenti, qui sono state riportate le potenze, calcolabili mediante la sottostante espressione:

$$P_{ven} = Q_{ARIA} \times \text{prevalenza} / \eta_{ven} \quad [W]$$

Data una resa del 70% si è ottenuta una potenza richiesta di 0,81 kW.

8.9 Pompa di calore, fotovoltaico e solare termico

8.9.1 Pompa di calore geotermica

La macchina termica (o generatore di calore) prevista nella nuova scuola di progetto è una pompa di calore. Si tratta, in generale, di una macchina in grado di trasferire calore da bassa ad alta temperatura, costituita da un circuito chiuso, in cui un apposito fluido detto "intermedio" viene compresso ed espanso. Per ogni fase di compressione ed espansione, questo fluido prende parte del calore della fonte fredda e la cede a quella calda.

Uno degli aspetti positivi di questo sistema è quello di permettere, invertendo i cicli di lavoro, sia il riscaldamento (in fase invernale) che il raffreddamento. In particolare, questo può avvenire attraverso l'utilizzo di pompe reversibili, come quella ipotizzata nel caso oggetto di studio. Come detto il senso di

circolazione del fluido viene invertito attraverso l'utilizzo di due valvole deviatrici e una seconda valvola di espansione (rispetto al sistema tradizionale). In generale se nel caso invernale il fluido intermedio toglie calore alla sorgente fredda e lo cede al fluido caldo, nel caso estivo avviene il fenomeno inverso; infatti, il fluido intermedio toglie calore al fluido dell'impianto di raffrescamento e lo cede alla sorgente esterna.

La maggior parte delle pompe di calore attualmente disponibili presentano un limite dovuto alle temperature ottenibili posto a 55 °C. Questo è definito essenzialmente dalle caratteristiche fisiche e chimiche dei fluidi intermedi utilizzati. Nel nostro caso, in particolare, l'utilizzo della pompa di calore permette di soddisfare l'alimentazione del sistema radiante a soffitto e le batterie di riscaldamento e raffreddamento delle U.T.A.

Le prestazioni delle pompe di calore aumentano con il diminuire della differenza di temperatura fra la sorgente fredda e il fluido caldo. Il sistema a pannelli radianti scelto per l'edificio è ben compatibile con la pompa di calore in quanto funziona a basse temperature, inoltre la pompa di calore è compatibile anche all'alimentazione delle U.T.A operanti fra i 35 - 40 °C.

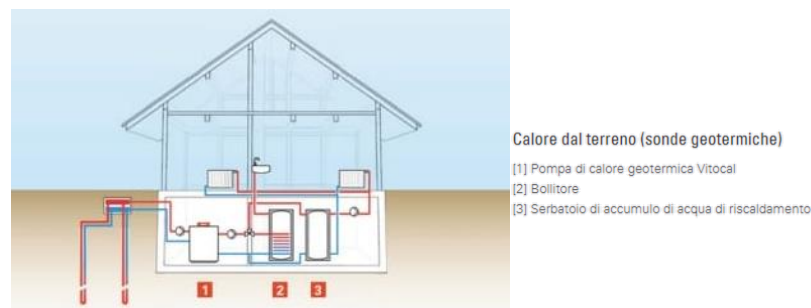


Fig. 8.22 Schema tipo di un impianto con pompa di calore a sonde geotermiche

Le notevoli caratteristiche positive e la maggior continuità di funzionamento dell'impianto durante l'anno, sono state alcune delle ragioni della scelta di un sistema che utilizzasse come sorgente il sottosuolo. In particolare, in funzione delle caratteristiche del luogo di progetto e dell'edificio inserito al suo interno,

si è optato per la captazione mediante sonde verticali. Il dimensionamento delle sonde si effettua in base alla resa termica del sottosuolo. Le pompe di calore che utilizzano sonde geotermiche per la captazione sfruttano il calore geotermico presente nella terra a partire da una profondità di 15 - 20 m. Sotto questo valore infatti, solo la componente geotermica, permette di garantire una differenza di 3 °C ogni circa 100 m di variazione di profondità.

Prima procedere all'installazione di questo tipo di sistema vanno eseguite analisi specialistiche unite alla valutazione delle normative legate all'utilizzo del sottosuolo. Le sonde sono realizzate con perforazioni il cui diametro varia da 100 a 150 mm. Effettuati i fori, viene inserito al loro interno uno o due circuiti ad U, realizzati con tubi in PE ad alta resistenza specifici per applicazioni geotermiche. L'ingresso dei circuiti in questi appositi fori viene facilitato dalla presenza di appositi pesi a perdere. Posati i circuiti, lo spazio rimasto fra le loro pareti e il diametro del foro viene riempito con un soluzione di cemento e bentonite che garantisce un buon scambio termico fra terreno e tubi.

Nei circuiti verrà inserito un fluido composto da acqua e antigelo. La posizione delle sonde rispetto all'edificio deve essere non inferiore ai 4 - 5 m, mentre reciprocamente devono essere poste ad almeno 8 m per evitare interferenze che porterebbero ad una diminuzione della resa globale.

8.9.2 Fotovoltaico e solare termico

Al fine di soddisfare la richiesta di energia rinnovabile, per edifici nZEB, si è ipotizzata l'installazione di pannelli fotovoltaici ed un sistema a collettori solari, in copertura. Quest'ultimi con la finalità di coprire almeno parzialmente il fabbisogno di acqua calda sanitaria richiesto dall'edificio scolastico.

8.10 Rete di scarico delle acque meteoriche

Per completare la valutazione impiantistica, si è ritenuto opportuno, ai fini di una progettazione corretta delle sezioni tecnologiche dell'edificio di nuova costruzione, porre l'attenzione sul progetto di massima del sistema di raccolta delle acque meteoriche secondo i criteri descritti dalla normativa europea UNI EN 12056 -3.

8.10.1 Portata di scorrimento acque meteoriche

La portata di acque meteoriche da far defluire da una copertura, in condizioni stazionarie, è calcolabile come:

$$Q_p = r \times A \times C \times Cr \quad [l/s]$$

in cui: r è l'intensità pluviometrica assunta pari a 0,04 l/sm²; A è la totalità delle superfici esposte alla pioggia determinata mediante la loro proiezione orizzontale [m²]; Cr è il coefficiente di rischio, in funzione del tipo di canale di gronda e della destinazione d'uso dell'edificio, in questo caso di valore 1; C è un parametro riduttore dell'intensità pluviometrica effettiva, che tiene conto della natura della superficie (rugosità e potere assorbente), ed il cui valore numerico è riportato nella tabella sottostante.

GENERE DI SUPERFICIE ESPOSTA	C
Tetti piani con rivestimento in ghiaia	0,6
Tetti piani ricoperti di terra (tetto giardino)	0,3
Tetti inclinati e piani con altro rivestimento	1,0

Tab. 8.44 Valore del coefficiente C in funzione della tipologia di copertura

In funzione della grandezza della copertura, e non volendo utilizzare condotti di dimensione troppo elevata, si è deciso di suddividere la superficie in più punti di captazione. Si è calcolata quindi per ciascuna area il suo carico pluviale.

PORZIONE	TIPO	C	Cr	r [l/sm ²]	A [m ²]	Qp [l/s]	Qp tot [l/s]
COP.1	Tetto con rivestimento in ghiaia	0,6	1,0	0,04	54	1,3	11,2
	Tetto a verde estensivo	0,3	1,0	0,04	584	7,0	
	Tetto con altro rivestimento	1,0	1,0	0,04	73	2,9	
COP.2	Tetto con rivestimento in ghiaia	0,6	1,0	0,04	61,4	1,5	10,5
	Tetto a verde estensivo	0,3	1,0	0,04	602	7,2	
	Tetto con altro rivestimento	1,0	1,0	0,04	45	1,8	
COP.3	Tetto a verde estensivo	0,3	1,0	0,04	40	0,48	0,75
	Tetto con altro rivestimento	1,0	1,0	0,04	6,4	0,26	

Tab. 8.45 Tabella dei carichi pluviali

8.10.2 Dimensionamento colonne pluviali

In funzione dell'indice di intensità pluviometrica scelto e delle portate d'acqua meteorica, calcolate precedentemente, sono state dimensionate le colonne pluviali tramite la seguente tabella.

Ø INTERNO/ ESTERNO [mm]	Qp [l/s]	Superficie massima in m ² evacuabile per r = 0,04 l/sm ²		
		C = 1,0	C = 0,6	C = 0,3
57/63	1,9	47	79	758
69/75	3,6	90	150	300
83/90	5,0	125	208	417
101/110	8,9	222	371	742
115/125	12,5	312	521	1042
147/160	25,0	625	1042	2083
187/200	47,0	1175	1958	3917
234/250	85,0	2125	3542	7083
295/315	157,0	3925	6542	13083

Tab. 8.46 Diametri per le colonne di scarico delle acque pluviali

Per la copertura piana superiore (COP.1 + COP.2), a quota 12,2 m, sono risultate indispensabili otto colonne pluviali di Ø 69/75 mm; mentre per la copertura piana della zona relax al piano primo (COP.3), a quota 8,3 m, una colonna di Ø 57/63 mm. Trattandosi di tetti a verde estensivo le bocchette di scarico sono state protette tramite opportuni elementi di ispezione, realizzati con profili in lega di alluminio-magnesio, di dimensioni 250 x 250 mm.

TETTO	PORZIONE	Qp tot [l/s]	COLONNA PLUVIALE Ø [mm]
Copertura piana a quota +12,2 m	COP.1	11,2	4 da 69/75
	COP.2	10,5	4 da 69/75
Copertura piana a quota +8,3 m	COP.3	0,75	1 da 57/63

Tab. 8.47 Diametri delle colonne di scarico delle acque pluviali di progetto

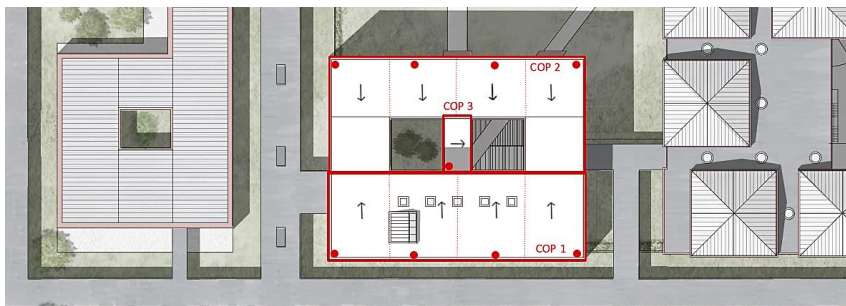



Fig. 8.23 Posizione dei pluviali sulla copertura piana a verde estensivo della nuova scuola

8.10.3 Dimensionamento collettori

Infine, per il dimensionamento dei collettori pluviali si è utilizzata la sottostante tabella, in cui i quantitativi massimi di acque pluviali ammessi per i diversi diametri e le varie pendenze corrispondono ad una altezza di riempimento del 80% (valore considerato ottimale).

 $h/d=0,8$	Pendenza 0,5%	Pendenza 1,0%	Pendenza 1,5%
\varnothing INTERNO/ ESTERNO [mm]	Qp [l/s]	Qp [l/s]	Qp [l/s]
69/75	1,3	1,8	2,3
86/90	2,0	2,8	3,4
101/110	3,6	5,0	6,2
115/125	5,2	7,4	9,0
147/160	10,0	15,0	18,0
187/200	19,0	27,0	33,1
234/250	34,5	49,0	60,1
295/315	62,8	90,6	111,1

Tab. 8.48 Diametri per i collettori di scarico delle acque usate

Imponendo una pendenza di progetto del 1% si sono ottenuti i seguenti diametri: per i singoli collettori alla base di ogni pluviale \varnothing 101/110 mm; mentre per il collettore generale \varnothing 187/200 mm, dal momento che la portata di acqua meteorica complessiva è risultata di 22,45 l/s.

9 VERIFICHE FINALI E CONCLUSIONI

L'elaborato si conclude con un resoconto del lavoro svolto e delle sfide affrontate nella raccolta delle informazioni e nella stesura del progetto. Si riporta anche la nuova certificazione del capitolo 1 applicata sul polo scolastico prima e dopo l'intervento di progetto, in modo da percepire l'entità sensibile del miglioramento pur senza svolgere operazioni massicce di rifacimento delle strutture esistenti. Si ringraziano infine tutte le figure che hanno contribuito alla realizzazione di questa tesi che rappresenta non solo un traguardo accademico importante ma anche l'inizio di un gratificante sviluppo professionale verso la progettazione e l'edilizia sostenibile.

- 9.1 Considerazioni sul lavoro svolto
- 9.2 Confronto prima/dopo con la nuova certificazione
- 9.3 Conclusione finale

9.1 Considerazioni sul lavoro svolto

Il processo che ha portato alla realizzazione di questo elaborato è stato particolarmente complesso ma anche allo stesso tempo semplice e lineare nella sua sequenza ordinata di fasi. In generale abbiamo cominciato dal sopralluogo e alla raccolta del materiale necessario per poi passare alle analisi dello stato di fatto, all'elaborazione del progetto e all'integrazione tecnologica. Pur essendo tutte queste fasi interdipendenti tra loro siamo rimasti comunque soddisfatti dallo sviluppo regolare e continuo degli elaborati grazie alla dovuta attenzione per ogni passo compiuto, senza mai stravolgere il lavoro già fatto.

9.1.1 Raccolta della documentazione

Fondamentale per la raccolta iniziale del materiale è stata la collaborazione con la Provincia di Monza e della Brianza e dei tre dirigenti delle scuole del polo scolastico. La Provincia, in particolare l'ufficio Ambiente e Patrimonio, ha permesso l'accesso ai dati generali della struttura e all'archivio per il recupero degli elaborati del progetto originario degli anni '70; i dirigenti dei vari istituti invece hanno divulgato, tramite circolari e pubblicazioni sui siti scolastici, i questionari online sulla valutazione degli ambienti didattici, che hanno permesso così di verificare le mancanze oggettive riscontrate da normativa. Un contributo prezioso è pervenuto anche da docenti volenterosi che si sono messi a disposizione per le interviste e ci hanno condotto attraverso le varie strutture per spiegarci le funzioni dei vari ambienti. Infine, per quanto riguarda la ricerca introduttiva del capitolo 1 sulla sostenibilità delle scuole, si è preso spunto dal laboratorio effettuato durante il corso di Analisi e Valutazione Ambientale riguardante la comparazione delle certificazioni energetiche.

9.1.1.1 Consumi e spese di mantenimento del polo scolastico

Grazie alla Provincia si sono recuperate infine le risorse necessarie allo stato di fatto per mantenere il polo scolastico (A.S. 2016/17): riscaldamento 217198 €; manutenzione ordinaria 91500 €; energia elettrica 166361 €; acqua 47656 €. Costando il metano 0,09 €/kWh, si stima un consumo unitario di riscaldamento di circa 80 kWh/m²a, per cui la classe CENED di partenza è mediocre (C).

9.1.2 Software utilizzati

I libri, le risorse online e le normative sono stati utili per impostare l'assetto volumetrico e distributivo del progetto; i numerosi software utilizzati invece hanno permesso di sviluppare anche gli interessanti approfondimenti sulla parte tecnologica: AutoCad per il disegno di piante e prospetti; Adobe Photoshop per l'impaginazione delle tavole; Sketchup con il plugin V-Ray per i modelli 3D e il rendering finale; lo strumento Ftool, la modellazione ad elementi finiti SAP e il software analogo Abaqus per i calcoli strutturali; Sefaira for Sketchup e il software Termolog per le simulazioni energetiche, illuminotecnica, acustiche, impiantistiche e del comfort interno.

9.2 Confronto prima/dopo con la nuova certificazione

A conclusione del progetto risulta interessante capire quanto è migliorata la situazione del polo scolastico. Per questo si riprende la nuova certificazione sviluppata nel capitolo 1 e la si applica al nostro caso studio sia allo stato di fatto che a lavori ultimati nello stato di progetto. Di seguito si mostra la tabella che confronta le due situazioni tra loro che si vanno poi a commentare:

NUOVA CERTIFICAZIONE SUL POLO SCOLASTICO DI VIMERCATE	STATO DI FATTO	STATO DI PROGETTO
Categorie	Punteggi parziali	
LOCALIZZAZIONE	4/9	9/9
AMBIENTE ESTERNO	6/12	10/12
DIMENSIONI EDIFICIO	7/17	16/17
AMBIENTE INTERNO E IMPIANTI	1/16	13/16
SERVIZI INTERNI	1/6	6/6
DIDATTICA	5/17	14/17
SICUREZZA ANTINCENDIO	9/13	11/13
BARRIERE ARCHITETTONICHE	8/10	9/10
Risultati	Punteggi totali	
PUNTEGGIO ATTRIBUITO	41/100	88/100
CLASSE DI VALUTAZIONE	Certified	Platinum

Tab. 9.1 Punteggi della nuova certificazione sul prima e dopo lavori del progetto di riqualificazione

Nella condizione iniziale il polo scolastico è a malapena certificato e risulta carente in molte aree, specialmente per quanto riguarda il sistema interno degli ambienti scolastici; solo il tema dell'accessibilità risulta essere buono in quanto le strutture ad un solo piano sono predisposte ad una facile fruizione da parte dei disabili.

Lo stato di progetto invece dimostra come la nuova certificazione sia in grado di valorizzare i lavori di riqualificazione dell'esistente, raggiungendo un livello di qualità ben superiore rispetto alle scuole di nuova costruzione studiate nel primo capitolo. Ciò è dovuto in particolare al maggiore peso del contenuto rispetto all'involucro e alla presenza di bonus per specifiche soluzioni di recupero. Nelle altre scuole analizzate infatti, sebbene siano nuove ed energeticamente efficienti, non sono presenti tutti gli aspetti della didattica innovativa che si sono invece introdotti nel progetto di tesi, per cui queste scelte immateriali e logistiche in realtà vanno ad incidere molto sul voto complessivo dell'edificio.

Si ribadisce ancora che l'intento di questa certificazione è quello di riportare l'attenzione ad un livello più completo di progettazione, nella quale si valorizza meglio lo scopo principale di una buona scuola, cioè formare nel miglior modo possibile le generazioni del futuro. Sta di fatto comunque che un buon involucro sia un requisito imprescindibile per essere coerenti al fine della sostenibilità'.

9.3 Conclusione finale

Un progetto di qualunque tipo ha successo nel momento in cui si stabiliscono correttamente le priorità nel programma di progettazione. Come spiega il noto antropologo Simon Sinek, qualunque soluzione di valore si costruisce dal nucleo più importante verso l'esterno secondo i tre strati del cerchio d'oro:

- **Il Perché (Visione):** sostenibilità collettiva (Community School)
- **Il Come (Obiettivi):** educare, condividere, promuovere, adattarsi
- **Il Cosa (Strategie):** la struttura scolastica, gli ambienti, le tecnologie, i consumi

Sebbene a livello di marketing la pura efficienza energetica rimanga il parametro più utilizzato per standardizzare e confrontare il patrimonio edilizio di ogni categoria e a livello internazionale, la vera qualità del progetto rimane celata dietro ad un complesso sistema interdisciplinare che attraverso le giuste domande arriva ad identificare e soddisfare i bisogni più profondi degli utenti.

La sostenibilità dunque è il fine ultimo verso cui convergono tutte le certificazioni edilizie: essa non è solo efficienza energetica e rispetto di parametri minimi ma anche un metodo di progettazione, un approccio lungimirante nello spazio e nel tempo per soddisfare molteplici esigenze, una scelta di materiali e uno stile di vita. Specialmente in un luogo così importante come la scuola è fondamentale valorizzare quelle scelte progettuali che sensibilizzano le nuove generazioni ad uno stile di vita sostenibile.

E' ovvio che una valutazione ambientale di così ampio respiro non sia affatto facile da standardizzare, ma è la soluzione più efficace su cui investire per garantire edifici che possano interagire positivamente nelle città del futuro.

RIFERIMENTI

CAP.1 SCUOLE E SOSTENIBILITÀ

BIBLIOGRAFIA

CITTADINANZATTIVA, *XI Rapporto su sicurezza, qualità e comfort degli edifici scolastici*, 2012
LEGAMBIENTE, *Qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi*, 2012
UNIONE PROVINCE D'ITALIA, *Le funzioni, i dati, le competenze, la sicurezza degli edifici scolastici*, 2014
COMMISSIONE EUROPEA, *Market study for a voluntary common European Union certification scheme for the energy performance of non-residential buildings*, 2014
COMMISSIONE EUROPEA, *Marrakech task force on sustainable buildings and construction*, 2007
MIUR, *Rapporto nazionale dell'anagrafe dell'edilizia scolastica*, 2015
PEPE D., ROSSETTI M., *Progetti di scuole innovative*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2016

SITOGRAFIA

<http://www.anci.it/index.cfm>
<https://new.usgbc.org/>

NORMATIVA

Decreto Ministeriale, 18 dicembre 1975, *Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica*
Decreto Ministeriale, 26 agosto 1992, *Norme di prevenzione incendi per edilizia scolastica*
Decreto Legislativo, 26 giugno 2015, *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici con riferimento agli aspetti termici e di sostenibilità*
Decreto Ministeriale, 14 giugno 1989, *Linee guida per l'abbattimento delle barriere architettoniche e criteri progettuali per il superamento*
Decreto Ministeriale, 11 aprile 2013, *Linee guida MIUR per progettare l'edilizia scolastica*
UNI 10838:1999, *Edilizia - Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia*

CAP.2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

BIBLIOGRAFIA

CAZZANI E., *Storia di Vimercate*, Penati Editore, Vimercate, 1975

SITOGRAFIA

<http://www.comune.vimercate.mb.it>
<https://sportellotelematico.comune.vimercate.mb.it>

CAP.3 ANALISI DELLO STATO DI FATTO

SITOGRAFIA

<http://www.iisvanoni.gov.it>
<http://www.liceobanfi.gov.it>
<http://www.itiseinstein.it>
<http://www.iisfloriani.gov.it>
<http://www.miur.gov.it/-/scuola-in-chiaro>

NORMATIVA

Decreto Ministeriale, 18 dicembre 1975, *Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica*
Decreto Ministeriale, 11 aprile 2013, *Linee guida MIUR per progettare l'edilizia scolastica*

CAP.4 PROGETTO ARCHITETTONICO

BIBLIOGRAFIA

CANNELLA G., *Lo spazio informale: dalle Linee guida per l'edilizia scolastica alla realizzazione pratica*, in "Turrus Babel", n°97, Fondazione Architettura Alto Adige, Bolzano
MIUR, *Linee guida per le architetture interne degli edifici scolastici*, su iniziativa del Ministro Francesco Profumo, 2013
PONTI G., *La scuola intelligente: dall'edilizia scolastica all'architettura educativa*, Grafil, Palermo, 2014
BORRI S., *Spazi educativi e architetture scolastiche: linee e indirizzi internazionali*, Indire, Firenze, 2016
FIANCHINI M., *Rinnovare le scuole dall'interno: scenari e strategie di miglioramento per le infrastrutture scolastiche*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2017

SITOGRAFIA

<http://www.indire.it>
<http://www.miur.gov.it>

CAP.5 PROGETTO ILLUMINOTECNICO

BIBLIOGRAFIA

ZUMTOBEL LIGHTNING, *Luce per educazione e scienza*, in www.zumtobel.com/education
G. DALL'O GIULIANO, P. MESSAGGI, F., SILLI, *Ingegneria solare: guida alla progettazione dei sistemi solari nell'edilizia*, Clup, Milano, 1982
FRASCAROLO M., *Manuale di progettazione: illuminotecnica*, Mancosu, 2010

SITOGRAFIA

<http://www.finestral.com>
<http://www.moeding.de>
<http://www.lighting.philips.com>

NORMATIVA

Decreto Ministeriale, 18 dicembre 1975, *Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica*
UNI EN 14501:2006, *Tende e chiusure oscuranti - Benessere termico e visivo - Caratteristiche prestazionali e classificazione*
UNI 10840:2007, *Luce e illuminazione - Locali scolastici - Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale*
UNI EN 13363:2008, *Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate - Calcolo della trasmittanza solare e luminosa*
UNI EN 15193:2008, *Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminare*
Decreto Ministeriale, 26 giugno 2009, *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*
UNI EN 12464-1:2011, *Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni*

CAP.6 PROGETTO TECNOLOGICO

BIBLIOGRAFIA

ASTOLFI A., GIOVANNINI M., *Acustica delle aule scolastiche: requisiti prestazionali, soluzioni di progetto, verifiche a calcolo e in opera*, in www.rockwool.it
DI PERNA C., STAZI F., STAZI A., URSINI CASALENA A., *Massa e comfort: necessità di una adeguata capacità termica areica interna periodica*, ricerca dell'Università Politecnica delle Marche, Ancona

BENEDETTI C., *Costruire in legno: edifici a basso consumo energetico*, Bolzano University, 2009
CANNAVIELLO M., *Prestazioni dell'involucro in regime estivo: criteri per la riqualificazione energetica*, Alinea Editrice, Firenze, 2010
SALVALAI G., *2020 Edifici a energia quasi zero (nZEB): la simulazione energetica dinamica come strumento di controllo e ottimizzazione del comfort termico e del fabbisogno di energia*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna, 2015
ASTOLFI A., GARAI M., *Linee guida per una progettazione acustica di ambienti scolastici*, Associazione Italiana di Acustica, Roma, 2017

SITOGRAFIA

<http://www.logical.it>
<http://www.marlegno.it>
<http://www.moeding.de>
<https://swa-systembauteile.at/produkte/lignoton-deckensysteme>

NORMATIVA

Circolare Ministeriale, 22 maggio 1967, *Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici*
UNI 8290-3:1987, *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi degli agenti*
Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, 5 dicembre 1997, *Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*
Decreto Ministeriale, 26 giugno 2009, *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*
UNI 11367:2010, *Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari - Procedura di valutazione e verifica in opera*
UNI EN ISO 13788:2013, *Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo*
UNI EN ISO 16283:2014, *Acustica - Misure in opera dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio*
Decreto Interministeriale, 26 giugno 2015, *Adeguamento del decreto 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*

UNI TS 11300:2016, *Prestazioni energetiche degli edifici*

Decreto n°2456, 20 marzo 2017, *testo unico sull'efficienza energetica degli edifici*

UNI EN ISO 12354:2017, *Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti*

UNI EN ISO 6946:2018, *Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodi di calcolo*

UNI EN ISO 13786:2018, *Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo*

CAP.7 PROGETTO STRUTTURALE

BIBLIOGRAFIA

SCHULITZ H.C., SOBEK W., HABERMANN K.J., *Atlante dell'acciaio*, UTET, Torino, 1999

HUGUES T., STEIGER L., WEBER J., *Detail Practice - Timber Construction*, Edition Detail, Baden, 2008

NORMATIVA

Decreto Ministeriale, 14 gennaio 2008, *Norme Tecniche per le Costruzioni*

Circolare Esplicativa n°617, 2 febbraio 2009 *Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008*

CAP.8 PROGETTO IMPIANTISTICO

BIBLIOGRAFIA

BURATTI C., *Impianti di Climatizzazione e Condizionamento*, Morlacchi Editore, 2015

FERRARI L., *Sistemi di diffusione dell'aria nelle scuole*, in "RCI", n°4, aprile 2016

SITOGRAFIA

<http://www.proterimex.it>

<http://www.tecnoventil.it>

NORMATIVA

Decreto Ministeriale, 18 dicembre 1975, *Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica*

UNI 10339:1995, *Impianti aeraulici al fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura*

UNI EN 12056-3:2001, *Sistemi di scarico funzionanti a gravità all'interno degli edifici - Sistemi per l'evacuazione delle acque meteoriche, progettazione e calcolo*

UNI EN 14240:2005, *Ventilazione degli edifici - Soffitti freddi - Prove e valutazione (rating)*

UNI EN 13363:2008, *Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate - Calcolo della trasmittanza solare e luminosa*

UNI EN 1264:2009, *Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture*

UNI EN 12831:2018, *Prestazione energetica degli edifici - Metodo per il calcolo del carico termico di progetto*

UNI EN ISO 13789:2018, *Prestazione termica degli edifici - Coefficienti di trasferimento del calore per trasmissione e ventilazione - Metodo di calcolo*

UNI EN ISO 14683:2018, *Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento*

INDICI

INDICE DELLE FIGURE

CAP.1 SCUOLE E SOSTENIBILITÀ

- Fig. 1.1 Grafico edifici scolastici costruiti per fascia di età pag. 6
- Fig. 1.2 Schema di interconnessione delle tre dimensioni della sostenibilità pag. 8
- Fig. 1.3 Schema di interconnessione tra sostenibilità ambientale e sostenibilità energetica pag. 12
- Fig. 1.4 Grafico a barre del successo sul mercato delle principali certificazioni ambientali pag. 14
- Fig.1.5 Grafico radar confronto di I livello: pesatura aree di valutazione pag. 15
- Fig.1.6 Scuola professionale alberghiera "Savoy", Merano (BZ) pag. 18
- Fig.1.7 La "Scuola nel parco" pag. 18
- Fig.1.8 Plesso scolastico a Polcenigo pag. 19
- Fig.1.9 Polo per l'infanzia "Firmian" pag. 19

CAP.2 SCUOLE E SOSTENIBILITÀ

- Fig. 2.1 Le scuole superiori nel territorio attorno a Vimercate (TAV. A01) pag. 32
- Fig. 2.2 Percentuali di provenienza degli studenti frequentanti l'omni (TAV. A02) pag.33
- Fig. 2.3 Grafico della popolazione di Vimercate da fine ottocento ad oggi (TAV. A04) pag.34
- Fig. 2.4 Grafico dell'invecchiamento della popolazione dal 1982 (TAV. A04) pag.34
- Fig 2.5 Numero di alunni iscritti negli ultimi 5 anni e previsione fino al 2030 (TAV. A04) pag.34
- Figura 2.6 Linee trasporti pubblici che servono il polo scolastico di Vimercate (TAV. A03) pag.35
- Fig. 2.7 Strade principali e secondarie esistenti e previste per mobilità privata (TAV. A03) pag.35
- Fig. 2.8 Isocrone temporali dei trasporti pubblici dal polo scolastico (TAV. A03) pag.35
- Fig. 2.9 Isocrone temporali dei trasporti privati dal polo scolastico (TAV. A03) pag.36

- Fig. 2.10 Tessuti urbani di Vimercate: centro storico, nuovi quartieri, ville, campi pag.37
- Fig. 2.11 Evoluzione storica dell'edificato di Vimercate (TAV. A07) pag.38
- Fig. 2.12 Progetti del PGT per la mobilità dolce e la connessione dei parchi (TAV. 09) pag.39

CAP.3 ANALISI DELLO STATO DI FATTO

- Fig. 3.1 Foto aerea dell'area scolastica prima e dopo la costruzione (1970 - 1978) pag.42
- Fig. 3.2 Proposta alternativa di progetto da parte dell'architetto Elio Malvezzi pag.42
- Fig. 3.3 Distributivo origine (TAV. B03) pag.43
- Fig. 3.4 Elementi distintivi del progetto originario: pensilina principale, auditorium e mensa pag.44
- Fig. 3.5 Soluzione tecniche del progetto originario: moduli in cls, piano interrato e centrale termica pag.45
- Fig. 3.6 Blocco aule provvisorio del 1982 pag.46
- Fig. 3.7 Pallone tensostatico montato tra le palestre e il campo sportivo nel 1996 pag.46
- Fig. 3.8 Ampliamento del Liceo Banfi realizzato nel 2004 pag.47
- Fig. 3.9 Nuovo ingresso con porticato e pensiline realizzato nel 2004 pag.47
- Fig. 3.10 Planivolumetrico stato di fatto (TAV.B01) pag.48
- Fig. 3.11 Viabilità int/est (TAV.B05) pag.49
- Fig. 3.12 Ingresso dell'edificio ex-uffici pag.50
- Fig. 3.13 Vista dell'auditorium pag.50
- Fig. 3.14 Palestra appena ristrutturata nella ex-mensa pag.51
- Fig. 3.15 Corte interna dell'ex-biennio con parti coltivate e zona gioco pag.51
- Fig. 3.16 Palestra principale con tribune pag.52
- Fig. 3.17 Atrio a capanna dell'ex-triennio, ora parte del Liceo Banfi pag.52
- Fig. 3.18 Corridoio dell'ampliamento del Liceo Banfi annesso agli ex uffici pag.53
- Fig. 3.19 Interno dei blocchi aule pag.53
- Fig. 3.20 Distributivo attuale(TAV.B04) pag.57

- Fig. 3.21 Analisi e verifica dei singoli ambienti per il blocco aule (TAV. B08) pag.58
- Fig. 3.22 Analisi illuminotecnica con Ecotect di un'aula nel blocco aule (TAV. B18) pag.58

CAP.4 PROGETTO ARCHITETTONICO

- Fig. 4.1 Ottimizzazione degli spazi funzionali (prima, dopo, scuole riunificate) pag. 60
- Fig. 4.2 Concept di composizione volumetrica con sottrazioni e addizioni (TAV. C03) pag. 61
- Fig. 4.3 Planivolumetrico allo stato di progetto con gli interventi principali (TAV. C03) pag. 62
- Fig. 4.4 Locali previsti nell'edificio A pag. 63
- Fig. 4.5 Locali previsti nell'edificio D pag. 63
- Fig. 4.6 Distributivo progetto (TAV. C04) pag.64
- Fig. 4.7 Locali previsti nell'edificio F pag. 65
- Fig. 4.9 Locali previsti nella nuova scuola per il funzionamento diurno pag. 65
- Fig. 4.9 Locali previsti nella nuova scuola per il funzionamento serale pag. 65
- Fig. 4.10 Schema piano di gestione pag. 66
- Fig. 4.11 Fotografie School01, la scuola museo a Monteverde pag. 67
- Fig. 4.12 Prospetti architettonici della nuova scuola Floriani pag. 69
- Figura 4.13 Ambienti didattici innovativi piano terra e primo nella nuova scuola Floriani (TAV. C10) pag.70
- Figura 4.14 Ambienti didattici innovativi (TAV. C10) pag.70
- Fig. 4.15 Configurazioni per le aule flessibili della nuova scuola Floriani (TAV. C09) pag.71
- Fig. 4.16 Distribuzione in pianta delle aule fisse e flessibili (TAV. C09) pag.71

CAP.5 PROGETTO ILLUMINOTECNICO

- Fig. 5.1 Viste del modello 3D dell'edificio di riferimento creato con TERMOLOG pag.77
- Fig. 5.2 Grafico del fabbisogno termico invernale dell'edificio di riferimento, piano terreno pag.78
- Fig. 5.3 Grafico del fabbisogno termico invernale dell'edificio di riferimento, piano primo pag.78

- Fig. 5.4 Grafico del fabbisogno termico invernale dell'edificio di riferimento, piano secondo pag.78
- Fig. 5.5 Grafico del fabbisogno termico estivo dell'edificio di riferimento, piano terreno pag.80
- Fig. 5.6 Grafico del fabbisogno termico estivo dell'edificio di riferimento, piano primo pag.80
- Fig. 5.7 Grafico del fabbisogno termico estivo dell'edificio di riferimento, piano secondo pag.80
- Fig. 5.8 Grafico della temperatura esterna e della temperatura operante, al piano terreno dell'edificio di riferimento, nei mesi estivi, ottenuto con il software TERMOLOG pag.82
- Fig. 5.9 Sintetizzazione dei risultati ottenuti sulle temperature operanti al piano terreno pag.82
- Fig. 5.10 Grafico della temperatura esterna e della temperatura operante, al piano primo più secondo dell'edificio di riferimento, nei mesi estivi, ottenuto con TERMOLOG pag.82
- Fig. 5.11 Sintetizzazione dei risultati ottenuti sulle temperature operanti al piano primo più secondo pag. 83
- Fig. 5.12 Viste del modello 3D edificio di riferimento creato in DIALux pag.83
- Fig. 5.13 Viste e pianta del piano terreno dell'edificio di riferimento con i livelli di illuminamento a cielo coperto pag.83
- Fig. 5.14 Viste e pianta del piano primo dell'edificio di riferimento con i livelli di illuminamento a cielo coperto pag.84
- Fig. 5.15 Viste e pianta del piano secondo dell'edificio di riferimento con i livelli di illuminamento a cielo coperto pag.84
- Fig. 5.16 Grafico del fabbisogno termico invernale dell'edificio di riferimento e dell'edificio con prestazioni incrementate dei serramenti pag. 85
- Fig. 5.17 Grafico del fabbisogno termico estivo dell'edificio di riferimento e dell'edificio con prestazioni incrementate dei serramenti pag.86
- Fig. 5.18 Kindergarten Kekec, Slovenia pag. .87
- Fig. 5.19 Groupe Scolaire Pasteur, FR pag.87
- Fig. 5.20 Ørestad Gymnasium, DK pag.87
- Fig. 5.21 Pontprennau Primary School a Cardiff, Regno Unito pag.87

Fig. 5.22 Profili delle lamelle delle schermature solari in ceramica, prodotte da Moeding pag.88

Fig. 5.23 Viste dell'alto dell'aula didattica orientata a sud-ovest al 21 giugno alle ore: 8:00, 14:00, 17:00 e 19:00 pag.88

Fig. 5.24 Viste dell'alto dell'aula didattica orientata a sud-ovest al 21 dicembre alle ore: 9:00, 12:00, 14:00 e 16:00 pag.88

Fig. 5.25 Caso studio 1: viste e illuminamento dell'aula didattica a sud-ovest, al 21 dicembre/giugno pag.89

Fig. 5.26 Caso studio 2: viste e illuminamento dell'aula didattica a sud-ovest, al 21 dicembre/giugno pag.89

Fig. 5.27 Caso studio 3: viste e illuminamento dell'aula didattica a sud-ovest, al 21 dicembre/giugno pag.89

Fig. 5.28 Caso studio 4: viste e illuminamento dell'aula didattica a sud-ovest, al 21 dicembre/giugno pag.89

Fig. 5.29 Caso studio 5: illuminamento dell'aula didattica a sud-ovest, alle 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00 del 21 dicembre pag.90

Fig. 5.30 Caso studio 5: illuminamento dell'aula didattica a sud-ovest, alle 10:00, 12:00, 14:00 e 17:00 del 21 giugno pag.90

Fig. 5.31 Caso studio 6: viste e illuminamento dell'aula didattica a sud-ovest, al 21 dicembre/giugno pag.90

Fig. 5.32 Caso studio 7: viste e illuminamento dell'aula didattica a sud-ovest, al 21 dicembre/giugno pag.90

Fig. 5.33 Caso studio 8: viste e illuminamento dell'aula didattica a sud-ovest, al 21 dicembre/giugno pag.90

Fig. 5.34 Grafico del fabbisogno termico estivo dell'aula esposta a sud-ovest con e senza schermatura solare, nel mese di giugno pag.91

Fig. 5.35 Viste dell'alto dell'aula didattica orientata a nord-est al 21 giugno alle ore: 7:00, 9:00, 11:00 e 14:00 pag.91

Fig. 5.36 Viste dell'alto dell'aula didattica orientata a nord-est al 21 dicembre alle ore: 9:00, 12:00, 14:00 e 16:00 pag.91

Fig. 5.37 Caso studio 7: viste e illuminamento dell'aula didattica a nord-est, al 21 giugno/dicembre pag.92

Fig. 5.38 Caso studio 7: illuminamento dell'aula didattica a nord-est, alle 8:00, 9:00, 11:00 e 13:00 del 21 giugno pag.92

Fig. 5.39 Caso studio 7: illuminamento dell'aula didattica a nord-est, alle 8:00, 9:00, 11:00 e 13:00 del 23 marzo pag.92

Fig. 5.40 Grafico del fabbisogno termico estivo dell'aula esposta a nord-est con e senza schermatura solare, nel mese di giugno pag.92

Fig. 5.41 Viste dell'alto dell'aula didattica orientata a sud-est al 21 giugno alle ore: 9:00, 11:00, 13:00 e 15:00 pag.92

Fig. 5.42 Viste dell'aula didattica a sud-est al 21 dicembre alle 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 pag.92

Fig. 5.43 Caso studio 5: viste e illuminamento dell'aula didattica a sud-est, al 21 giugno/dicembre pag.93

Fig. 5.44 Caso studio 5: illuminamento dell'aula didattica a sud-est, alle 8:00, 9:00, 11:00 e 14:00 del 21 giugno pag.93

Fig. 5.45 Caso studio 5: illuminamento dell'aula didattica a sud-est, alle 9:00, 11:00, 12:00 e 14:00 del 21 dicembre pag.93

Fig. 5.46 Grafico del fabbisogno termico dell'aula didattica a sud-est con e senza schermatura solare, nel mese di giugno pag.93

Fig. 5.47 Viste dell'alto del laboratorio di informatica orientato a nord-ovest al 21 giugno alle ore: 17:00, 19:00 e 21:00 pag.93

Fig. 5.48 Viste dell'alto del laboratorio di informatica orientato a nord-ovest al 21 dicembre alle ore: 10:00, 12:00 e 17:00 pag.94

Fig. 5.49 Caso studio 7: viste e illuminamento del laboratorio di informatica orientato a nord-ovest, al 21 giugno/dicembre pag.94

Fig. 5.50 Caso studio 7: illuminamento del laboratorio di informatica a nord-ovest, alle 17:00, 19:00 e 20:00 del 21 giugno pag.94

Fig. 5.51 Grafico del fabbisogno termico estivo del laboratorio informatica a nord-ovest con e senza schermatura solare, a giugno pag.94

Fig. 5.52 Livelli di illuminamento degli spazi connettivi, piano primo e secondo, in presenza della schermatura solare e nello scenario di cielo sereno al 21 giugno alle ore 9:00 pag.95

Fig. 5.53 Livelli di illuminamento degli spazi connettivi, piano primo e secondo, in presenza della schermatura solare e nello scenario di cielo sereno al 21 giugno alle ore 12:00 pag.95

Fig. 5.54 Livelli di illuminamento degli spazi connettivi, piano primo e secondo, in presenza della schermatura solare e nello scenario di cielo sereno al 21 giugno alle ore 17:00 pag.95

Fig. 5.55 Viste sulle schermature solari fisse e sui lucernari degli spazi connettivi-relazionali dal software DIALux pag.96

Fig. 5.56 Grafico del fabbisogno termico estivo degli spazi connettivi, piani primo e secondo, con e senza schermatura, nel mese di giugno pag.96

Fig. 5.57 Immagine di aule didattiche integrate visivamente con gli spazi connettivi pag.96

Fig. 5.58 Livello dimming dei gruppi d'illuminazione nel liceo di Sonthofen, prima e dopo la riqualificazione pag.97

Fig. 5.59 Lampade SMARTFORM TBS415 Philips e viste disposizione tipo pag.97

Fig. 5.60 Doren Primary School, Cukrowicz Nachbaur Architekten pag.98

Fig. 5.61 Disposizione dei gruppi d'illuminazione, nelle aule didattiche di 50 m², e valori di illuminamento con i corpi illuminanti accesi e spenti a cielo coperto pag.98

Fig. 5.62 Disposizione dei gruppi d'illuminazione, nelle aule didattiche di 77,5 m², e valori di illuminamento con i corpi illuminanti accesi e spenti a cielo coperto pag.98

Fig. 5.63 Disposizione dei gruppi d'illuminazione, nei laboratori di informatica, e valori di illuminamento con i corpi illuminanti accesi e spenti a cielo coperto pag.98

Fig. 5.64 Grafico del fabbisogno termico invernale dell'edificio di riferimento e dell'edificio con prestazioni aumentate pag.101

Fig. 5.65 Grafico del fabbisogno termico estivo dell'edificio di riferimento e dell'edificio con prestazioni aumentate pag.101

Fig. 5.66 Grafico della temperatura esterna e della temperatura operante, al piano primo e secondo dell'edificio con prestazioni aumentate, nei mesi estivi, ottenuto con il software TERMOLOG pag.101

Fig. 5.67 Sintetizzazione dei risultati ottenuti sulle temperature operanti al piano primo e secondo, nell'edificio con prestazioni aumentate e nell'edificio di riferimento pag.102

CAP.6 PROGETTO TECNOLOGICO

Fig. 6.1 Requisiti nZEB per edifici di nuova costruzione pag.106

Fig. 6.2 Complesso Casarès, Saint-Denis pag.107

Fig. 6.3 Schneider, Scuola Robinson, Linz pag.108

Fig. 6.4 Hayhurst & Co., Pegasus Academy Trust, Croydon pag.108

Fig. 6.5 Mario Cucinella Architects, asilo nido d'Infanzia, Guastalla pag.108

Fig. 6.6 Paolo Milani e studio OPPS, scuola d'infanzia, Savogna d'Isongo pag.108

Fig. 6.7 Vitre srl, scuola primaria, Parma pag.108

Fig. 6.8 ATProject, scuola elementare e scuola media, Milano pag.108

Fig. 6.9 Incidenza percentuale di ogni elemento di involucro, al piano terreno-primo-secondo, sul fabbisogno termico invernale pag.110

Fig. 6.10 Chiusura v.. con pannello XLam pag.110

Fig. 6.11 Chiusura v. con telaio in legno pag.111

Fig. 6.12 Soluzione di posa 1 XLam pag.112

Fig. 6.13 Soluzione di posa 2 XLam pag.112

Fig. 6.14 Disarticolazione tecnologica in pianta dei piani terreno e primo pag.113

Fig. 6.15 Fabbisogno termico invernale [W/m²] dell'edificio di progetto e di riferimento nei piani terreno, primo e secondo pag.114

Fig. 6.16 Fabbisogno termico sensibile a giugno [W/m²] dell'edificio di progetto e di riferimento, nei piani terreno, primo e secondo pag.115

Fig. 6.17 Grafici tempo di riverberazione di un'aula tipo senza e con controsoffitto pag.118

CAP.7 PROGETTO STRUTTURALE

Fig. 7.1 Viste 3D complessive degli elementi strutturali nella nuova scuola Floriani	pag.120
Fig. 7.2 Excel SPETTRI-NTC, fase 1	pag.121
Fig. 7.3 Excel SPETTRI-NTC, fase 2	pag.122
Fig. 7.4 Excel SPETTRI-NTC, fase 3	pag.122
Fig. 7.5 Spettri di risposta dell'edificio	pag.123
Fig. 7.6 Area di influenza critica del solaio preso in analisi	pag.125
Fig. 7.7 Modello strutturale più critico utilizzato per il solaio	pag.126
Fig. 7.8 Sezione tecnologica del modulo tipo del solaio prima e dopo il getto di cls	pag.127
Fig. 7.9 Sezione semplificata del solaio utilizzata per le verifiche	pag.128
Fig. 7.10 Scenari di rottura e costruzione del dominio NxM per la verifica SLU	pag.129
Fig. 7.11 Area di influenza critica della trave in acciaio presa in analisi	pag.130
Fig. 7.12 Modello strutturale più critico utilizzato per la trave	pag.131
Fig. 7.13 Sezione tecnologica della trave + solaio prima e dopo il getto di cls	pag.131
Fig. 7.14 Sezione semplificata di trave + solaio utilizzata per le verifiche	pag.132
Fig. 7.15 Scenari di rottura e costruzione del dominio NxM per la verifica SLU	pag.133
Fig. 7.16 Area di influenza critica del pilastro in acciaio preso in analisi	pag.134
Fig. 7.17 Misure dei componenti delle sezioni tratte dal profilario e dalla tabella 4.2.11 delle NTC	pag.135
Fig. 7.18 Area di influenza dei controventi in Xlam	pag.136
Fig. 7.19 Schema dei carichi sismici verticali ed orizzontali dell'edificio	pag.137
Fig. 7.20 Schema sovrapposizione degli effetti sismici di spinta e momento orizzontale lungo le direzioni x e y	pag.138
Fig. 7.21 Schema dei carichi sismici agenti sui due tipi di setti del controvento oggetto di verifica	pag.139

CAP.8 PROGETTO IMPIANTISTICO

Fig. 8.1 Grafico dell'andamento orario della temperatura dell'aria esterna, in °C, dal 10/2009 al 10/2010	pag.142
Fig. 8.2 Grafico dell'andamento orario della radiazione solare a Nord, in W/m ² , dal 10/2009 al 10/2010	pag.142
Fig. 8.3 Grafico dell'andamento orario della radiazione solare a Est, in W/m ² , dal 10/2009 al 10/2010	pag.143
Fig. 8.4 Grafico dell'andamento orario della radiazione solare a Sud, in W/m ² , dal 10/2009 al 10/2010	pag.143
Fig. 8.5 Grafico dell'andamento orario della radiazione solare a Ovest, in W/m ² , dal 10/2009 al 10/2010	pag.143
Fig. 8.6 Grafico dell'andamento orario della radiazione solare sul piano orizzontale, in W/m ² , dal 10/2009 al 10/2010	pag.143
Fig. 8.7 Grafico del fabbisogno termico invernale specifico di ogni piano dell'edificio	pag.146
Fig. 8.8 Grafico del fabbisogno termico invernale specifico di ogni locale al piano terreno	pag.146
Fig. 8.9 Grafico del fabbisogno termico invernale specifico di ogni locale al piano primo	pag.146
Fig. 8.10 Grafico del fabbisogno termico invernale di ogni locale, piano secondo	pag.147
Fig. 8.11 Grafico del fabbisogno termico estivo totale [W] dell'edificio a giugno e luglio	pag.151
Fig. 8.12 Grafico del fabbisogno termico estivo globale specifico di ogni piano dell'edificio nel mese di giugno	pag.152
Fig. 8.13 Grafico del fabbisogno termico estivo globale specifico di ogni locale/ambiente al piano terreno nel mese di giugno	pag.152
Fig. 8.14 Grafico del fabbisogno termico estivo globale specifico di ogni locale/ambiente al piano primo nel mese di giugno	pag.152
Fig. 8.15 Grafico del fabbisogno termico estivo globale specifico di ogni locale/ambiente al piano secondo nel mese di giugno	pag.153
Fig. 8.16 Schemi dei sistemi di diffusione dell'aria a miscelazione completa ed a dislocamento	pag.155

Fig. 8.17 Newcastle College, Trox Technik, aula con uso di travi fredde attive; Rykneld School, aula con sistema ibrido dato da pannelli radianti e sistemi a miscela	pag.156
Fig. 8.18 Stratigrafia e vista dei pannelli radianti a soffitto "Dekor Acoustic"	pag.156
Fig. 8.19 Schema e legenda dati dei diffusori ad alta induzione a lancio elicoidale	pag.161
Fig. 8.20 Predimensionamento U.T.A	pag.164
Fig. 8.21 Diagramma psicrometrico situazione estiva ed invernale	pag.165
Fig. 8.22 Schema tipo di un impianto con pompa di calore a sonde geotermiche	pag.169
Fig. 8.23 Posizione dei pluviali sulla copertura a verde estensivo della nuova scuola	pag.171

INDICE DELLE TABELLE

CAP.1 SCUOLE E SOSTENIBILITÀ

Tab. 1.1 Energia rinnovabile negli edifici scolastici esistenti	pag.6
Tab. 1.2 Edifici scolastici esistenti costruiti secondo i criteri di bioedilizia	pag.7
Tab. 1.3 Servizi presenti negli edifici scolastici esistenti	pag.7
Tab. 1.4 Classe energetica degli edifici scolastici esistenti	pag.7
Tab. 1.5 Scuole a rischio ambientale	pag.7
Tab. 1.6 Dati generali delle certificazioni ambientali	pag.12
Tab. 1.7 Applicabilità temporale	pag.12
Tab. 1.8 Applicabilità data dal limite fisico	pag.13
Tab. 1.9 Applicabilità data dalla categoria edilizia	pag.13
Tab. 1.10 Punteggi parziali e totali attribuiti al successo sul mercato delle certificazioni più conosciute	pag.14
Tab. 1.11 Punteggi totali attribuiti sulla base della specificità dei loro indicatori	pag.15
Tab. 1.12 Aree di valutazione delle certificazioni	pag.15

Tab. 1.13 Pesatura aree di valutazione delle certificazioni	pag.15
Tab. 1.14 Punteggi attribuiti per numero e pesatura delle aree di valutazione	pag.16
Tab. 1.15 Punteggi totali attribuiti in base al numero dei criteri	pag.16
Tab. 1.16 Punteggi attribuiti in base al grado di difficoltà di calcolo e verifica dei criteri	pag.16
Tab. 1.17 Punteggi totali attribuiti nel confronto di secondo livello	pag.16
Tab. 1.18 Tabella finale riassuntiva della scelta critica della certificazione ambientale	pag.17
Tab. 1.19 Punteggi della certificazione LEED delle quattro scuole esemplificative	pag.20
Tab. 1.20 Tabella della nuova certificazione completa di categorie, criteri e punteggi	pag.29
Tab. 1.21 Punteggi finali della nuova certificazione e LEED delle quattro scuole	pag.30

CAP.3 ANALISI DELLO STATO DI FATTO

Tab. 3.1 Offerta formativa I.I.S. Vanoni	pag.54
Tab. 3.2 Aule speciali per I.I.S. Ezio Vanoni	pag.54
Tab. 3.3 Utenza scolastica I.I.S. Ezio Vanoni nell'anno scolastico 2016/2017	pag.54
Tabella 3.4 Offerta formativa Liceo Banfi	pag.55
Tabella 3.5 Aule speciali disponibili per il Liceo Antonio Banfi	pag.55
Tab. 3.6 Utenza scolastica del Liceo Antonio Banfi nell'anno scolastico 2016/2017	pag.55
Tab. 3.7 Offerta formativa I.T.I.S. Einstein	pag.55
Tab. 3.8 Aule speciali disponibili per I.T.I.S. Albert Einstein	pag.56
Tab. 3.9 Utenza scolastica I.T.I.S. Albert Einstein nell'anno scolastico 2016/2017	pag.56
Tab. 3.10 Offerta formativa I.I.S. Virgilio Floriani (sezione Olivetti)	pag.56
Tab. 3.11 Aule speciali disponibili per I.I.S. Virgilio Floriani (sezione Olivetti)	pag.56
Tab. 3.12 Utenza scolastica I.I.S. Virgilio Floriani (Olivetti) nell'anno scolastico 2016/2017	pag.56
Tab. 3.13 Verifica dimensionale dei quattro istituti nell'anno scolastico 2016/2017	pag.58

CAP.4 PROGETTO ARCHITETTONICO

Tab. 4.1 Verifica dimensionale dei quattro istituti nell'anno scolastico 2016/2017 pag.72

CAP.5 PROGETTO ILLUMINOTECNICO

Tab. 5.1 Limiti di Em sui piani di lavoro in edifici scolastici secondo la UNI-EN 12464 pag.74

Tab. 5.2 Limiti di Em sui piani di lavoro in edifici scolastici secondo il DM 18/12/1975 pag.74

Tab. 5.3 Limiti di Em sul piano del compito visivo e sulle zone circostanti pag.75

Tab. 5.4 Limiti di FLDm nei diversi locali scolastici secondo la UNI 10840:2007 pag.75

Tab. 5.5 Limiti di FLDm nei diversi locali scolastici secondo il DM 18/12/1975 pag.75

Tab. 5.6 Limiti di UGR in edifici scolastici secondo la UNI-EN 12464 pag.76

Tab. 5.7 Fattori di riflessione delle superfici opache pag.76

Tab. 5.8 Parametri edificio di riferimento pag.77

Tab. 5.9 Classi di schermatura, gtot, secondo la UNI EN 14501:2006 pag.79

Tab. 5.10 Valore massimo ammissibile del rapporto Asol,est/Asuputile pag.81

Tab. 5.11 Fattori di correzione per l'irraggiamento incidente Fsol,est pag.81

Tab. 5.12 Fattore di ombreggiatura Fhor per ostruzioni esterne, mese di luglio pag.81

Tab. 5.13 Fattore di ombreggiatura Fov per oggetti orizzontali, mese di luglio pag.81

Tab. 5.14 Fattore di ombreggiatura Ffin per oggetti verticali, mese di luglio pag.81

Tab. 5.15 Parametri illuminotecnici, nello scenario di cielo coperto, del piano terreno dell'edificio di riferimento pag.83

Tab. 5.16 Parametri illuminotecnici, nello scenario di cielo coperto, del piano primo dell'edificio di riferimento pag.84

Tab. 5.17 Parametri illuminotecnici, nello scenario di cielo coperto, del piano secondo dell'edificio di riferimento pag.84

Tab. 5.18 Percezione dello spazio da parte dell'osservatore secondo i valori FLDm pag.85

Tab. 5.19 Parametri prestazionali delle chiusure trasparenti pag.85

Tab. 5.20 Parametri illuminotecnici, nello scenario di cielo coperto, del piano terreno dell'edificio con prestazioni incrementate dei serramenti pag.86

Tab. 5.21 Parametri illuminotecnici, nello scenario di cielo coperto, del piano primo dell'edificio con prestazioni incrementate dei serramenti pag.86

Tab. 5.22 Parametri illuminotecnici, nello scenario di cielo coperto, del piano secondo dell'edificio con prestazioni incrementate dei serramenti pag.86

Tab. 5.23 Parametri illuminotecnici dell'aula didattica orientata a sud-ovest nei casi studio 0, 1, 2, 3 e 4 al 21 giugno e 21 dicembre pag.89

Tab. 5.24 Parametri illuminotecnici dell'aula didattica orientata a sud-ovest nel caso studio 5 al 21 giugno ed al 21 dicembre pag.90

Tab. 5.25 Parametri illuminotecnici dell'aula didattica orientata a sud-ovest nei casi studio 6, 7 e 8 al 21 giugno ed al 21 dicembre pag.90

Tab. 5.26 Parametri illuminotecnici dell'aula didattica orientata a nord-est nei casi studio 0 e 7 al 21 giugno ed al 21 dicembre pag.91

Tab. 5.27 Parametri illuminotecnici dell'aula didattica orientata a sud-est nei casi studio 0 e 5 al 21 giugno ed al 21 dicembre pag.93

Tab. 5.28 Parametri illuminotecnici del laboratorio informatica nord-ovest nei casi studio 0 e 7 al 21 giugno e 21 dicembre pag.94

Tab. 5.29 Parametri illuminotecnici degli spazi connettivi al 21 giugno alle ore 9:00 pag.95

Tab. 5.30 Parametri illuminotecnici degli spazi connettivi al 21 giugno alle ore 12:00 pag.95

Tab. 5.31 Parametri illuminotecnici degli spazi connettivi al 21 giugno alle ore 17:00 pag.95

Tab. 5.32 Parametri illuminotecnici di riferimento/limite/uso, aule didattiche pag.97

Tab. 5.33 Parametri illuminotecnici di riferimento/limite/uso, spazi connettivi pag.98

Tab. 5.34 Numeri e potenza nominale dei gruppi d'illuminazione dei locali al piano terreno pag.99

Tab. 5.35 Significato dei parametri introdotti nella relazione del LENI pag.100

Tab. 5.36 Valori di Fa e contributi dei sistemi di controllo, dell'impianto di illuminazione artificiale, nei principali locali scolastici pag.100

Tab. 5.37 Valore dei parametri introdotti nella relazione del LENI pag.100

Tab. 5.38 LENI e l'energia consumata annualmente per l'illuminazione artificiale nei locali al piano primo e secondo pag.100

CAP.6 PROGETTO TECNOLOGICO

Tab. 6.1 Indici di trasmissione termica pag.102

Tab. 6.2 Valori limite di trasmittanza pag.102

Tab. 6.3 Valori limite della trasmittanza termica periodica pag.105

Tab. 6.4 Coppie di valori Yie – Cip con analoghe risposte di comfort abitativo, fase estiva pag.105

Tab. 6.5 Classi di qualità prestazionale in funzione di sfasamento e attenuazione pag.105

Tab. 6.6 Valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico H'T pag.107

Tab. 6.7 Condizioni al contorno considerate nelle verifiche prestazionali d'involucro, a Vimercate pag.110

Tab. 6.8 Verifica parametri prestazionali dell'involucro opaco pag.113

Tab. 6.9 Verifica della trasmittanza termica delle strutture verso i locali non climatizzati e l'esterno pag.114

Tab. 6.10 Valori limite D.P.C.M 5/12/97 pag.116

Tab. 6.11 Tempi di riverberazioni indicati nella Circolare Ministero Lavori Pubblici n.3150 del 22/05/1967 pag.116

Tab. 6.12 UNI 11367-Appendice A pag.117

CAP.7 PROGETTO STRUTTURALE

Tab. 7.1 Valori caratteristici di riferimento del carico neve al suolo (§ 3.4 NTC 2008) pag.125

Tab. 7.2 Computo del peso degli elementi non strutturali portati dal solaio pag.126

CAP.8 PROGETTO IMPIANTISTICO

Tab. 8.1 Informazioni generali e parametri climatici dell'area di progetto pag.142

Tab. 8.2 Dati di progetto invernali/estivi pag.142

Tab. 8.3 Fattori correttivi d'esposizione pag.144

Tab. 8.4 Fattori di riduzione della temperatura per la presenza di locali filtro pag.144

Tab. 8.5 Coefficienti di schermatura pag.145

Tab. 8.6 Valori del fabbisogno termico invernale di ogni locale al piano terreno pag.146

Tab. 8.7 Valori del fabbisogno termico invernale di ogni locale al piano primo pag.147

Tab. 8.8 Valori del fabbisogno termico invernale di ogni locale al piano secondo pag.147

Tab. 8.9 Fattore di peso della radiazione solare diretta sulla totale fb pag. 149

Tab. 8.10 Fattore di esposizione Fw pag. 149

Tab. 8.11 Contributo di calore sensibile e latente dovuto alla presenza di persone pag. 149

Tab. 8.12 Numero di persone presenti all'interno di ogni spazio didattico pag.150

Tab. 8.13 Profilo temporale degli apporti termici da occupanti pag.150

Tab. 8.14 Profilo temporale degli apporti termici dall'illuminazione artificiale pag.150

Tab. 8.15 Contributo di calore sensibile dovuto alla presenza di macchinari pag.150

Tab. 8.16 Numero di macchinari presenti in ogni spazio didattico pag.150

Tab. 8.17 Profilo temporale degli apporti termici dalle apparecchiature elettriche pag.151

Tab. 8.18 Valori del fabbisogno termico estivo totale di ogni locale/ambiente al piano terreno nel mese di giugno pag.152

Tab. 8.19 Valori del fabbisogno termico estivo totale di ogni locale/ambiente al piano primo nel mese di giugno pag.152

Tab. 8.20 Valori del fabbisogno termico estivo totale di ogni locale/ambiente al piano secondo nel mese di giugno pag.153

Tab. 8.21 Criteri per la determinazione delle portate d'aria pag.154

Tab. 8.22 Comparazione tra i diversi sistemi di diffusione dell'aria	pag.156	Tab. 8.39 Dati dei punti di trasformazione termica nel caso estivo	pag.166
Tab. 8.23 Calore residuo frigorifero [W/m ²] dei principali locali al piano terreno	pag.157	Tab. 8.40 Legenda componenti U.T.A	pag.167
Tab. 8.24 Calore residuo frigorifero [W/m ²] dei principali locali al piano primo	pag.157	Tab. 8.41 Potenze componenti U.T.A	pag.167
Tab. 8.25 Calore residuo frigorifero [W/m ²] dei principali locali al piano secondo	pag.158	Tab. 8.42 Dati dei punti di trasformazione termica nel caso invernale	pag.167
Tab. 8.26 Calore residuo frigorifero corretto [W/m ²] degli ambienti più sfavoriti	pag.158	Tab. 8.43 Potenze componenti U.T.A	pag.168
Tab. 8.27 Dimensionamento superficie radiante e numero di pannelli, piano terreno	pag.159	Tab. 8.44 Valore del coefficiente C in funzione della tipologia di copertura	pag.170
Tab. 8.28 Dimensionamento superficie radiante e numero di pannelli, piano primo	pag.159	Tab. 8.45 Tabella dei carichi pluviali	pag.170
Tab. 8.29 Dimensionamento superficie radiante e numero di pannelli, piano secondo	pag.159	Tab. 8.46 Diametri per le colonne di scarico delle acque pluviali	pag.170
Tab. 8.30 Dimensionamento e numero di diffusori in ogni locale/ambiente scolastico al piano terreno	pag.161	Tab. 8.47 Diametri delle colonne di scarico delle acque pluviali di progetto	pag.170
Tab. 8.31 Dimensionamento e numero di diffusori in ogni locale/ambiente scolastico al piano primo	pag.161	Tab. 8.48 Diametri per i collettori di scarico delle acque usate	pag.171
Tab. 8.32 Dimensionamento e numero di diffusori in ogni locale/ambiente scolastico al piano secondo	pag.161		
Tab. 8.33 Dimensionamento e numero di griglie di ripresa nei principali locali didattici al piano primo e secondo	pag.162		
Tab. 8.34 Dimensionamento e numero delle valvole di aspirazione nei servizi igienici	pag.162		
Tab. 8.35 Scelta della velocità dell'aria (consigliata e massima) per impianti di condizionamento di tipo convenzionale (velocità riferite all'area lorda frontale)	pag.162		
Tab. 8.36 Dimensionamento dei canali d'aria di mandata verticali del percorso più sfavorito	pag.163		
Tab. 8.37 Dimensionamento dei canali d'aria di mandata orizzontali del percorso più sfavorito	pag.164		
Tab. 8.38 Predimensionamento del fronte di ciascun U.T.A	pag.165		

CAP.9 VERIFICHE FINALI E CONCLUSIONE

Tab. 9.1 Punteggi della nuova certificazione sul prima e dopo lavori del progetto di riqualificazione	pag.174
---	---------

RINGRAZIAMENTI

Moltissime sono le persone e gli enti che vogliamo ringraziare per aver reso possibile la realizzazione di questo complesso lavoro interdisciplinare, una vera e propria impresa della quale siamo pienamente soddisfatti e orgogliosi.

Innanzitutto ringraziamo con riconoscenza il nostro relatore Gabriele Masera che nonostante i numerosi impegni è riuscito a seguirci costantemente in questo lungo percorso e a darci le linee guida necessarie per la realizzazione efficace dell'elaborato. Un ringraziamento speciale va anche a tutti i professori che si sono messi gentilmente a disposizione per valutare il nostro lavoro nei rispettivi ambiti: la Prof.ssa Angela Colucci per la stesura del masterplan e degli intenti progettuali, l'Ing. Giulio Zani per la consulenza sui calcoli strutturali e l'Ing. Marta Maria Sesana per il supporto ai software delle simulazioni energetiche.

Inoltre si ringrazia molto la Provincia di Monza e della Brianza, in particolar modo l'ufficio Ambiente e Patrimonio e l'Architetto Salvatore Nepotismo, per aver concesso i permessi necessari inerenti ai sopralluoghi nelle quattro scuole e al recupero degli elaborati originari di progetto nell'archivio provinciale.

Per quanto riguarda il contesto del polo scolastico di Vimercate ringraziamo tutta la dirigenza delle scuole per la loro collaborazione nel diffondere i questionari online a docenti e studenti e raccogliere i dati sugli istituti: i presidi Daniele Zangheri, Giancarlo Sala e Antonella Limonta, le vicepresidenze e gli uffici di segreteria. Si ringraziano anche tutti i professori e i collaboratori scolastici che si sono messi a disposizione per mostrarci le scuole e rispondere alle domande per la raccolta di informazioni o di pareri personali, così come l'associazione "Amici dell'Omni" per l'interesse verso il nostro lavoro.

Un ultimo ringraziamento non meno importante lo dedichiamo alle nostre famiglie che ci hanno supportato con fiducia non solo in questo ultimo lavoro ma soprattutto durante tutto il percorso accademico che ci ha permesso di ottenere questo risultato di grande valore, così come anche i nostri compagni di corso con i quali abbiamo condiviso questo bellissimo percorso di crescita.

Davide Meneghello

Luana Negri



